

Glauciano Neckel

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE NUMÉRICA DE ESTRUTURAS
DE PAVIMENTO ASFÁLTICO AEROPORTUÁRIO**

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC Joinville), exigido como requisito parcial pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM) para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Orientador: Prof. Dr. Breno Salgado Barra.

Joinville - SC
2017

NECKEL, GLAUCIANO

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE NUMÉRICA DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO AEROPORTUÁRIO / GLAUCIANO NECKEL ; orientador, BRENO SALGADO BARRA - Joinville, SC, 2017. 387 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Inclui referências

1. Engenharia e Ciências Mecânicas. 2. Pavimentos aeroportuários. 3. Estruturas de pavimentação. 4. Metodologia francesa de dimensionamento. 5. Análise numérica. I. BARRA, BRENO SALGADO. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas. III. Título.

Glauciano Neckel

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE NUMÉRICA DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO AEROPORTUÁRIO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas, sendo aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Joinville, 20 de fevereiro de 2017.



Prof. Dr. Breno Salgado Barra - Coordenador do Pós-ECM
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

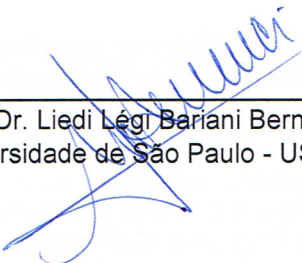
Banca Examinadora:




Prof. Dr. Breno Salgado Barra - Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



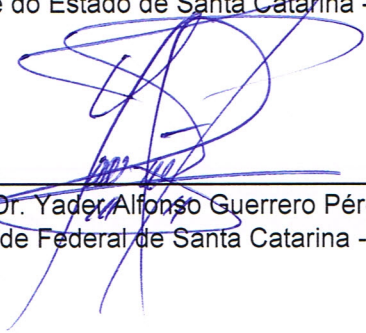
Prof. Dr. Leto Momm
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



Prof.^a. Dr. Liedi Légi Bariani Bernucci
Universidade de São Paulo - USP



Prof.^a. Dr. Adriana Goulart dos Santos
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC



Prof. Dr. Yader Alfonso Guerrero Pérez
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Este trabalho é dedicado à minha família, principalmente à minha mãe Eva Geneci Fiuza e meu irmão Luciano Neckel e a todos que acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por estar ao meu lado me dando sabedoria e força para lutar contra as adversidades encontradas.

Aos meus pais e irmãos, em especial a minha mãe Eva que com muita dedicação criou dois filhos dando bons exemplos de humanidade.

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram de forma direta ou indireta na elaboração deste estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eng. Breno Salgado Barra que não mediu esforços no apoio a esta pesquisa, dando total suporte para a fundamentação deste trabalho.

Aos professores Prof. Dr. Eng. Leto Momm, que me acompanhou desde o início do mestrado e sempre me incentivou na exploração do tema, a Prof.^a Dr. Eng^a Liedi Bernucci que me auxiliou na época do meu TCC e hoje participa do meu mestrado, a Prof.^a Dr. Adriana dos Santos e o Prof. Yader Pérez que gentilmente aceitaram participar da banca examinadora.

Muito grato também pela colaboração do Governo de Santa Catarina através da SC Participações e Parcerias S/A. Também a Geoforma Engenharia Ltda., Terraforte Sondagens e Engenharia Geotécnica, Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação da UFSC Joinville, Laboratório de Tecnologia de Pavimentação LTP da USP, Rudnick Minérios e Calcário Botuverá, disponibilizando tempo, materiais e ensaios técnicos para esta pesquisa.

Em especial à empresa onde trabalho, Azimute Consultoria e Projetos de Engenharia e aos meus colegas de trabalho, que me apoiaram durante todo esse processo.

Aos professores da UFSC e UDESC que também foram muito importantes na minha formação acadêmica e profissional.

“Inventar é imaginar o que ninguém pensou, é acreditar no que ninguém jurou, é arriscar o que ninguém ousou, é realizar o que ninguém tentou. As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho teimoso, em que não deve haver lugar para o esmorecimento”.

(Santos Dumont, 1906).

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é dimensionar e avaliar o comportamento mecânico de estruturas de pavimento asfáltico aeroportuário. Neste contexto, a metodologia francesa foi escolhida para ser aplicada em função de apresentar cunho racional e estreita relação campo/laboratório. Esta metodologia destaca-se pela análise dos danos individuais e acumulados sofridos pela estrutura e também a variação do posicionamento transversal das aeronaves durante as operações de pousos e decolagens. Leva em conta os parâmetros mecânicos fundamentais dos materiais asfálticos, como o módulo de rigidez complexo e a fadiga, compreendendo a determinação dos esforços gerados em uma malha tridimensional, iterada a partir do método dos elementos finitos. O estudo de caso aborda o dimensionamento de uma das pistas do aeroporto regional do complexo intermodal que se pretende instalar no norte do Estado de Santa Catarina. Em cunho prático, foram realizados estudos para definição das aeronaves de dimensionamento, sondagens e ensaios geotécnicos para conhecimento e caracterização da plataforma de fundação incluindo ensaio triaxial para determinação do módulo de rigidez do solo e de caracterização da camada de transição em material granular, além da definição da temperatura equivalente e da utilização de estudos de misturas asfálticas já ensaiadas a partir da metodologia francesa no Brasil. São descritos os cálculos do dimensionamento, no âmbito das modelizações elástica e viscoelástica lineares, utilizando o modelo reológico de Huet-Sayegh e as ferramentas de cálculo *Viscoanalyse* e *Viscoroute*. Os resultados indicam a importância de se analisar corretamente, a distribuição das cargas aplicadas pelos trens de pouso nas estruturas dos pavimentos. As análises viscoelásticas lineares mostraram maior precisão à resposta dos materiais constituintes do pavimento quando comparadas às elásticas lineares, em razão de considerarem as funções de relaxação e fluência na aplicação dos esforços mecânicos às misturas asfálticas e permitirem a solitação do pavimento a partir de carregamento dinâmico e não estacionário, acarretando modificações nas análises dos danos acumulados e nas espessuras dimensionadas.

Palavras-chave: pavimentos aeroportuários, metodologia francesa de dimensionamento, misturas asfálticas, aeronaves, danos acumulados, variação transversal, análise numérica.

ABSTRACT

The main aim of this research is to design and to evaluate the mechanical behavior of airfield pavement structures. In this context, French methodology was chosen to be applied in the proposed case study, due to present rational approach and close field/laboratory rate. With regard to the technical scope, the referred methodology is distinguished by its vanguard on the analysis of individual and cumulated damages supported by the asphalt materials and structural foundation platforms. The numerical simulations carried out take also into account the aircraft transversal sweep maneuvers during landing and take-off procedures, as well as the fundamental mechanical parameters of bituminous materials, such as stiffness modulus and fatigue, comprising the calculus of efforts generated in a tridimensional grid iterated by Finite Element Method. The case study approached in this research considers the design of a runway intended to be constructed in the regional intermodal complex of Santa Catarina, a State located in the southern of Brazil. They were also carried out traffic studies to define the designing aircrafts, geotechnical prospection and characterization of the platform foundation soil, including triaxial dynamic test to determine the stiffness modulus of its subgrade sample, and tests to characterize the coursed reinforcement layer. Besides, it was defined the equivalent temperature and considered the use of technical studies previously carried out with asphalt mixes in Brazil taking into account the French methodology scope. Detailed designing calculus are presented, with regard to the elastic and viscoelastic linear modeling, using Huet-Sayegh rheological model and computerized tools *Viscoanalyse* and *Viscoroute*. The results obtained indicate the importance of analyze suitably the loading distribution applied by the landing gears on the pavement structures, because not always the heaviest aircraft generates the major structural damages, as well as the viscoelastic linear analyzes present more accuracy to the response of the materials when compared to the elastic linear analyzes, due to consider relaxation and fluency functions in the application of the mechanical efforts on the asphalt mixes and to feasible dynamic loading simulations, instead of stationary, provoking changes in cumulated damage analyzes and in the thicknesses designed.

Keywords: airfield pavements, French design methodology, asphalt mixes, aircrafts, cumulated damages, transversal sweep maneuvers.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 - Frota brasileira de aeronaves da aviação geral de 2004 a 2014.	37
Figura 1.2 - Localização do Complexo Intermodal de Santa Catarina.	39
Figura 1.3 - Macrozoneamento da proposta de implantação do aeroporto.	39
Figura 1.4 - Complexo aeroportuário Charles de Gaulle.	40
Figura 1.5 - Aeronave Antonov 225.	44

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Ilustração de uma seção transversal de pavimentação.	45
Figura 2.2 - Agregados Minerais e Ligante Asfáltico.	46
Figura 2.3 - Resumo dos níveis de avaliação e ensaios principais para a formulação de misturas asfálticas pela metodologia francesa.	49
Figura 2.4 - Prensa de compactação giratória e o esquema ilustrativo do funcionamento.	50
Figura 2.5 - Compactação de placa em equipamento pneumático e máquina para o ensaio de deformação permanente.	51
Figura 2.6 - Corpo de prova trapezoidal.	53
Figura 2.7 - Aferição do deslocamento e colagem dos corpos de prova para posterior execução do ensaio de módulo complexo.	54
Figura 2.8 - Corpos de prova na máquina de ensaio e sistema aquisitor de dados.	54
Figura 2.9 - Exemplo da representação do plano cole cole de uma mistura asfáltica ensaiada.	56
Figura 2.10 - Exemplo da representação de uma curva de equivalência frequência-temperatura de uma mistura asfáltica ensaiada.	56
Figura 2.11 - Evolução das fases do ensaio de fadiga.	57
Figura 2.12 - Exemplo de uma curva de fadiga à deformação controlada.	58
Figura 2.13 - Estrutura de pavimentação adotada na França.	61

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 - Resposta de um material viscoelástico sob tensão controlada.....	65
Figura 3.2 - Resposta de um material viscoelástico sob deformação controlada.....	65
Figura 3.3 - Representação gráfica da função de relaxação (deformação e tensão).	66
Figura 3.4 - Representação gráfica da função de fluência.	67
Figura 3.5 - Modelo analógico de Huet.....	68
Figura 3.6 - Modelo analógico de Huet-Sayegh.....	68
Figura 3.7 - Modelo de Huet e Huet-Sayegh no plano complexo (Cole-Cole).....	70

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Exemplo de distâncias declaradas do anexo 14 da ICAO.	72
Figura 4.2 - Geometria dos trens de pouso da aeronave Airbus A-380.....	74
Figura 4.3 - Geometria dos trens de pouso da aeronave Boeing 777-300ER.	75
Figura 4.4 - Distribuição das cargas da aeronave através dos trens de pouso.....	77
Figura 4.5 - Interface da ferramenta de cálculo para dimensionamento de pavimentos aeroportuários da FAA.	78
Figura 4.6 - Representação esquemática das famílias de pavimentos aeroportuários da França.	81

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 - Representação dos efeitos do cálculo em grelha das tensões e deformações.	85
Figura 5.2 - Interface da ferramenta de cálculo <i>Viscoroute</i>	85
Figura 5.3 - Material granular não tratado utilizado na França (Grave non traité 0/20mm).	88
Figura 5.4 - Modelo de cálculo da estrutura do pavimento.	89
Figura 5.5 - Modelo de cálculo do suporte de subleito de acordo com a profundidade do substrato rígido.	90

Figura 5.6 - Representação da grade de cálculo na interface entre a camada betuminosa e granular.	91
Figura 5.7 - Ilustração da tela com os resultados de cálculo realizado pela ferramenta de cálculo <i>Alizé-Aéronautique</i>	92
Figura 5.8 - Área geométrica considerada para aplicação do modelo de Burmister no cálculo das tensões e deformações no pavimento.	92
Figura 5.9 - Danos avaliados no cálculo da estrutura do pavimento flexível aeroportuário.	93
Figura 5.10 - Exemplo de deformações de tração máxima na base da camada asfáltica geradas pela passagem de um Airbus A350-800.	94
Figura 5.11 - Curva de Wöhler.	95
Figura 5.12 - Exemplo de aterrissagem excêntrica em relação ao eixo longitudinal da pista.	97
Figura 5.13 - Ilustração da variação de posicionamento transversal.	98
Figura 5.14 - Distribuição estatística aplicada no cálculo do dano individual considerando a varredura transversal (bal).	99
Figura 5.15 - Exemplo da curva de danos acumulados no perfil com e sem a consideração da variação transversal.	100
Figura 5.16 - Representação esquemática da RseR.	102
Figura 5.17 - Gráfico de espessuras mínimas de material asfáltico para camada de base.	111

CAPÍTULO 6

Figura 6.1 - Layout pretendido para o complexo intermodal.	114
Figura 6.2 - Local onde foi realizada a sondagem ST-01.	116
Figura 6.3 - Materiais coletados na sondagem ST-01.	116
Figura 6.4 - Local onde foi realizada a sondagem ST-02.	117
Figura 6.5 - Materiais coletados na sondagem ST-02.	117
Figura 6.6 - Coleta da amostra.	118
Figura 6.7 - Perfil do poço de coleta.	118
Figura 6.8 - Início da sondagem SP-01.	119
Figura 6.9 - Diferenciação dos materiais encontrados na SP-01.	120

Figura 6.10 - Testemunho à 1,00m de profundidade na SP-01.....	120
Figura 6.11 - Testemunho à 2,00m de profundidade na SP-01.....	120
Figura 6.12 - Execução da sondagem SP-01.....	121
Figura 6.13 - Execução da sondagem SP-01.....	121
Figura 6.14 - Execução da sondagem SP-02.....	122
Figura 6.15 - Testemunho à 2,00m de profundidade na SP-02.....	123
Figura 6.16 - Testemunho à 3,00m de profundidade na SP-02.....	123
Figura 6.17 - Amostra coletada sendo preparada no laboratório.....	124
Figura 6.18 - Amostra coletada sendo preparada no laboratório.....	124
Figura 6.19 - Curva granulométrica, areia cinza escuro.....	125
Figura 6.20 - Amostra do subleito: curva de compactação (energia normal).....	126
Figura 6.21 - Amostra do subleito: curva de compactação (energia modificada).....	127
Figura 6.22 - Calcário Botuverá Mineração Rio do Outro (escritório).....	128
Figura 6.23 - Coleta de amostra de calcário calcítico.....	128
Figura 6.24 - Preparação das amostras de mistura solo/calcário.....	128
Figura 6.25 - Preparação das amostras de mistura solo/calcário.....	129
Figura 6.26 - Moldagem dos corpos de prova para o ensaio.....	129
Figura 6.27 - Corpos de prova da mistura solo/calcário com diferentes teores de calcário.....	129
Figura 6.28 - Rompimento de uma das misturas de solo/calcário.....	130
Figura 6.29 - Resumo dos resultados do ensaio de compressão simples conforme a adição de calcário na mistura.....	130
Figura 6.30 - Amostra de solo tratado com calcário: curva de compactação (energia modificada).....	131
Figura 6.31 - Ensaio triaxial dinâmico.....	132
Figura 6.32 - Ensaio triaxial dinâmico.....	132
Figura 6.33 - Módulo de resiliência: solo in natura.....	133
Figura 6.34 - Módulo de resiliência: solo tratado com 8% de calcário.....	134
Figura 6.35 - Evolução do PIB em Santa Catarina.....	141
Figura 6.36 - Instalações da Rudnick Minérios.....	155

Figura 6.37 - Material coletado na Rudnick Minérios.....	155
Figura 6.38 - Granulometria GNT 1 versus obtida em laboratório.....	157
Figura 6.39 - Compactação das misturas asfálticas.....	160
Figura 6.40 - Ensaio para determinação do módulo complexo.....	160
Figura 6.41 - Espaço de Black da mistura asfáltica de módulo elevado....	162
Figura 6.42 - Plano Cole Cole da mistura asfáltica de módulo elevado. ...	162
Figura 6.43 - Simulação numérica no <i>Viscoanalyze</i> da mistura asfáltica de módulo elevado.....	163
Figura 6.44 - Curva isócrona do $ E^* $ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.....	166
Figura 6.45 - Curva isotérmica do $ E^* $ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.....	166
Figura 6.46 - Plano Cole-Cole do $ E^* $ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.....	167
Figura 6.47 - Espaço de Black do $ E^* $ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.....	167
Figura 6.48 - Função Damping da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.....	168
Figura 6.49 - Curva de equivalência frequência temperatura da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.....	168
Figura 6.50 - Gráfico do ensaio de fadiga realizado na temperatura 10°C e frequência de 25Hz.....	170
Figura 6.51 - Gráfico do ensaio de fadiga realizado na temperatura 30°C e frequência 25Hz.....	170

CAPÍTULO 7

Figura 7.1 - Pista de teste para desenvolvimento da metodologia francesa de dimensionamento.....	175
Figura 7.2 - Dimensões da aeronave Airbus A-380-800.....	179
Figura 7.3 - Dimensões da aeronave Airbus A-380-800.....	180
Figura 7.4 - Geometria dos trens de pouso da aeronave Airbus A-380-800.....	181
Figura 7.5 - Trens de pouso do Airbus A380-800.....	181
Figura 7.6 - Geometria dos trens de pouso principais do Airbus A380-800.....	183

Figura 7.7 - Deslocamento das coordenadas das rodas dos dois trens de pouso principais da aeronave Airbus A380-800.	185
Figura 7.8 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal 01 do Airbus A380-800 no novo eixo x' e y'	186
Figura 7.9 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal 02 do Airbus A380-800 no novo eixo x' e y'	186
Figura 7.10 - Geometria dos trens de pouso principais do Antonov An-124.	187
Figura 7.11 - Deslocamento das coordenadas das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-124.	189
Figura 7.12 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal do Antonov An-124 no novo eixo x' e y'	189
Figura 7.13 - Geometria dos trens de pouso principais do Antonov An-225.	190
Figura 7.14 - Deslocamento das coordenadas das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-225.	192
Figura 7.15 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal do Antonov An-225 no novo eixo x' e y'	193
Figura 7.16 - Geometria dos trens de pouso principais do Boeing 747-400.	194
Figura 7.17 - Deslocamento das coordenadas das rodas dos trens de pouso principais da aeronave Boeing 747-400.	196
Figura 7.18 - Coordenadas das rodas dos trens de pouso principais 01 e 02 do Boeing 747-400 no novo eixo x' e y'	197
Figura 7.19 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Boeing 447-400.	200
Figura 7.20 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Airbus A380-800.	200
Figura 7.21 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Antonov An-124.	201
Figura 7.22 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Antonov An-224.	201

Figura 7.23 - Distribuição normal centralizada calculada pela integral definida para o posicionamento no $y' = 0,00\text{m}$ (Boeing 747-400).....	202
Figura 7.24 - Distribuição normal centralizada calculada pela integral definida para o posicionamento no $y' = 0,56\text{m}$ (Boeing 747-400).....	202
Figura 7.25 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal 01 da aeronave Airbus A380-800.....	208
Figura 7.26 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal 02 da aeronave Airbus A380-800.....	208
Figura 7.27 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal 01 e 02 da aeronave Boeing 747-400.	209
Figura 7.28 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-124.....	210
Figura 7.29 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-225.....	211
Figura 7.30 - Configuração da estrutura 01 simulada.....	213
Figura 7.31 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na camada de base.	214
Figura 7.32 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na camada de base.	214
Figura 7.33 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.	215
Figura 7.34 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.	215
Figura 7.35 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.	216
Figura 7.36 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.	216
Figura 7.37 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.	217

Figura 7.38 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.....	217
Figura 7.39 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.	218
Figura 7.40 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.	218
Figura 7.41 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.	219
Figura 7.42 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.	219
Figura 7.43 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.	220
Figura 7.44 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.	220
Figura 7.45 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.	221
Figura 7.46 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.	221
Figura 7.47 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.....	222
Figura 7.48 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.....	222
Figura 7.49 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.....	223
Figura 7.50 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.....	223
Figura 7.51 - Configuração da estrutura 02 simulada.	224
Figura 7.52 - Configuração da estrutura 03 simulada.	226
Figura 7.53 - Configuração da estrutura 04 simulada.	227
Figura 7.54 - Configuração da estrutura 05 simulada.	228
Figura 7.55 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.....	229
Figura 7.56 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.....	229

Figura 7.57 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.	230
Figura 7.58 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.	230
Figura 7.59 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.	231
Figura 7.60 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.	231
Figura 7.61 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.	232
Figura 7.62 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.	232
Figura 7.63 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.	233
Figura 7.64 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.	233
Figura 7.65 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.	234
Figura 7.66 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.	234
Figura 7.67 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.	235
Figura 7.68 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.	235
Figura 7.69 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.	236
Figura 7.70 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.	236
Figura 7.71 - Configuração da estrutura 06 simulada.	237

CAPÍTULO 8

Figura 8.1 - Danos avaliados no cálculo da estrutura do pavimento para este estudo.	241
Figura 8.2 - Variação da deformação para uma mesma estrutura (cálculo elástico e cálculo viscoelástico).	244

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 - Classificação da PF (plataforma de suporte do pavimento) para fins rodoviários.....	60
--	----

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 - Espessuras mínimas de base conforme o tipo do trem de pouso e faixa de carga.....	79
--	----

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1 - Módulos de rigidez do subleito natural conforme a classe da plataforma (para dimensionamento aeroportuário).	88
Tabela 5.2 - Exemplo de valores de RseR para diferentes tipos de tráfego.	101
Tabela 5.3 - Valores do desvio padrão da varredura transversal da pista.....	107

CAPÍTULO 6

Tabela 6.1 - Resumo da sondagem ST-01.....	115
Tabela 6.2 - Resumo da sondagem ST-02.....	116
Tabela 6.3 - Resumo do PC-01.....	117
Tabela 6.4 - Resumo da sondagem SP-01.	119
Tabela 6.5 - Resumo da sondagem SP-02.	122
Tabela 6.6 - Resumo dos resultados da análise granulométrica, LL, LP e IP e densidade dos grãos.....	125
Tabela 6.7 - Amostra do subleito: ensaio de compactação (energia normal).	126
Tabela 6.8 - Amostra do subleito: ensaio de compactação (energia modificada).....	127
Tabela 6.9 - Amostra de solo tratado com calcário: ensaio de compactação (energia modificada).	131
Tabela 6.10 - Composição dos voos do aeroporto de Joinville.	136
Tabela 6.11 - Composição dos voos do aeroporto de Florianópolis.....	137
Tabela 6.12 - Composição dos voos do aeroporto de Navegantes.	139

Tabela 6.13 - PIB de Santa Catarina entre 2007 e 2016.	141
Tabela 6.14 - Aeronaves previstas no estudo locacional.....	142
Tabela 6.15 - Movimentação de passageiros e cargas nos aeroportos de Campinas (Viracopos) e Guarulhos (Cumbica).	142
Tabela 6.16 - Tráfego gerado (movimentos diários equivalentes).....	143
Tabela 6.17 - Tráfego desviado (movimentos diários equivalentes).....	143
Tabela 6.18 - Tráfego total anual previsto no ano de abertura.	144
Tabela 6.19 - Crescimento do tráfego para 10 anos (parte 1 de 2)	145
Tabela 6.20 - Crescimento do tráfego para 10 anos (parte 2 de 2)	145
Tabela 6.21 - Componentes para cálculo do tráfego.	146
Tabela 6.22 - Cálculo da redução da lista de aeronaves.	147
Tabela 6.23 - Configuração de tráfego para o dimensionamento.	148
Tabela 6.24 - Temperaturas máximas diárias por mês (entre 2007 e 2016).	149
Tabela 6.25 - Temperaturas mínimas diárias por mês (entre 2007 e 2016).	150
Tabela 6.26 - Definição do tipo de clima.....	151
Tabela 6.27 - Classificação no nível de solicitação do pavimento em função da classe de tráfego e do tipo de clima.....	151
Tabela 6.28 - Características mínimas para uso de GNT em camada de transição por classe de tráfego conforme NF P 18-545.	152
Tabela 6.29 - Características mínimas do GNT para uso em camada de transição em pavimentos aeroportuários, conforme NF EN 13-285.	153
Tabela 6.30 - Teor máximo de finos conforme NF EN 13-285.....	153
Tabela 6.31 - Teor mínimo de finos conforme NF EN 13-285.	154
Tabela 6.32 - Especificação da curva granulométrica do GNT 1 categoria G _B conforme NF EN 13-285.....	154
Tabela 6.33 - Resultado dos ensaios de Los Angeles, índice de forma e durabilidade.	156
Tabela 6.34 - Granulometria obtida em laboratório.	156
Tabela 6.35 - Coeficiente k em função da categoria do GNT.	157
Tabela 6.36 - Materiais sugeridos para utilização em camada de base conforme a seção de projeto e nível de solicitação.	159

Tabela 6.37 - Resultados do ensaio de módulo complexo da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.	164
Tabela 6.38 - Resultados dos ensaios de fadiga da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.	169
Tabela 6.39 - Materiais sugeridos para utilização na camada de ligação entre o revestimento e a base conforme a seção e nível de sollicitação.....	171
Tabela 6.40 - Materiais sugeridos para utilização na camada de rolamento conforme a seção e nível de sollicitação.....	173

CAPÍTULO 7

Tabela 7.1 - Espessuras (em cm) das camadas das estruturas simuladas.	177
Tabela 7.2 - Dano calculado na fibra inferior da camada asfáltica (considerando a variação transversal) para cada estrutura simulada.....	178
Tabela 7.3 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 01 do Airbus A380-800.....	184
Tabela 7.4 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 02 do Airbus A380-800.....	184
Tabela 7.5 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 01 do Airbus A380-800.	184
Tabela 7.6 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 02 do Airbus A380-800.	185
Tabela 7.7 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-124.....	188
Tabela 7.8 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-124.	188
Tabela 7.9 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-225.....	191
Tabela 7.10 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-225.	191
Tabela 7.11 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 01 do Boeing 747-400.	195
Tabela 7.12 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 02 do Boeing 747-400.	195

Tabela 7.13 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 01 do Boeing 747-400.	195
Tabela 7.14 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 02 do Boeing 747-400.	196
Tabela 7.15 - Exemplificação do Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando a variação transversal.	199
Tabela 7.16 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 01.	213
Tabela 7.17 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 02.	224
Tabela 7.18 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 03.	226
Tabela 7.19 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 04.	227
Tabela 7.20 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 05.	228
Tabela 7.21 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 06.	237

CAPÍTULO 8

Tabela 8.1 - Danos na fibra da camada inferior da camada betuminosa sem considerar a variação da transversal.	242
Tabela 8.2 - Danos na fibra da camada inferior da camada betuminosa considerando a variação da transversal.	242
Tabela 8.3 - Danos no topo da plataforma de fundação sem considerar a variação da transversal.	242
Tabela 8.4 - Danos no topo da plataforma de fundação considerando a variação da transversal.	243

LISTA DE ABREVIações

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABAG	Associação Brasileira de Aviação Civil
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPV	Associação Brasileira de Pavimentação
AC	Advisory Circular
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANV	Modelo de Aeronave
AR	Arado de Terraplenagem
ASDA	Accelerate Stop Distance Available
BBA	Béton Bitumineux Aeronautique
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CBR	Califórnia Bearing Ratio
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CP	Carga Paga
CPM	Carga Paga Máxima Estrutural
DGAC	Direction Générale de L'Aviation Civile
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
EB	Enrobé Bitumineux
EME	Enrobé à Module Elevé
EUA	Estados Unidos da América
FAA	Federal Aviation Administration
GB	Grave Bitume
GDPPav	Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação
GNT	Grave Non Traitée
IAC	Instituto de Aviação Civil
ICAO	International Civil Aviation Organization

IFSTTAR	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LDA	Landing Distance Available
LP	Comprimento de Pista Aeroportuária
LPC	Laboratoire des Ponts et Chaussées
Mrw	Peso total da aeronave em toneladas
Mvts	Número de passagens durante o período de 10 anos
NE	Número de Eixos Equivalentes
NF	Norme Française
PCG	Prensa de Compactação Giratória
PF	Plataforma de Suporte do Pavimento
PIB	Produto Interno Bruto
PMA	Peso Máximo Estrutural de Aterrisagem
PMD	Peso Máximo Estrutural de Decolagem
PMR	Peso Máximo de Rampa
POV	Peso Operacional Vazio
PST	Parte Superior de Terraplenagem
PZC	Peso Zero Combustível
RseR	Roue Simple Equivalente Rationnelle
SC-Par	Santa Catarina Participações e Parcerias S.A.
SETRA	Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
STAC	Service Technique de L'Aviation Civile
TODA	Take Off Distance Available
TORA	Take Off Run Available
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USACE	United State Arm Corps of Engineers
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetros
D	Dano acumulado resultante
ϵ_6	Deformação à 10^6 ciclos
ϵ_{\max}	Deformação máxima
ϵ_{zz}	Deformação vertical na superfície da plataforma de terraplenagem
$\epsilon_{zz, \max}$	Deformação vertical máxima na superfície da plataforma de terraplenagem
fKn	Frequência
in	Polegadas
k	Constante
k_c	Coefficiente de calibração
Kg	Quilo
kN	Quilonewtons
kPa	Quilopascal
k_r	Coefficiente de dispersão dos valores do ensaio de fadiga
k_s	Coefficiente minorador da deformação admissível
k_{ef}	Coefficiente de transposição da temperatura equivalente
lbs	Libras
log	Logaritmo
mm	Milímetros
MPa	Megapascal
n_i	Número de carregamentos
$^{\circ}\text{C}$	Graus célsius
P_{rj}	Carga da roda mais carregada da aeronave
$P_{r\max}$	Carga da roda mais carregada de toda a composição de aeronaves
psi	Pressão em libras por polegada quadrada
tf	Toneladas

β	Expoente proveniente do ensaio de fadiga
ΔD	Dano elementar
ΔD_{bal}	Varição do dano da varredura transversal
Δx	Varição no eixo x
Δy	Varição no eixo y
S_{max}	Amplitude da solitação máxima
K	Parâmetro de cálculo para danos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	37
1.1 Justificativa e Relevância do Tema	37
1.2 Objetivos da Pesquisa	43
1.2.1 Objetivos gerais	43
1.2.2 Objetivos específicos	43
2 ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS	45
2.1 Considerações Gerais	45
2.2 Misturas Asfálticas	46
2.2.1 Conceito	46
2.2.2 Classificação das misturas asfálticas	47
2.3 Metodologia Francesa de Dosagem de Misturas	48
2.3.1 Introdução	48
2.3.2 Nível 0 - Parâmetros preliminares	49
2.3.3 Nível 1 - PCG e Duriez	50
2.3.4 Nível 2 - Deformação permanente	51
2.3.5 Nível 3 - Módulo complexo	52
2.3.6 Nível 4 - Fadiga	57
2.4 Tecnologia Francesa para Dimensionamento	59
3 DESEMPENHO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS	63
3.1 Considerações	63
3.2 Viscoelasticidade Linear	64
3.3 Relaxação e Fluência	65
3.3.1 Considerações	65
3.3.2 Função de relaxação	66
3.3.3 Função de fluência	67
3.4 Modelo de Huet e Huet-Sayegh	67

4 PISTAS AEROPORTUÁRIAS.....	71
4.1 Considerações Gerais	71
4.2 Projetos de Infraestruturas Aeroportuárias	72
4.2.1 Elementos Geométricos	72
4.2.2 Comprimento de Pista.....	73
4.2.3 Trens de Pouso.....	74
4.2.4 Aeronaves.....	75
4.3 Metodologia de Dimensionamento Utilizada no Brasil.....	76
4.4 Misturas Asfálticas Utilizadas em Aeroportos	80
4.5 Infraestruturas Aeroportuárias Francesas.....	80
5 DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA FRANCESA.....	83
5.1 Considerações do Método	83
5.2 Plataforma de Suporte do Pavimento	86
5.2.1 Caracterização da Parte Superior de Terraplenagem	86
5.2.2 Classes de Terraplenagem	86
5.2.3 Regularização do Subleito	87
5.2.4 Características Mecânicas para fins de Dimensionamento.....	88
5.3 Cálculo das Tensões Induzidas pelo Tráfego	89
5.3.1 Cálculo dos Danos do Pavimento	93
5.3.2 Lei de Dano de Wohler.....	94
5.3.3 Lei de Dano de Wöhler-Miner	96
5.3.4 Dano Levando em Conta a Varredura Transversal.....	97
5.3.5 Dano Acumulado pelo Tráfego de Projeto.	99
5.3.6 Fator de Agressividade do Tráfego	100
5.3.7 Fator de Fadiga dos Materiais Asfálticos	103
5.4 Processo de Dimensionamento de Pavimentos	104
5.4.1 Dados Necessários	104
5.4.2 Período de Projeto e Risco	104

5.4.3 Tráfego de Aeronaves	104
5.4.4 Peso das Aeronaves.....	105
5.4.5 Redução da Lista de Aeronaves Consideradas	105
5.4.6 Velocidade	106
5.4.7 Varredura Transversal da Pista	107
5.4.8 Dados de Temperatura	108
5.4.9 Etapas do Dimensionamento	109
6 METODOLOGIA DA PESQUISA	113
6.1 Considerações Iniciais.....	113
6.2 Definição do Objeto do Estudo	113
6.3 Caracterização do Subleito.....	115
6.4 Composição do Tráfego	136
6.5 Temperatura Equivalente	149
6.6 Materiais de Pavimentação	152
6.6.1 Camada de Transição com Granular não Tratado (GNT)	152
6.6.2 Base com Mistura Asfáltica de Módulo Elevado	159
6.6.3 Revestimento com Mistura de Referência.	171
7 SIMULAÇÕES NUMÉRICAS.....	175
7.1 Considerações Gerais do Dimensionamento	175
7.2 Geometria dos Trens de Pouso	179
7.2.1 Considerações	179
7.2.2 Airbus A380-800	183
7.2.3 Antonov An-124	187
7.2.4 Antonov An-225	190
7.2.5 Boeing 747-400.....	194
7.3 Cálculo da Varredura Transversal	198
7.4 Simulação Elástica	203
7.4.1 Parâmetros de Entrada	203

7.4.2 Estrutura 01.....	213
7.4.3 Estrutura 02.....	224
7.5 Simulação Viscoelástica.....	225
7.5.1 Parâmetros de Entrada.....	225
7.5.2 Estrutura 03.....	226
7.5.3 Estrutura 04.....	227
7.5.4 Estrutura 05.....	228
7.5.5 Estrutura 06.....	237
8 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	238
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	245
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	248
APÊNDICE A - Desenhos.....	255
APÊNDICE B - Cálculo da Estrutura 01.....	271
APÊNDICE C - Cálculo da Estrutura 05.....	327
ANEXO A - Sondagens à Percussão SP-01.....	379
ANEXO B - Sondagens à Percussão SP-02.....	380
ANEXO C - Sondagens à Trado.....	381
ANEXO D - Ensaio de Caracterização.....	384

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

No Brasil o modal que ainda predomina é o rodoviário, porém se observa que nos últimos anos houve um aumento significativo na quantidade de pessoas que utilizam o avião como meio de transporte.

Conforme informações divulgadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2015), a demanda doméstica do transporte aéreo de passageiros mais do que duplicou nos últimos dez anos com alta de 162,5% entre os anos de 2005 e 2014 e com crescimento médio de 11,3% ao ano. Esse crescimento representou mais de três vezes o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e mais de 12 vezes o da população. Com alta de 5,8% em 2014, a demanda doméstica acelerou e atingiu o seu maior nível nos últimos dez anos.

Segundo publicação da Associação Brasileira de Aviação Geral (ABAG) podemos perceber que o número de aeronaves cresceu de 10.393 para 15.120 entre 2004 e 2014, conforme podemos verificar no gráfico abaixo.

Figura 1.1 - Frota brasileira de aeronaves da aviação geral de 2004 a 2014.



Fonte: ABAG, 2015.

O transporte aéreo é o menos utilizado para o transporte de cargas no Brasil, apesar da rapidez do avião ser bem maior em relação aos outros modais. Em consulta ao anuário brasileiro de aviação geral de 2015, pode-se perceber que apesar do valor do frete ser mais caro do que o rodoviário e ferroviário, a demanda no segmento de cargas com serviço regular é crescente.

As aeronaves estão ficando cada vez mais modernas, eficientes e seguras, com maior capacidade de transporte de carga e passageiros, ocasionando um aumento do peso máximo de decolagem, ou seja, a aeronave se torna mais pesada, principalmente durante a decolagem, quando os tanques de

combustíveis podem estar totalmente carregados. Na medida em que a demanda do setor aeroviário aumenta e as tecnologias da indústria aeronáutica permitem aeronaves mais pesadas, as obras de infraestruturas aeroportuárias precisam acompanhar essa evolução.

Desde 2003 está em prática um plano de obras para ampliação da capacidade dos aeroportos pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). Isso mostra que no Brasil já existe uma preocupação com o aumento da demanda desse tipo de transporte e a necessidade de melhorias na infraestrutura dos aeroportos. Na parte relacionada aos pavimentos aeroportuários, assim como nos rodoviários, estes precisam cumprir a sua função de suporte estrutural e operacional e também oferecer conforto ao rolamento e segurança nas operações sobre a sua superfície.

Para uma otimização e melhor eficiência do projeto de pavimentação de uma pista aeroportuária é de fundamental importância o conhecimento do comportamento mecânico dos materiais que compõe a estrutura do pavimento, assim como o terreno de fundação (subleito).

Além do suporte estrutural que os pavimentos aeroportuários devem garantir durante a sua vida de serviço, uma questão que merece destaque é a segurança durante as operações de decolagem e aterrissagem. Uma parcela importante desta segurança está relacionada à qualidade da superfície do pavimento.

Em 2010 o governo do estado de Santa Catarina através da SC-Parcerias iniciou uma etapa de estudos preliminares para a implantação de um complexo intermodal englobando os modais aeroviário, ferroviário e rodoviário com ligação portuária. Com a finalidade de facilitar o escoamento da produção de bens produzidos no estado. O estudo inicial teve como objetivo encontrar um terreno que oferecesse segurança aeroportuária, condições climáticas favoráveis e localização estratégica na região norte catarinense.

Depois de uma etapa de estudos para escolha do terreno ideal a ser utilizado optou-se por um terreno no município de Araquari. A Figura 1.2 mostra o posicionamento previsto para o complexo.

Figura 1.2 - Localização do Complexo Intermodal de Santa Catarina.



Fonte: SC-Parcerias, 2010.

O estudo sugere a implantação de um complexo logístico para armazenagem de cargas, terminais ferroviário e marítimo, com ligação aos portos da região, aeroporto regional para passageiros e cargas, zona de processamento de exportação e distrito industrial. O complexo contaria com um aeroporto composto de duas pistas de pouso e decolagens, sendo uma delas com extensão de 4.000m. O aeroporto pretendido seria destinado a passageiros e cargas, porém o objetivo principal é o transporte de cargas. A Figura 1.3 mostra a primeira proposta para o zoneamento do aeroporto.

Figura 1.3 - Macrozoneamento da proposta de implantação do aeroporto.



Fonte: SC-Parcerias, 2010.

As características que foram estudadas para a proposta de implantação do aeroporto tiveram como base estudos realizados

sobre as principais características de aeroportos com características similares a da proposta. O aeroporto que serviu como referência e modelo para a proposta é o aeroporto Charles de Gaulle na França.

Segundo informações do “*Guide du Client, Aéroports de Paris*” (2015) o aeroporto é o mais importante da França e um dos mais movimentados do mundo. Fica localizado a 25 km de distância do centro de Paris e também opera o transporte de cargas. A Figura 1.4 mostra o complexo aeroportuário Charles de Gaulle.

Figura 1.4 - Complexo aeroportuário Charles de Gaulle.



Fonte: Aéroports de Paris, 2015.

Devido às condições econômicas do estado o estudo para implantação do complexo intermodal encontra-se parado, mas devido a sua importância e aplicabilidade, torna-se uma alternativa que merece ser alvo de estudo. A implantação de um complexo intermodal seria um fator de perspectiva para a retomada do desenvolvimento econômico e social.

Com a evolução das tecnologias aeronáuticas, incluindo aeronaves cada vez mais modernas e pesadas, se faz necessária uma revisão das metodologias de dimensionamento de pavimentos aeroportuários.

Atualmente no Brasil e na maioria dos países os pavimentos em concreto asfáltico para pistas aeroportuárias são dimensionados seguindo a metodologia da FAA (Federal Aviation Administration) dos EUA (Estados Unidos da América).

Este método é inspirado nos estudos desenvolvidos pelo USACE (United State Arm Corps of Engineers) corpo de

engenheiros do exército americano. Esta metodologia sofreu várias atualizações até o presente momento.

O método usa parâmetros obtidos de forma empírica, ou seja, que não correspondem à condição real de solicitação dos materiais no campo. O método utiliza dados como:

- Módulo de resiliência dos materiais granulares e coesivos obtidos através de ensaio ou correlação com o CBR;
- Utiliza um módulo de rigidez padrão para dimensionamento das camadas asfálticas, sem considerar os diferentes tipos de misturas asfálticas existentes, ou seja, não estabelece diferença de comportamento mecânico entre os materiais, pois utiliza valores previamente tabelados para determinar os valores correspondentes;
- Utilização da teoria da elasticidade linear para estudo do comportamento mecânico de misturas asfálticas, sem levar em consideração a amplitude de deformação gerada na camada asfáltica em função da temperatura e da frequência de solicitação em cada caso;
- Ausência do estudo de temperatura, sobretudo a equivalente, para efeito de dimensionamento da estrutura do pavimento;
- Utilização de carregamento estacionário ao invés de dinâmico.

Até o ano de 2014 a França utilizava este mesmo método de dimensionamento de estruturas de pavimento asfáltico aeroportuário, no início deste mesmo ano a França lançou a publicação de uma metodologia própria de dimensionamento de pavimentos asfálticos aeroportuários, considerando uma avaliação racional do desempenho, que vai ao encontro das prerrogativas do método francês de dimensionamento de pavimentos rodoviários, levando em conta os recentes estudos no campo da mecânica dos pavimentos.

O método tem como premissa o modelo de cálculo teórico, considerando: elasticidade linear, isotropia, multicamadas, comportamento mecânico verificado em testes de laboratório, verificação da condição de congelamento e descongelamento de pista e a varredura de posicionamento transversal das aeronaves.

A avaliação leva em conta parâmetros como: fadiga dos materiais de pavimentação; condições de suporte da plataforma de fundação, conjunto e classe das aeronaves, nível de solicitação de cada aeronave, determinação das deformações e tensões atuantes

e cálculo computacional para determinação dos danos provocados na estrutura.

A metodologia francesa recentemente publicada trás uma nova visão de dimensionamento de pavimentos asfálticos aeroportuários onde se leva em conta a análise dos danos individuais e acumulados dos materiais asfálticos e do subleito. Também são incluídas no método informações relativas ao comportamento das aeronaves como velocidade de operação e configuração dos trens de pouso.

Através de uma análise tridimensional de cálculo em grelha são analisadas as tensões de tração dos materiais asfálticos e de compressão do subleito a diversas profundidades e coordenadas em função do carregamento, trens de pouso da aeronave e varredura transversal em função das excentricidades das manobras aeroportuárias. O método é dito como racional, pois leva em conta cálculos da mecânica dos pavimentos que simulam as reais condições em que o pavimento é exposto.

Diante destas prerrogativas, este trabalho propõe um estudo e aplicação de uma metodologia racional para fins de dimensionamento de pavimentos aeroportuários. Neste contexto, a metodologia francesa foi escolhida para estudo em função de apresentar uma estreita relação campo/laboratório.

A metodologia considera resultados de ensaios que visam simular da forma mais próxima às solicitações dos materiais observadas na prática, em consonância à aplicação de leis de comportamento mecânico que consideram as variáveis intrínsecas correspondentes às respostas dos materiais, verificadas a partir de testes executados em verdadeira grandeza no campo (BARRA *et al*, 2010).

Como resultado, tem-se a obtenção de equações constitutivas que possibilitam ajustar o modelo matemático utilizado às condicionantes práticas de aplicação das estruturas de pavimento sob carregamento dinâmico real, o que não é possível nas análises tradicionais (BARRA, 2009), como a da metodologia da FAA.

Logo, tem-se que esta abordagem científica que se propõe para esta pesquisa ainda não foi desenvolvida no Brasil, sobretudo utilizando dados laboratoriais obtidos a partir de ensaios de módulo complexo (rigidez) e de fadiga (deformação admissível) de misturas asfálticas para o dimensionamento, executados de acordo com princípios conceptivos da metodologia francesa (LPC, 2007), isto é, de cunho racional, para fins de dimensionamento das estruturas de pavimentos aeroportuários brasileiros.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivos gerais

O objetivo geral da pesquisa é estudar o comportamento mecânico das estruturas de pavimentos de concreto asfáltico aeroportuários e avaliar o dimensionamento destas estruturas através da utilização da metodologia racional francesa, que leva em conta informações e dados que caracterizam as condições em que os pavimentos são solicitados de forma mais próxima à realidade.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar os objetivos, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Dimensionar uma estrutura de pavimento de concreto asfáltico aeroportuário para uma das pistas de pouso e decolagens do aeroporto regional do complexo intermodal que se pretende instalar no norte de Santa Catarina. E assim aplicar a metodologia francesa de concepção de pavimentos asfálticos a uma realidade brasileira.
- Realizar uma análise do tráfego aéreo previsto no estudo de caso, objeto desta pesquisa (complexo intermodal catarinense) para selecionar a composição de aeronaves a serem adotadas no dimensionamento e assim verificar a influência e o comportamento mecânico do pavimento em função do tráfego imposto por aeronaves de grande porte para o transporte de cargas, como é o caso do Airbus A-380-800, Boeing 747-400, Antonov An-124 e Antonov An-225 (ilustrado na Figura 1.5).
- Estudar as características de suporte do terreno natural, no qual será simulado o dimensionamento do pavimento, através de ensaios para determinação do módulo de resiliência do subleito e definição da plataforma de suporte conforme princípios da metodologia francesa utilizados em aeroportos.
- Utilizar resultados de ensaios realizados para determinação do módulo complexo (rigidez) e fadiga (deformação) de materiais asfálticos dosados e concebidos através do método racional utilizado na França, porém com a utilização de matéria prima brasileira proveniente das regiões próximas ao local do estudo;

- Verificar e analisar os fatores, condições e elementos levados em conta para o dimensionamento de pavimento asfáltico aeroportuário através do método racional para concepção de pavimentos asfálticos utilizado pelos setores de engenharia aeronáutica da França;
- Utilizar a ferramenta de cálculo *Viscoroute* desenvolvido pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC) e *Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux* (IFSTTAR) para calcular os parâmetros de projeto e desempenho do pavimento dimensionado, como tensões verticais no topo do subleito e deformações longitudinais nas fibras inferiores dos materiais asfálticos, de forma a obter os valores necessários para a determinação tridimensional do efeito da passagem das aeronaves no pavimento.
- Estudar o princípio de aplicação das cargas impostas por aeronaves pesadas sobre os pavimentos asfálticos de pistas aeroportuárias, levando em conta a frequência de aplicação, velocidades das aeronaves, temperatura ambiente e do pavimento. Através de simulações numéricas considerando a estrutura possuindo material asfáltico com comportamento elástico e com comportamento viscoelástico. Realizando assim um comparativo entre os dois modelos de comportamento.

Figura 1.5 - Aeronave Antonov 225.



Fonte: www.antonov.com, 2016.

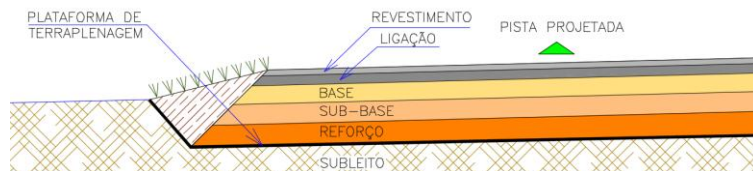
2 ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No contexto brasileiro as estruturas de pavimentos podem ser divididas em três tipos principais: pavimentos flexíveis, pavimentos rígidos e pavimentos semirrígidos.

Este estudo é dirigido à estruturas de pavimento flexível, que são estruturas compostas de camadas de materiais especificados em projeto, assentes sobre o terreno de fundação (subleito). Cada camada tem a função de absorver as tensões da camada superior, distribuir e repassar à camada inferior, uma por vez até chegar ao subleito (plataforma de fundação). Geralmente uma estrutura de pavimentação é composta das seguintes camadas: revestimento (capa de rolamento); binder (camada de ligação); base; sub-base; reforço do subleito e subleito. A Figura 2.1 exemplifica uma seção transversal de pavimentação.

Figura 2.1 - Ilustração de uma seção transversal de pavimentação.



Fonte: O autor.

As primeiras camadas, ou seja, revestimento, ligação e/ou base são as que mais sofrem influência do carregamento, principalmente o revestimento que está em contato direto com os pneus dos veículos, que podem ser eixo simples, duplo e triplo e suas variações.

O terreno (subleito) por sua vez deve resistir à tensão aplicada sem ultrapassar o limite de deformação previsto em projeto.

Diversos são os materiais empregados nas camadas de pavimentação, sendo que geralmente na região sul do Brasil, para camadas de base e/ou sub-base é utilizado: brita graduada, macadame seco, solo reforçado com cimento, brita, cal ou outros componentes.

Nas camadas de revestimento e ligação o tipo de material mais utilizado em pavimentos flexíveis é o Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ) também conhecido como Concreto

Asfáltico (CA), Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) ou Mistura Asfáltica.

2.2 MISTURAS ASFÁLTICAS

2.2.1 Conceito

Trata-se de mistura formadas por agregados minerais britados (com granulometria selecionada), ligantes asfálticos, melhoradores de adesividade e aditivos quando necessários. Estes materiais são misturados e compactados, formando um material, que para efeitos de estudos e dimensionamento é considerado homogêneo e isotrópico (BERNUCCI *et al*, 2008). A Figura 2.2 ilustra alguns dos materiais que compõem a mistura asfáltica.

Figura 2.2 - Agregados Minerais e Ligante Asfáltico.



Fonte: BERNUCCI *et al*, 2008 (adaptado pelo autor).

Para produzir a massa (mistura asfáltica) primeiramente é realizado o projeto de dosagem, onde são definidos os teores de ligante e a granulometria dos agregados. Os materiais selecionados para compor a mistura são preparados em usina, onde, pelo método convencional o agregado é aquecido a temperaturas em torno de 160°C para remover a sua umidade e permitir que o ligante asfáltico o envolva. O ligante asfáltico também é aquecido para a etapa de usinagem.

Depois de usinada a mistura é levada ao local da obra e lançada na pista através do uso de vibrocabadoras. A temperatura de compactação da mistura é em função da viscosidade do ligante e geralmente fica em torno de 140°C. Conforme Bernucci *et al* (2008) a avaliação do dano nas misturas asfálticas causado pela umidade é de grande importância, uma vez que afeta o desempenho dos pavimentos.

A metodologia francesa para formulação de misturas asfálticas possui critérios de avaliação rigorosos, a partir de técnicas e tecnologias de ensaios que possibilitam simular os esforços aplicados sobre os materiais, da maneira mais próxima possível às situações que ocorrem no campo. Além disso, possui uma relação campo-laboratório muito próxima, sendo um fator decisivo para garantir credibilidade aos resultados obtidos (BARRA *et al*, 2010).

2.2.2 Classificação das misturas asfálticas

Conforme Bernucci *et al* (2008), as misturas asfálticas podem ser classificadas tendo em conta vários parâmetros, entre eles a granulometria dos agregados, a temperatura; e a modificação.

Conforme a granulometria podem ser classificadas em:

- Misturas asfálticas densas ou bem graduadas: este tipo de mistura asfáltica apresenta uma curva granulométrica com distribuição dos grãos continua, a qual se aproxima à curva de máxima densidade. Nestas misturas a percentagem de vazios é pouca, pois os vazios deixados pelos grãos maiores são preenchidos pelos de menor tamanho;
- Mistura asfáltica aberta: as curvas granulométricas nestas misturas apresentam grãos quase exclusivamente do mesmo tamanho e deficiência de finos, o que se traduz em uma elevada percentagem de vazios;
- Mistura asfáltica descontínua: apresenta uma quantidade dominante dos grãos maiores, e uma pequena quantidade de finos para obter uma descontinuidade em certos tamanhos, o que gera um maior contato grão a grão e maior resistência à deformação permanente.

Em relação à temperatura de trabalho, Pérez (2013) explica que as misturas asfálticas, podem ser classificadas em:

- Misturas asfálticas usinadas a quente; convencionais, cujas temperaturas de usinagem usualmente são superiores a 150°C;
- Misturas asfálticas mornas: onde as temperaturas de usinagem usualmente ficam entre 100°C e 150°C;
- Misturas asfálticas semi-mornas: da mesma forma como as misturas asfálticas mornas, as semi-mornas são preparadas a temperaturas intermediárias entre as misturas asfálticas a quente e as misturas asfálticas a frio.
- Misturas a frio: são o produto da mistura dos agregados com emulsões asfálticas ou asfaltos diluídos.

Segundo os materiais utilizados podem ser classificadas em:

- Mistura asfáltica convencional: utiliza os componentes tradicionais das misturas asfálticas (granulares e ligantes);
- Misturas asfálticas modificadas: como parte de sua composição é adicionado um aditivo com o objeto de melhorar alguma das suas propriedades;
- Misturas asfálticas recicladas: é produto do reaproveitamento do material proveniente de uma mistura deteriorada estruturalmente.

2.3 MÉTODOLOGIA FRANCESA DE DOSAGEM DE MISTURAS

2.3.1 Introdução

Segundo o manual de formulação de misturas asfálticas do *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC, 2007) a metodologia francesa combina:

- Especificação detalhada dos materiais;
- Ensaios de desempenho em laboratório;
- Especificações que definem classes de desempenho;
- Avaliação da compactidade através do ensaio na prensa de compactação giratória (PCG);
- Verificação da resistência à água no ensaio de Duriez;
- Constatação da resistência à deformação permanente;
- Determinação do módulo de rigidez complexo;
- Ensaios para determinação da fadiga do material asfáltico;
- Controle contínuo na usina para a regularidade do fornecimento;
- Controle do pavimento após a compactação garantindo que o volume de vazios está dentro do intervalo aceitável com relação ao ensaio de laboratório.

O método de formulação está apoiado em três conjuntos principais, sendo:

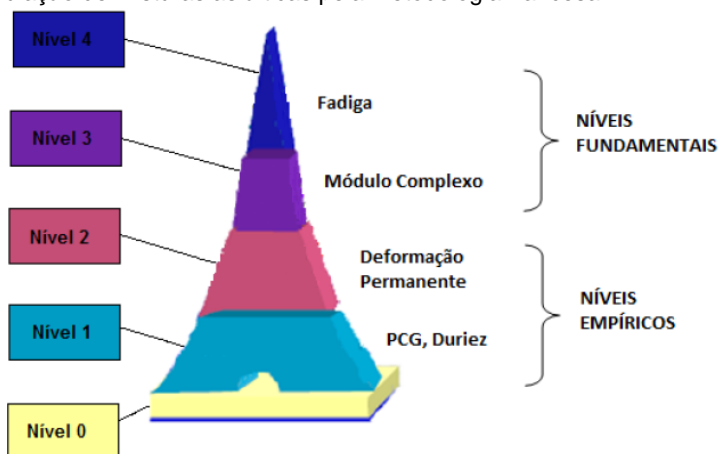
- Conhecimento das propriedades físicas, químicas e mecânicas dos materiais constituintes das misturas asfálticas;
- Ensaios de Laboratório para medir estas propriedades;
- Valores limites a serem atingidos e não ultrapassados para atender o objetivo do projeto.

A dosagem das misturas asfálticas é um processo que começa com a seleção dos componentes que normalmente são

definidos pela disponibilidade local ou pelo projetista. O conhecimento das características da mistura é importante, sendo útil para ajustar sua composição de maneira que os resultados sejam julgados adequados (LCPC, 2007).

A formulação das misturas passa por níveis de avaliação, que inicia no nível 0 e vai até o nível 5, conforme mostra a Figura 2.3. No nível 0 são definidos os parâmetros preliminares e nos demais os ensaios e verificações de caráter eliminatório (LCPC, 2007).

Figura 2.3 - Resumo dos níveis de avaliação e ensaios principais para a formulação de misturas asfálticas pela metodologia francesa.



Fonte: LCPC apud SHINOHARA, 2012.

2.3.2 Nível 0 - Parâmetros preliminares

Conforme mostra Barra *et. al* (2010) após a escolha e definição dos materiais a serem utilizados é realizada a etapa de definição da curva granulométrica da mistura, que dependem de fatores como: formação rochosa, disponibilidade das pedreiras, função da mistura asfáltica, volume de tráfego, período de projeto, entre outros.

A sequência de ensaios segue por mais quatro níveis que dependem do tipo de mistura a ser formulada (geometria, função, temperatura, etc.).

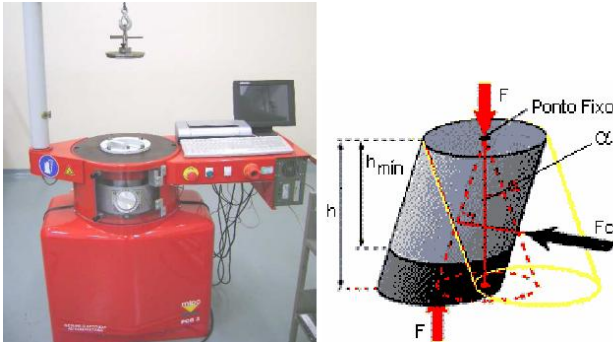
2.3.3 Nível 1 - PCG e Duriez

Segundo aponta LCPC (2007) é a etapa onde é verificada a compactidade da mistura asfáltica através do ensaio dos limites da porcentagem de vazios que a mesma deve ter, no ensaio da Prensa de Compactação Giratória (PCG) que deve ser realizado conforme a norma francesa AFNOR NF P 98-252.

A porcentagem de vazios ou compactidade da mistura é um parâmetro importante na sua formulação, uma vez que as propriedades mecânicas são dependentes das relações volumétricas do esqueleto granular e do tipo de ligante.

Barra *et. al* (2010) esclarece que este ensaio permite uma compactação lenta e isotérmica sob-baixa compressão estática executada por um movimento giratório (cisalhante) de uma de suas faces em torno do eixo de simetria do corpo de prova. A Figura 2.4 ilustra uma prensa de compactação giratória.

Figura 2.4 - Prensa de compactação giratória e o esquema ilustrativo do funcionamento.



Fonte: LCPC apud BARRA, 2009.

Nesta etapa também é testada a capacidade quanto à resistência à presença de água no ensaio de imersão e compressão Duriéz que deve ser realizado conforme a norma francesa AFNOR NF P 98-251 que consiste no rompimento de corpos de prova à compressão direta (simples). Um lote de corpos de prova é conservado a 18°C (na maioria dos casos) em umidade controlada e outro é submerso na água a 18°C determinando-se a relação entre as resistências a seco e submerso (LCPC, 2007).

A relação entre a resistência imersa em água e a seco deve ter em geral um valor superior a 0,75, ou seja, uma perda inferior a 25% da resistência (BARRA *et. al*, 2010).

2.3.4 Nível 2 - Deformação permanente

Após o aceite das misturas testadas no nível 1 se inicia o segundo nível, onde as misturas são avaliadas quanto à capacidade de resistência à formação de trilha de rodas através do ensaio de deformação permanente, que deve ser realizado conforme a norma francesa AFNOR NF P 98-253.

Conforme mostra Barra *et. al* (2010) o ensaio consiste em submeter placas de misturas asfálticas à compactação em equipamento pneumático. Conforme mostra a Figura 2.5.

Figura 2.5 - Compactação de placa em equipamento pneumático e máquina para o ensaio de deformação permanente.



Fonte: SHINOHARA, 2012.

As placas são retangulares com dimensões de 5 ou 10 cm de espessura, 15 cm de largura e 50 cm de comprimento. A placa é submetida à passagem de uma roda equipada com um pneumático a uma frequência de 1 Hz, carga de 5 kN, pressão de 0,6 MPa e temperatura controlada de 60°C. As especificações abrangem uma percentagem de máxima para a profundidade do afundamento para um determinado número de ciclos, dependendo do tipo e classe de mistura asfáltica. O número de ciclos vai de 100 à 30.000.

Para que sejam aprovadas as misturas não deverão ter uma redução maior que:

- 10% misturas classe 1;
- 7,5% misturas classe 2;
- 5,0% misturas classe 3.

Quando comparadas à espessura inicial das placas (BARRA *et. al*, 2010).

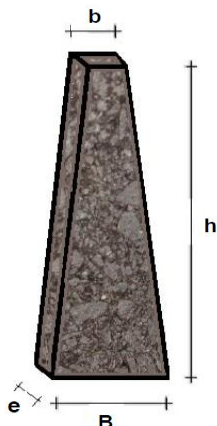
2.3.5 Nível 3 - Módulo complexo

No terceiro nível, caso a mistura tenha sido aprovada nos níveis anteriores, é realizado o ensaio para determinação do módulo complexo, muito importante para definir parâmetros de projeto em virtude de a mesma possuir função estrutural na composição do pavimento. O ensaio deve ser realizado conforme a norma francesa AFNOR NF P 98-260-2

Segundo Barra *et. al* (2010) o ensaio visa determinar a rigidez da mistura asfáltica à flexão alternada contínua sob determinado tempo e amplitude de deslocamento, a diversas temperaturas e frequências de solicitação. A mistura asfáltica possui comportamento viscoelástico porque é composta de ligante asfáltico, sendo assim há um retardo entre o momento da aplicação da carga e a deformação resultante, este fenômeno é expresso através do ângulo de fase (ϕ) sendo variável conforme a amplitude da força, deslocamento, temperatura e frequência aplicada no ensaio.

Conforme LCPC (2007) o ensaio é realizado através de placas retangulares (compactadas como no nível 2), porém com dimensões de 12 cm de espessura, 40 cm de largura e 60 cm de comprimento. Após a fabricação das placas as mesmas são serradas com disco diamantado até adquirirem o formato trapezoidal, como mostra a Figura 2.6.

Figura 2.6 - Corpo de prova trapezoidal.



- (e) espessura: 25 ± 1 mm;
- (B) base maior: 70 ± 1 mm;
- (b) base menor: 25 ± 1 mm;
- (h) altura: 250 ± 1 mm.

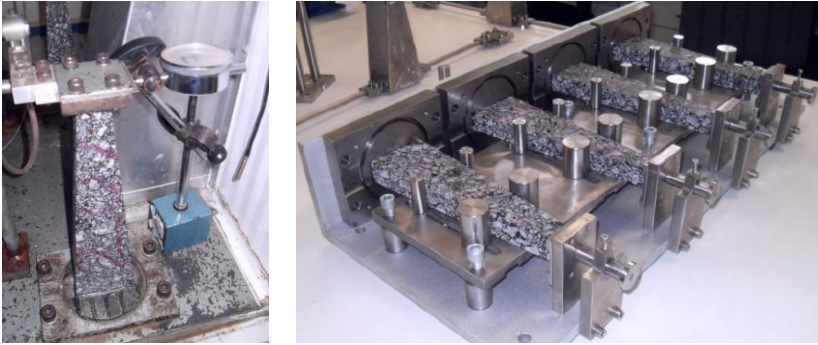
Fonte: SHINOHARA, 2012.

Após a serragem os corpos de prova passam por uma triagem onde são verificadas as suas dimensões. Os materiais aprovados são armazenados em ambiente com temperatura ambiente inferior a 30°C , sendo de preferencia em torno de 18°C , por um período que vai de 15 dias a 2 meses, para a cura da mistura (PÉREZ, 2013).

Antes do início do ensaio é realizada a calibração da amplitude de deslocamento dos corpos de prova. Estes são colados em suportes e ficam em repouso por 24 horas, depois são fixados no interior da máquina e permanecem por mais 6 horas na temperatura inicial do ensaio (BARRA *et. al*, 2010). A Figura 2.7 mostra a aferição do deslocamento e colagem dos corpos de prova.

Segundo Barra *et. al* (2010) primeiramente são escolhidas as temperaturas para a realização do ensaio, sendo que usualmente se utilizam os valores: -10°C , 0°C , 10°C , 15°C , 20°C e 30°C . Também se determinam as frequências, que comumente são: 1 Hz, 3 Hz, 10 Hz e 30 Hz. Para cada temperatura escolhida são ensaiadas todas as frequências.

Figura 2.7 - Aferição do deslocamento e colagem dos corpos de prova para posterior execução do ensaio de módulo complexo.



Fonte: PÉREZ, 2013.

Conforme explica Barra *et. al* (2010) o ensaio inicia através do processamento dos dados, que é feito através de uma interação entre células de carga e sensores posicionados nas hastes que transmitem a amplitude de deslocamento calculadas e aferidas nos excêntricos da máquina.

Um aquisitor de dados recebe as informações referentes à força e ao deslocamento característico de cada corpo de prova, e com o auxílio de uma interface computacional é decodificado em tempo real. O ensaio termina quando as amostras tiverem sido submetidas há 30 segundos corridos de solicitação, para cada temperatura e frequência programada, em que as leituras dos últimos 10 segundos são as consideradas para efeito de cálculo.

Figura 2.8 - Corpos de prova na máquina de ensaio e sistema aquisitor de dados.



Fonte: SHINOHARA, 2012.

De posse dos dados captados pelo aquisitor, calculam-se os ângulos de fase entre a tensão aplicada e a deformação resultante e em seguida o módulo complexo das misturas (HUET, 1963).

De La Roche (1996) mostra que o módulo complexo (E^*) pode ser definido de forma simplificada como exposto na Equação 2.1.

$$E^* = E_1 + iE_2 \quad (2.1)$$

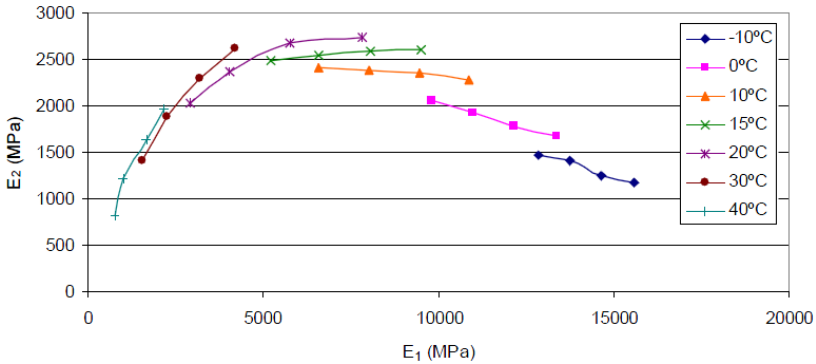
Onde:

- E^* = módulo complexo;
- E_1 = parte real, representando a energia armazenada no material que pode ser recuperada;
- i = número complexo definido por $i^2 = -1$;
- E_2 = parte imaginária, representando a energia perdida por atrito interno do material (comportamento viscoso irreversível).

Conforme elucida Barra (2009) a partir do cálculo dos valores do módulo complexo a várias temperaturas e frequências, várias representações gráficas são realizadas, entre elas:

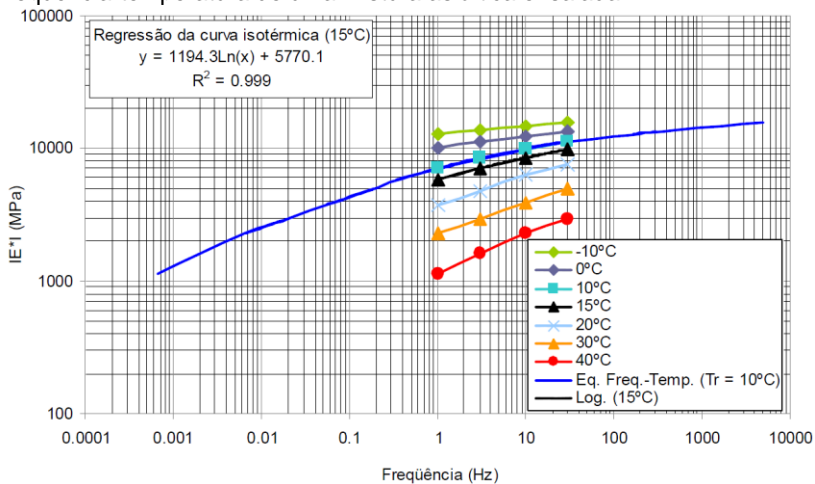
- Plano cole-cole: correlaciona as partes reais (E_1) e imaginárias (E_2) dos módulos, conforme mostra o exemplo da Figura 2.9;
- Curvas isotérmicas: onde é realizada a correlação entre as frequências e a norma do módulo complexo;
- Espaço de black: ângulo de fase e norma do módulo complexo;
- Curvas isocrônicas: temperatura e norma do módulo complexo;
- Curva de equivalência frequência e temperatura: utiliza uma temperatura de referência (temperatura equivalente) para alinhar os valores das outras temperaturas testadas, de forma a avaliar o comportamento reológico da mistura asfáltica, a Figura 2.10 ilustra um exemplo.

Figura 2.9 - Exemplo da representação do plano cole cole de uma mistura asfáltica ensaiada.



Fonte: BARRA, 2009.

Figura 2.10 - Exemplo da representação de uma curva de equivalência frequência-temperatura de uma mistura asfáltica ensaiada.



Fonte: BARRA, 2009.

Barra *et. al* (2010) explica que para a validação de cada sequência de ensaios a mistura deve possuir módulo complexo (rigidez) de acordo com a sua classificação e finalidade de uso. Na França é utilizado 15°C como temperatura de referência e uma frequência de 10 Hz.

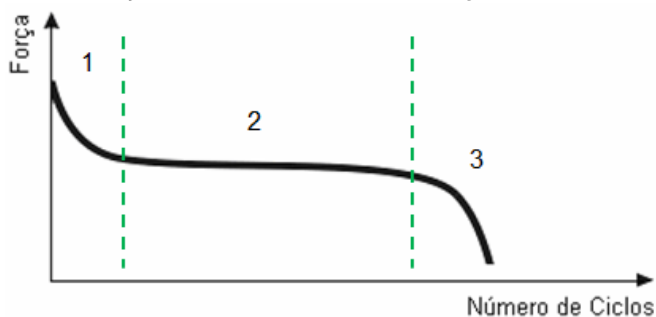
2.3.6 Nível 4 - Fadiga

Neste último nível se realiza o ensaio de fadiga, que deve ser realizado conforme a norma francesa AFNOR NF P 98-261-1, que também é realizado à flexão alternada contínua em corpos de prova de geometria trapezoidal que são submetidos à temperatura fixa de 10°C e frequência de 25 Hz. O ensaio é feito com deslocamento controlado em função do nível de deformação escolhido (BARRA *et. al*, 2010).

As características das placas e dos corpos de prova seguem os mesmos moldes e procedimentos descritos no ensaio de módulo complexo. Porém no ensaio de fadiga são testados 18 corpos de prova divididos em 3 grupos de 6 unidades, cada grupo é ensaiado em um nível de deformação pré-calculado.

Conforme explica Barra *et. al* (2010) no ensaio com deslocamento controlado a força aplicada se adapta à deformação que é constante ao longo do ensaio. A força diminui de forma acentuada nos instantes iniciais, depois de forma suave ao longo do ensaio e no final de forma acelerada até a ruptura, como pode ser visto na Figura 2.11.

Figura 2.11 - Evolução das fases do ensaio de fadiga.



Fonte: BARRA, 2009 (adaptado pelo autor).

Barra *et. al* (2010) elucida o comportamento de cada fase do ensaio de fadiga, sendo:

- Na fase 1 o decréscimo da rigidez, além da fadiga, é função de variáveis do comportamento viscoelástico do material como a tixotropia (estruturação e desestruturação do material) e o aquecimento interno do material, conhecido como efeito dos artefatos;

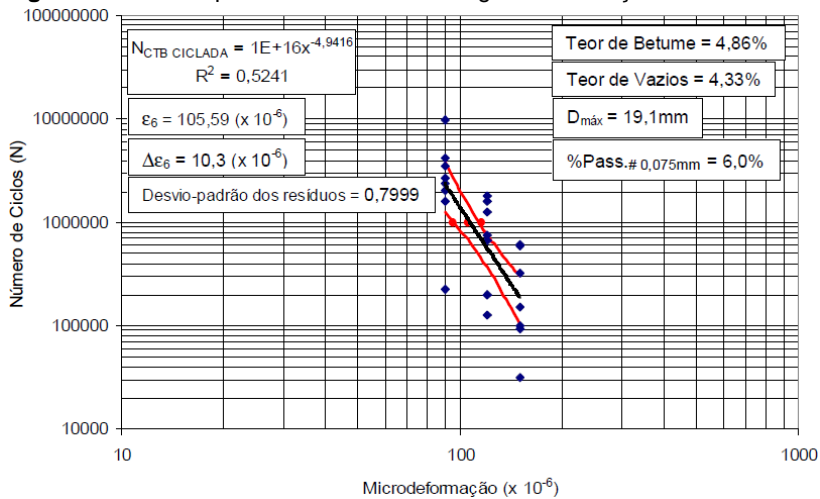
- Na fase 2 o efeito dos artefatos é menor e a diminuição da rigidez é predominantemente em função da fadiga;
- Na fase 3 acontece a ruptura e o material entra em falência global (colapso).

A ruptura geralmente ocorre no terço médio da amostra porque é a zona mais solicitada, onde atua o maior momento fletor. Se a ruptura acontecer em outro ponto a situação deve ser analisada.

Barra *et. al* (2010) mostra que depois de executados os ensaios em todos os corpos de prova nos níveis de deformação determinados é efetuado o cálculo do número de ciclos, com estes dados se monta um gráfico (que pode ser escala log-log) com as deformações máximas estipuladas pelo projetista e os números de ciclos, conforme exemplifica a Figura 2.12.

Os dados são tratados estatisticamente para verificação de normalidade da série através de regressão linear. Também é calculado o desvio padrão dos resíduos que indica o grau de afastamento dos resultados calculados em relação à reta de fadiga. Calcula-se também a deformação admissível (ϵ_6) e a variação admissível ($\Delta\epsilon_6$) para um intervalo de 10^6 ciclos.

Figura 2.12 - Exemplo de uma curva de fadiga à deformação controlada.



Fonte: BARRA, 2009.

Conforme explica Barra *et. al* (2010) após o cálculo da deformação (ϵ_6) para 10^6 ciclos e do módulo complexo (E^*) correspondente à temperatura equivalente é possível calcular a deformação de tração admissível ($\epsilon_{t,adm}$) na fibra inferior das camadas asfálticas para fins de dimensionamento do pavimento.

2.4 TECNOLOGIA FRANCESA PARA DIMENSIONAMENTO

A metodologia francesa para dimensionamento de estruturas de pavimentos de concreto asfáltico leva em conta diversos princípios físicos e mecânicos que traduzem as condições reais de utilização dos pavimentos, como: temperatura, clima, velocidade de passagem dos rodados, cargas dos veículos, configuração dos eixos, classes de tráfego e suporte da fundação (BARRA *et al*, 2010).

A metodologia também considera em seu cálculo os seguintes coeficientes:

- Coeficiente de risco: Através de um processo probabilístico se mensura o risco de ruptura da uma estrutura de pavimento durante o período de projeto;
- Coeficiente de calagem: Fator que ajusta os resultados de comportamento observado em campo e laboratório dos materiais que compõe a estrutura;
- Coeficiente de heterogeneidade: Relação que leva em conta as diferenças entre a rigidez da camada de suporte ao longo do eixo de projeto.

Conforme explica Barra *et al*. (2010) para o dimensionamento da estrutura do pavimento asfáltico é necessário se conhecer as características do tráfego que vai solicitar a estrutura, pois o conhecimento do tráfego atuante na vida de projeto influência na escolha dos materiais que irão compor a estrutura, como a análise mecânica do comportamento à fadiga (deformação admissível).

No Brasil os estudos de tráfego de pavimentos rodoviários transformam os valores das contagens em Volume Médio Diário (VMD) para um eixo padrão com 8,2 tf, ou seja, 82 kN. A metodologia francesa considera um eixo de referência (simples de rodas duplas) com 130 kN e na determinação e conhecimento do tráfego atuante levam em consideração além do volume médio diário de caminhões pesados (MJA) os seguintes fatores:

- Coeficiente de agressividade média dos caminhões pesados para o período de projeto, que está relacionado a configuração dos eixos das rodas e das cargas atuantes;
- Fator de acumulação de tráfego sobre o período de projeto;
- Taxa de crescimento geométrico do tráfego.

As camadas do pavimento são assentadas sobre uma superfície terraplenada (subleito), onde o último metro da camada de terraplenagem é chamado de PST (parte superior de terraplenagem) e a superfície final é chamada de AR (arado de terraplenagem), quando necessário pode ser utilizada uma camada de transição. A PF (plataforma de suporte do pavimento) pode ser a própria AR ou a superfície final da camada de transição.

Conforme mostra o Guide Technique (1997) a PF (plataforma de suporte do pavimento) é ensaiada em campo a fim de determinar o seu módulo de rigidez. A PF é classificada em faixas conforme o módulo de rigidez. A Tabela 2.1 mostra de forma resumida essa classificação, para fins rodoviários.

Tabela 2.1 - Classificação da PF (plataforma de suporte do pavimento) para fins rodoviários.

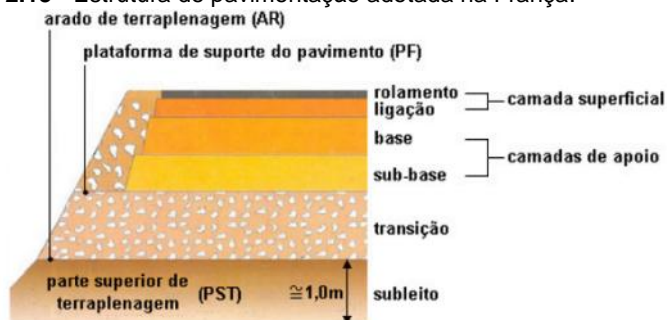
Faixa	PF2	PF3	PF4
Módulo de Rigidez	50 a 120 MPa	120 a 200 MPa	> 200 MPa

Fonte: GUIDE TECHNIQUE, 1997.

Não há PF0 e PF1 por não ser mais autorizada para utilização na rede nacional francesa. A metodologia francesa também correlaciona a PF quanto ao seu pré-requisito de suporte levando em conta a classe de tráfego determinada para o pavimento.

As estruturas de pavimentação são compostas de camadas de: transição (quando necessário), de apoio (sub-base e base) e superficial (ligação e rolamento) conforme mostra a Figura 2.13. A metodologia leva em consideração que o módulo de rigidez dos materiais deve ser crescente da plataforma de suporte à camada de rolamento. Conforme a classe de tráfego, grau de importância da via (estruturante ou não) e a faixa de classificação da plataforma de suporte (terraplenagem) são realizadas as definições dos materiais.

Figura 2.13 - Estrutura de pavimentação adotada na França.



Fonte: LCPC/SETRA 1994, *apud* BARRA 2010.

As camadas de base e/ou sub-base geralmente são compostas de misturas asfálticas, denominadas de *Grave Bitume* (GB) ou Mistura de Módulo Elevado (EME) que se trata de material granular tratado com betume, também podem ser compostas de material granular não tratado (GNT), porém restrito a algumas condições de uso e tráfego. Os diversos materiais utilizados nas camadas de pavimentação devem seguir pré-requisitos mínimos para utilização, conforme a camada de utilização (base ou sub-base), classe da plataforma de suporte e do tráfego previsto (NE).

No dimensionamento dos pavimentos, após a definição dos materiais e conhecimento de suas características, o critério principal para se determinar as espessuras das camadas é a avaliação mecânica do desempenho dos pavimentos. Conforme a classe de tráfego e número equivalente de passagens do eixo de referência (estudo de tráfego) se define a deformação vertical admissível no topo das camadas não tratadas. A avaliação também leva em conta a deformação de tração admissível na fibra inferior da camada de material asfáltico.

Para a modelização de uma estrutura considera-se a estrutura constituída por multicamadas sobrepostas, onde os materiais são elástico linear, homogêneo e isotrópico sofrendo uma solitação estacionária (MOMM, 1998). Com a ajuda de ferramentas de cálculo se determina as tensões e deformações de cada camada. A rigidez e a deformação devido à fadiga são valores de entrada para o dimensionamento.

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento, também são levados em conta características de desempenho dos materiais asfálticos, como: módulo de rigidez e resistência à ruptura por fadiga

e também características de utilização, como: velocidade, tipo de carregamento, frequência e temperatura.

Os ensaios em laboratório devem permitir a reprodução mais próxima possível das solicitações que acontecem em campo. A solicitação deve variar na sequência: contração, distensão e contração. De La Roche (1996) mostra que o sinal senoidal é o que possui a forma mais próxima de representar as solicitações reais.

Momm (1998) explica que os ensaios de módulo de rigidez e fadiga, realizados à flexão alternada, possuem uma boa representação das solicitações que acontecem em campo, sendo que na prática é a deformação que provoca a fadiga da mistura asfáltica.

3 DESEMPENHO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

3.1 CONSIDERAÇÕES

As misturas asfálticas, devido à presença de ligantes betuminosos em suas composições, adquirem um comportamento viscoelástico e termo suscetível, ou seja, sensíveis ao tempo de aplicação das cargas solicitantes aliadas às variações de temperatura em que ocorrem estas solicitações (RIVIÈRE, 1996).

Conforme mostra Barra (2009) devido à complexidade de se modelizar todas as variáveis que regem o comportamento das misturas asfálticas, algumas propriedades são simplificadas, tais como: linearidade, homogeneidade e isotropia.

Considera-se que o comportamento das misturas asfálticas é linear, sendo possível aplicar o Princípio da Superposição de Boltzmann: a resposta de um material a uma solicitação composta de certo número de solicitações elementares é a soma das respostas de cada uma destas solicitações elementares (HUET, 1963).

Embora uma estrutura granular com tamanhos e origens variadas, associada à presença de um ligante betuminoso com propriedades diferentes à dos granulares, possua um caráter heterogêneo, as misturas asfálticas em nível de estrutura de pavimentação podem ser consideradas homogêneas (RIVIÈRE, 1996 e HUET, 1963).

Conforme mostra o estudo de Heck (2001) onde foram modelizadas as deformações reversíveis e permanentes das misturas asfálticas, verificou a partir da comparação dos resultados dos cálculos referentes às estruturas modelizadas e monitoradas em campo, que esta hipótese simplificadora não introduz as divergências significativas em relação aos resultados experimentais sobre os pavimentos instrumentados.

Segundo Huet (1963) a propriedade da isotropia é a mais difícil de obter-se e de se controlar. O modo de aplicação das misturas asfálticas sobre os pavimentos (espalhamento do material em camadas e posterior compactação por passagens sucessivas de compactadores à superfície) confere ao material certo grau de anisotropia.

Para os casos práticos de dimensionamento de pavimentos, admite-se a hipótese da elasticidade linear para descrever o comportamento das misturas asfálticas, sendo utilizada para o cálculo das tensões e deformações nas camadas betuminosas.

Entretanto, deve-se enfatizar que na França, ainda que a hipótese de elasticidade linear seja considerada, o caráter viscoelástico das misturas asfálticas é levado em conta a partir da escolha dos valores do módulo do material em função de um conjunto de resultados (considerando faixas de frequência e de temperatura na aplicação das solicitações) representativos das condições médias pertinentes à sua aplicabilidade (GUIDE TECHNIQUE, 1997).

3.2 VISCOELASTICIDADE LINEAR

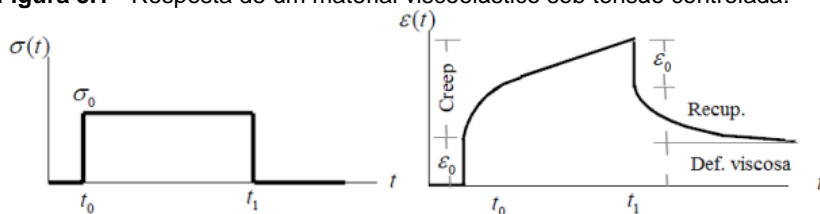
Segundo Barra (2009), um material viscoelástico possui características de materiais elásticos e viscosos e apresenta um comportamento de deformação que depende do tempo.

A linearidade no comportamento viscoelástico das misturas asfálticas, pode ser assumida no domínio das pequenas deformações. Neste domínio, o comportamento de um material viscoelástico é dito linear, para o qual, o Princípio da Superposição de Boltzmann pode ser admitido. (BARRA, 2009).

Pode-se dizer então, que a viscoelasticidade linear é uma extensão da elasticidade linear com a integração do tempo para os fenômenos viscosos, como: relaxação, fluência, aquecimento interno, tixotropia e auto reparação (DONGMO-ENGELAND, 2005).

De acordo com a Figura 3.1, quando uma tensão constante (σ_0) é aplicada em um material viscoelástico, uma resposta instantânea da deformação (ϵ_0) é observada, seguida de um aumento contínuo da deformação. Logo, se a carga for mantida constante, durante um período mais longo, observa-se que a deformação aumenta com o tempo. Quando a carga é removida, ocorre uma recuperação instantânea elástica seguida por uma recuperação tardia. A deformação irreversível é denominada no domínio temporal de deformação viscosa (WOLDEKIDAN, 2011).

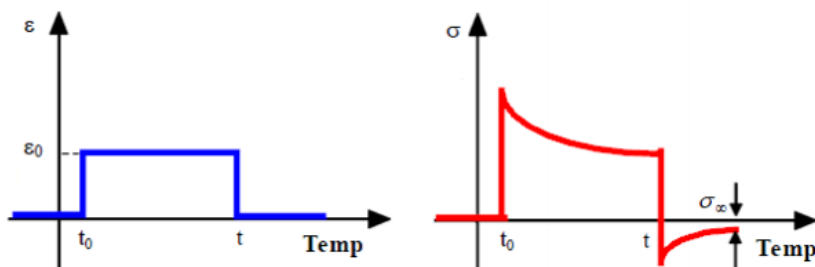
Figura 3.1 - Resposta de um material viscoelástico sob tensão controlada.



Fonte: WOLDEKIDAN, 2011.

A Figura 3.2 ilustra a resposta de um material viscoelástico submetido a uma deformação constante. No entanto, fisicamente, aplica-se a tensão para que o material seja deformado.

Figura 3.2 - Resposta de um material viscoelástico sob deformação controlada.



Fonte: WOLDEKIDAN, 2011.

3.3 RELAXAÇÃO E FLUÊNCIA

3.3.1 Considerações

As misturas asfálticas possuem um comportamento mecânico que depende do tempo de aplicação da carga (frequência) e da magnitude da carga (peso). Possuem características tanto viscosas quanto elásticas quando submetidos à deformação.

Este comportamento é manifestado através dos fenômenos de relaxação e fluência. Sendo:

- Fluência: aumento da deformação com o tempo sob uma carga constante;

- Relaxação: decréscimo progressivo da tensão com o tempo sob uma deformação constante.

A tensão atual no interior de um material asfáltico é influenciada pelo histórico de deformações e não somente pela deformação atual. A deformação atual é também influenciada pelo histórico das tensões.

Em função desta propriedade, pode-se dizer que estes materiais possuem uma memória com o histórico de desempenho na relação entre tensão e deformação.

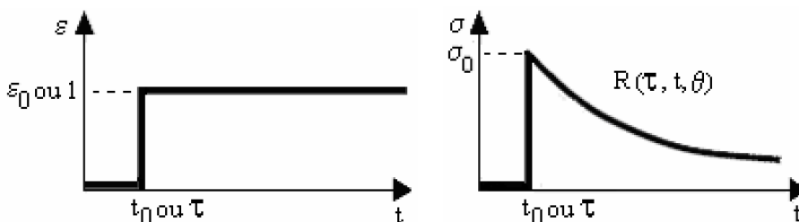
Conforme mostra Woldekidan (2011) a modelagem constitutiva dos materiais dependentes do tempo, incorpora o efeito do histórico de tempo na relação entre tensão e deformação.

3.3.2 Função de relaxação

A função de relaxação é descrita pela aplicação de uma solitação a um corpo viscoelástico linear, previamente em repouso de deformação tal que $\varepsilon=0$ para $-\infty < t < 0$ e $\varepsilon = \varepsilon_0$ para $0 \leq t < +\infty$ (DONGMO-ENGELAND, 2005).

Barra (2009) explica que a função de relaxação expressa o comportamento mecânico de um corpo que ao ser submetido à aplicação de uma deformação constante, apresenta um decréscimo progressivo da tensão (relaxação), a qual tende a zero com o tempo, conforme pode ser visto na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Representação gráfica da função de relaxação (deformação e tensão).



Fonte: Barra, 2009.

Nos casos em que a tensão retorna completamente ao seu estado inicial (nula) ocorre a chamada relaxação total, e nos casos em que retorna parcialmente, configura-se um comportamento assintótico em relação a um estado estático do tipo sólido (HECK, 2001).

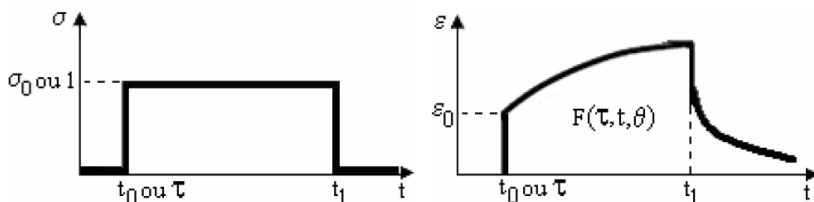
3.3.3 Função de fluência

A fluência ocorre tanto no domínio temporal como frequencial e o retardo só ocorre no domínio frequencial alternado. Refere-se à aplicação de uma solitação de tensão, tal que $\sigma = 0$ para $-\infty < t < 0$ e $\sigma = \sigma_0$ para $0 \leq t < +\infty$ a um corpo viscoelástico em repouso durante $-\infty < t < 0$, tendo como resposta a deformação do material em função do tempo $\varepsilon(t)$.

Assim, o material se encontra na condição de fluência no período correspondente a $0 \leq t < +\infty$ (DONGMOENGELAND, 2005).

Como Barra (2009) mostra na Figura 3.4, tem-se que a função de fluência expressa o comportamento mecânico de um corpo que ao ser submetido à aplicação de uma tensão constante apresenta um aumento progressivo da deformação (fluência), a qual tende a zero quando interrompida a ação do carregamento.

Figura 3.4 - Representação gráfica da função de fluência.



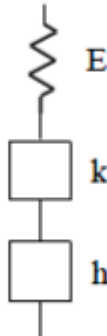
Fonte: BARRA, 2009.

Portanto, a função de relaxação é um espelho da função de fluência.

3.4 MODELO DE HUET E HUET-SAYEGH

Os elementos usados para representação do comportamento dos materiais e que constituem a base dos modelos generalizados é o elemento parabólico. O modelo de Huet é geralmente proposto para representar o comportamento dos ligantes asfálticos e o modelo de Huet-Sayegh para representar o comportamento das misturas asfálticas no domínio frequencial (PRONK, 2005).

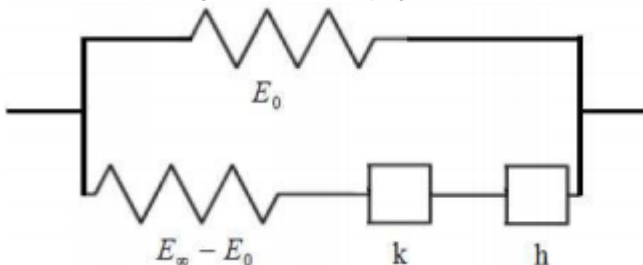
O modelo de Huet consiste de uma mola e dois amortecedores (elementos parabólicos) colocados em série como mostrado na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Modelo analógico de Huet.

Fonte: HUET, 1963.

Neste modelo, os amortecedores parabólicos têm respostas características diferentes, quando comparados com os amortecedores lineares. O amortecedor linear envolve relação constitutiva com equação diferencial de primeira ordem para relacionar a tensão aplicada à deformação. No caso do amortecedor parabólico a relação constitutiva envolve operadores diferenciais (PRONK, 2005).

Quanto ao modelo Huet-Sayegh, esta é uma versão aprimorada por Sayegh (1965) em relação ao modelo de Huet (1963). Este modelo é otimizado para misturas asfálticas com a colocação de uma mola linear em paralelo ao modelo de Huet original. Semelhante à mola em paralelo na série de Prony, a mola em paralelo no modelo Huet-Sayegh representa o módulo elástico do material, isto é, representa o comportamento viscoelástico de material sólido. A representação física do modelo é representada na Figura 3.6

Figura 3.6 - Modelo analógico de Huet-Sayegh.

Fonte: DE La ROCHE, 1996.

Conforme Melo (2014) no domínio do espectro contínuo, o modelo de Huet pode ser representado por uma infinidade de modelos elementares de Kelvin Voigt em série ou de modelos elementares de Maxwell em paralelo. Para este modelo, não existe expressão analítica da função relaxação, somente da função fluência.

No domínio frequencial, a equação 3.1 descreve a expressão para o módulo complexo (HUET, 1963).

$$|E^*(i\omega\tau(\theta))| = \frac{E_\infty}{1 + \delta(i\omega\tau(\theta))^{-k} + (i\omega\tau(\theta))^{-h}} \quad (3.1)$$

Onde:

- $|E^*|$ = norma do módulo complexo;
- E_∞ = módulo infinito. Quando $\omega\tau \rightarrow \infty$, para as elevadas frequências e para as baixas temperaturas;
- i = número complexo definido por $i^2 = -1$;
- τ = tempo de relaxação dos amortecedores, que é um parâmetro em função do tempo, o qual se assemelha a um tempo de retardo e varia em função da temperatura (θ);
- ω = frequência angular da solitação;
- f = frequência do carregamento;
- k, h = parâmetros dos elementos parabólicos, os quais estão situados no intervalo entre $0 < k < h < 1$; e,
- δ = constante adimensional, função da natureza do ligante asfáltico e da granulometria da mistura asfáltica.

No domínio de frequência o módulo complexo pode ser facilmente derivado da expressão obtida no modelo de Huet. A expressão do módulo complexo é descrita na equação 3.2.

$$|E^*(i\omega\tau(\theta))| = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + \delta(i\omega\tau(\theta))^{-k} + (i\omega\tau(\theta))^{-h}} \quad (3.2)$$

Onde:

- E_0 = módulo estático (altas temperaturas e baixa frequência).

O tempo de relaxação dos amortecedores é obtido conforme a equação 3.3, em função da temperatura e de três parâmetros escalares A_0 , A_1 e A_2 :

$$\tau(\theta) = e^{(A_0 + A_1\theta + A_2\theta^2)} \quad (3.3)$$

Onde:

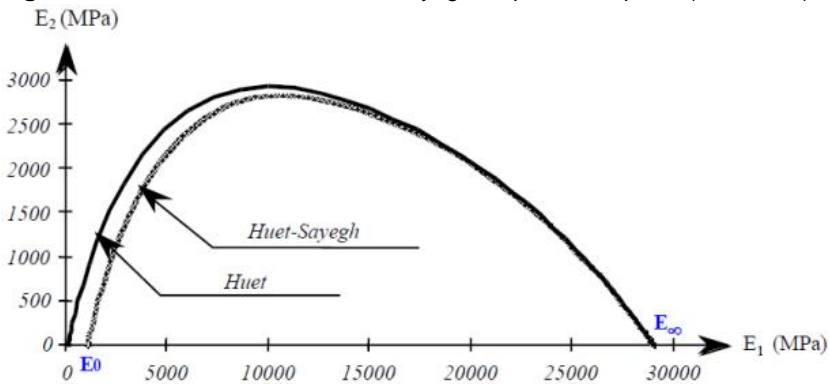
- τ = tempo de relaxação dos amortecedores, que é um parâmetro em função do tempo, o qual se assemelha a um tempo de retardo e varia em função da temperatura (θ);
- A_0 , A_1 e A_2 = parâmetros escalares.

O modelo de Huet não se aproxima, com a precisão desejável, da resposta viscoelástica das misturas asfálticas a frequências muito baixas. Na equação apresentada, o módulo complexo tende para zero quando $\omega\tau$ tende também para zero (a baixas frequências e a altas temperaturas), enquanto que o módulo das misturas asfálticas se aproxima de um valor limite E_0 .

Segundo Barra (2009) e Minhoto (2005), o modelo de Huet-Sayegh traduz o comportamento linear das misturas asfálticas no domínio das pequenas deformações, sendo que para frequências extremamente altas a deformação tende a zero.

De acordo com Henia (2005), caso o módulo estático seja igual a zero, então os modelos Huet e Huet-Sayegh são idênticos, sobrepostos, como mostra a Figura 3.7.

Figura 3.7 - Modelo de Huet e Huet-Sayegh no plano complexo (Cole-Cole).



Fonte: HENIA, 2005.

4 PISTAS AEROPORTUÁRIAS

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo o Instituto de Aviação Civil (IAC, 2007) as características físicas de um aeroporto são decorrentes do tipo de tráfego esperado e das aeronaves que irão operar, bem como das características operacionais e topográficas do terreno onde o aeroporto será implantado.

Medina (1997) mostra que o dimensionamento corrente do pavimento aeroportuário difere do rodoviário quanto às cargas atuantes. Para o dimensionamento utiliza-se basicamente os seguintes dados: CBR do subleito e da sub-base, número equivalente de partidas anuais, peso máximo de decolagem e tipo do trem de pouso da aeronave de projeto, quando se considera a metodologia FAA para o dimensionamento.

Conforme mostra Fortes (2007) as estruturas de pavimentação asfáltica de pistas de pouso e decolagens, no Brasil, usualmente possuem as seguintes camadas:

- Revestimento: geralmente são utilizados concretos de cimento portland, concreto asfáltico usinado a quente, pré-misturado a quente ou tratamentos superficiais;
- Base: mais comumente composta de brita graduada tratada com cimento, macadame betuminoso, brita graduada simples ou macadame hidráulico;
- Sub-base: geralmente é utilizado material granular estabilizado granulometricamente ou não, solo estabilizado, brita graduada simples, solo cimento ou solo cal.

Segundo Fortes (2007) os pavimentos aeroportuários são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves, resistir as intempéries e ao jato. No Brasil os pavimentos aeroportuários, tem sido dimensionados conforme as diretrizes do FAA (Federal Aviation Administration) para uma vida útil de 20 anos.

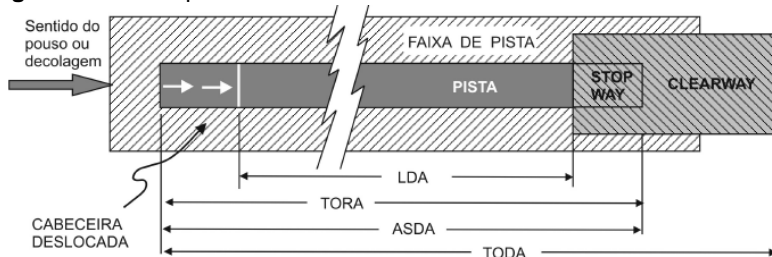
4.2 PROJETOS DE INFRAESTRUTURAS AEROPORTUÁRIAS

4.2.1 Elementos Geométricos

Conforme *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2004) as seguintes definições geométricas chamadas de distâncias declaradas, conforme ilustra a Figuras 4.1, são:

- TORA (*take off run available*): comprimento declarado da pista, disponível na decolagem;
- TODA (*take off distance available*): comprimento de decolagem mais a zona livre de obstáculos (*clearway*);
- LDA (*landing distance available*): comprimento disponível para pouso;
- ASDA (*accelerate stop distance available*): comprimento de decolagem mais comprimento da zona de parada (*stopway*);
- Zona livre de obstáculos (*clearway*): área selecionada para que uma aeronave possa efetuar uma decolagem com segurança até certa altura;
- Zona de parada (*stopway*): área situada no prolongamento da pista, para a parada com segurança das aeronaves.

Figura 4.1 - Exemplo de distâncias declaradas do anexo 14 da ICAO.



Fonte: SÓRIA, 2006

Conforme Alves (2007), os ábacos de desempenho específicos dos fabricantes de aeronaves fornecem a TORA (distância de decolagem) conforme o peso de decolagem da aeronave e as condicionantes locais da pista (altitude, temperatura e declividade).

4.2.2 Comprimento de Pista

Alves (2007) cita que informações complementares das aeronaves (que geralmente são fornecidas pelos fabricantes) e do local de implantação do aeródromo são fundamentais para a determinação do comprimento das pistas de pouso e decolagem. Informações como:

- ANV (modelo de aeronave);
- POV (peso operacional vazio): é o peso próprio da aeronave, com todos os itens e equipamentos necessários ao voo, excluídos a carga paga e o combustível;
- CP (carga paga): é o peso composto pela soma dos pesos dos itens transportados, tais como: passageiros, bagagens, carga e correio;
- PMD (peso máximo estrutural de decolagem): é o peso máximo autorizado para decolagem por razões de integridade estrutural, constituído do POV mais a CP e mais o peso do combustível necessário para cumprir a etapa prevista depois da decolagem.
- PMA (peso máximo estrutural de aterrissagem): é o peso máximo autorizado de modo a garantir a integridade do conjunto dos trens de pouso;
- PMR (peso máximo de rampa): é o peso máximo autorizado para a aeronave manobrar no solo, inclusive na área de táxi e na cabeceira da pista;
- PZC (peso zero combustível): é o peso da aeronave carregada (CP) sem o combustível, definido para garantir a integridade estrutural da raiz das asas;
- CPM (carga paga máxima estrutural): é o máximo peso que a carga paga pode alcançar, é a diferença entre PZC e POV;
- LP (comprimento de pista em metros para as condições de referência, isto é, vento nulo, sem declividade de pista, ao nível de mar e na temperatura padrão).

Conforme explica Alves (2007) na determinação do comprimento de uma pista outras características podem assumir papel extremamente relevante, por exemplo: as características do trem de pouso que faz a distribuição do peso da aeronave com o solo através das áreas de contato dos pneus. Algumas aeronaves, mesmo que mais pesadas, em função da configuração dos trens de pouso, podem ter uma necessidade de suporte de pavimento menor do que outras aeronaves mais leves.

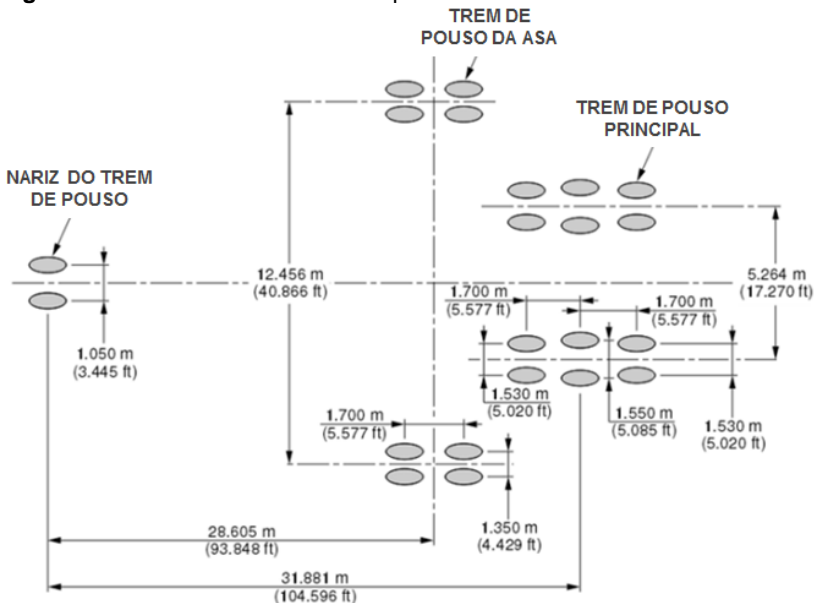
4.2.3 Trens de Pouso

Os trens de pouso (eixos e rodas) de uma aeronave possuem geometria específica conforme o modelo de aeronave. A pressão dos pneus fica entre 75 e 200 psi (516 a 1380 kPa) e o tipo de trem de pouso pode ser:

- Eixo simples;
- Eixo duplo tandem;
- Eixo triplo tandem;
- Especial (aeronaves especiais, como é o caso dos trens de pouso da aeronave Antonov An-225).

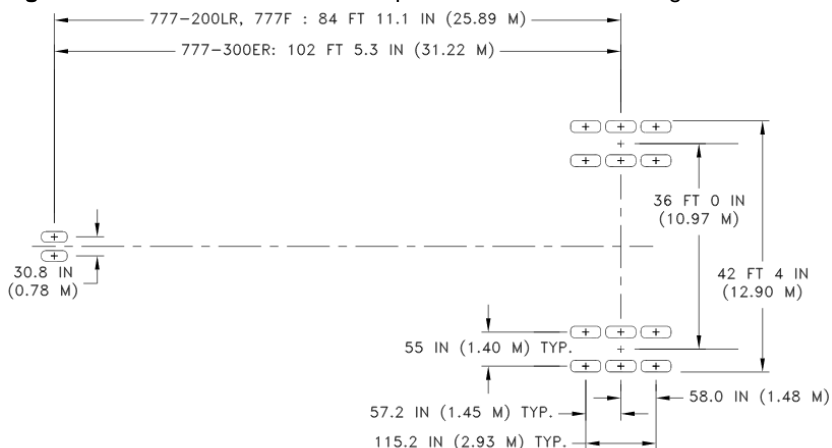
As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram exemplos de configuração de trens de pouso de aeronaves comuns em aeroportos.

Figura 4.2 - Geometria dos trens de pouso da aeronave Airbus A-380.



Fonte: AIRBUS, 2016.

Figura 4.3 - Geometria dos trens de pouso da aeronave Boeing 777-300ER.



Fonte: BOEING, 2015.

Conforme mostra Alves (2007) a análise do diagrama carga paga x etapa é muito importante na definição do peso a ser empregado para o dimensionamento de comprimento de pista necessária para pouso e decolagem. A determinação do comprimento de pista necessário para a operação de decolagem de uma aeronave pode ser efetuado através de ábacos de desempenho específicos publicados pelos fabricantes de aeronaves.

A informação de comprimento de pista é importante para os estudos de definição locacional e geometria e também para os estudos de pavimentação, pois considera a capacidade em peso e o tipo de aeronave a ser permitida. O comprimento de pista pode ser um limitador da carga aplicada pelo trem de pouso, por exemplo: uma pista que possui 4.000,00m de extensão permite a utilização de uma aeronave considerando a carga máxima que ela pode carregar durante a decolagem. Já uma pista de 1.800,00 para a mesma aeronave pode não autorizar a decolagem com carga máxima, sendo assim a carga aplicada no pavimento é diferente.

4.2.4 Aeronaves

Segundo Alves (2007) as aeronaves desempenham um papel de grande importância no cenário aeroportuário. O conhecimento de suas características e exigências é fundamental para o desenvolvimento de um projeto aeroportuário. As informações

complementares das aeronaves (que geralmente são fornecidas pelos fabricantes) e do local de implantação do aeródromo são fundamentais para a determinação da geometria da pista. Alves (2007) mostra uma correlação sumária entre as características físicas do aeroporto e das aeronaves:

- Comprimento de pista: potência/peso e projeto da asa;
- Largura de pista: bitola e envergadura;
- Sobre largura (fillets): base e bitola;
- Acostamento: posição da turbina mais externa;
- Separações: envergadura e comprimento da aeronave;
- Gradiente de pista: trem de pouso e velocidade da aeronave;
- Pavimento: peso e trem de pouso;
- Gates (posições de parada no pátio): envergadura;
- Pontes de embarque: altura de porta;
- Balizamento (sinalização): posição do piloto e altura do motor;
- Hidrantes de combustível: ponto de alimentação na aeronave;
- Veículos de combate a incêndios: comprimento e largura da fuselagem.

4.3 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO UTILIZADA NO BRASIL

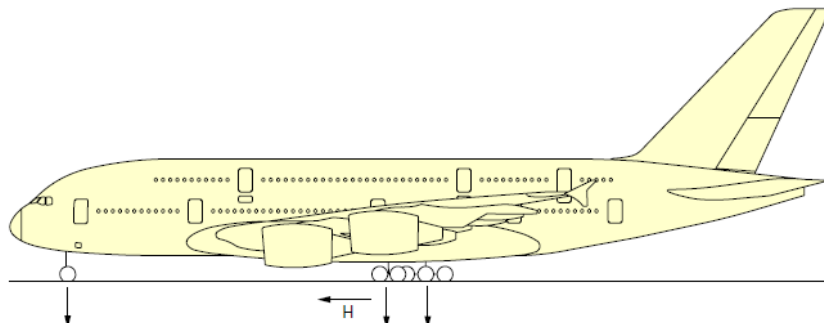
No Brasil a metodologia de dimensionamento de pavimentos aeroportuários é a americana regulamentada pelo FAA (Federal Aviation Administration). Esta metodologia recebe atualizações periódicas.

Para Medina (1997) sendo o pavimento dimensionado para um conjunto de aeronaves se faz uma busca por qual aeronave exige maior espessura de pavimento, esta aeronave é chamada de aeronave de projeto. Este conceito era utilizado pela metodologia de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da FAA utilizado no Brasil. Atualmente a FAA considera um espectro de aeronaves em sua metodologia.

Fortes (2007) explica que para o dimensionamento da estrutura de pavimentação, é necessário se conhecer o PMD (peso máximo estrutural de decolagem) onde é estimado que 95% do peso máximo de decolagem é suportado pelo trem de pouso principal e

5% pela bequilha. A Figura 4.4 mostra a distribuição do peso da aeronave no pavimento através dos seus trens de pouso.

Figura 4.4 - Distribuição das cargas da aeronave através dos trens de pouso.



Fonte: AIRBUS, 2016.

Conforme Fortes (2007) é necessário o levantamento do número de partidas (decolagens) anuais por tipo de aeronave. Para calcular o volume de tráfego de cada aeronave de prevista para circular durante o período de projeto.

O dimensionamento pela metodologia FAA no Brasil é baseado nos resultados do CBR.

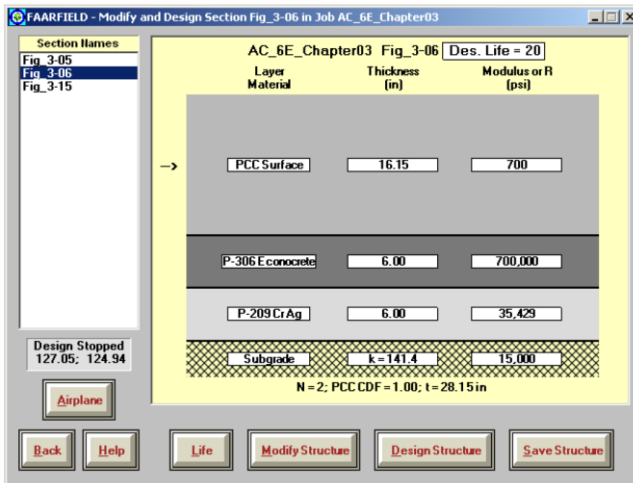
O FAA (1995) elaborou ábacos de dimensionamento de pavimentos asfálticos, utilizando como entrada o valor do CBR do subleito, a carga máxima da aeronave de projeto e o número máximo de decolagens anuais. Como resultado se obtém a espessura da estrutura do pavimento.

Em 2009 foi publicada pelo FAA uma revisão da circular AC-150/5320 denominada de revisão 6E, quanto aos procedimentos para projetos de pavimentos aeroportuários. A revisão da metodologia apresenta um software baseado na teoria das camadas elásticas e elementos finitos, onde são adicionadas informações sobre os materiais utilizados no dimensionamento do pavimento em conjunto com informações de um conjunto de aeronaves que irão operar na pista dimensionada.

A ferramenta de cálculo solicita como valor de entrada o módulo de rigidez do material ou o valor de CBR, neste último caso mantendo a correlação do módulo de resiliência com o valor de CBR, de todos os materiais constituintes da estrutura projetada. O programa também possui embutido nele o catálogo de informações

dos materiais estudados nos EUA (Estados Unidos da América). A Figura 4.5 ilustra a interface da ferramenta de cálculo.

Figura 4.5 - Interface da ferramenta de cálculo para dimensionamento de pavimentos aeroportuários da FAA.



Fonte: FAA, 2009.

As maiores concentrações de tráfego tendem a ser nas extremidades da pista de pouso/decolagem pelo fato das aeronaves trafegarem em baixa velocidade.

O FAA recomenda espessuras mínimas para as camadas de base conforme o tipo do trem de pouso da aeronave de projeto e o peso máximo de decolagem. A Tabela 4.1 mostra algumas das recomendações da FAA quanto as espessuras de base.

Tabela 4.1 - Espessuras mínimas de base conforme o tipo do trem de pouso e faixa de carga.

Tipo de trem de pouso	Faixa de carga (kg)	Espessura mín. (cm)
S	13.600 à 22.700	10
S	22.700 à 34.000	15
D	22.700 à 45.400	15
D	45.400 à 90.700	20
2D	45.400 à 113.400	15
2D	113.400 à 181.000	20
2D (B757, B767)	90.700 à 181.000	15
2D/D1 (DC10, L1011)	181.000 à 272.000	15
2D/2D2 (B747)	181.000 à 272.000	15
2D/2D2 (B747)	272.000 à 385.600	20
2D/2D1 (A340)	257.640 à 381.200	25
2S (C130)	34.000 à 56.700	10
2S (C130)	56,700 à 79,400	15
3D (B777)	243,500 à 352.440	25
3D (A380)	562,000 à 592.000	23

Fonte: FAA, 2009 (adaptado pelo autor).

Para determinar a espessura total do pavimento deve-se utilizar o ábaco específico conforme o tipo da aeronave de projeto e os dados de entrada mencionados, assim se determina a espessura mínima total do pavimento. A espessura do revestimento é em função da área a ser pavimentada, dividida em área crítica e área não crítica e também em informações do manual do fabricante da aeronave.

4.4 MISTURAS ASFÁLTICAS UTILIZADAS EM AEROPORTOS

No Brasil o concreto asfáltico a ser utilizado na pavimentação aeroportuária deverá ser selecionado tendo em vista as condições geográficas e climáticas do local e as exigências requeridas em projeto. Segundo a DIRENG (Diretoria de Engenharia da Aeronáutica) (2002) poderão ser utilizados os seguintes cimentos asfálticos nas misturas asfálticas de pistas aeroportuárias:

- Classificados por penetração: CAP-30/45, 50/60 e 85/100;
- Classificados por viscosidade: CAP-7, 20 e 40;
- Modificados por polímeros: desde que aprovados pela fiscalização.

A Diretoria de Engenharia da Aeronáutica através da especificação 04.05.610 de 2002 menciona os padrões que os materiais como: agregados graúdos, agregados miúdos, filler e melhoradores de adesividade, devem ter para serem utilizados nas misturas asfálticas dos pavimentos aeroportuários.

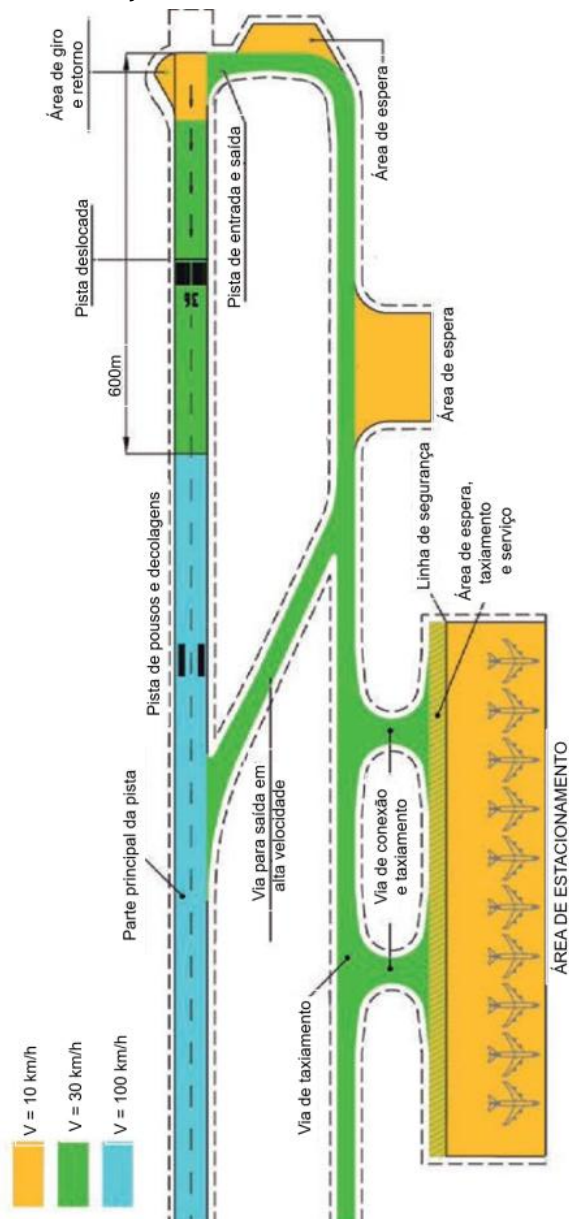
Após a definição dos materiais a serem empregados na mistura asfáltica (agregados, filler e tipo de ligante), começa a etapa de dosagem, sendo o teor de asfalto residual o mais importante. Na dosagem do concreto asfáltico podem ser usados vários métodos, como: Marshall, Hubbard Field, Triaxial, Hveem, Ruiz e outros (Marques, 2007). Os organismos brasileiros recomendam o uso do método Marshal para dosagem da mistura asfáltica, inclusive a DIRENG.

4.5 INFRAESTRUTURAS AEROPORTUÁRIAS FRANCESAS

Para fins de classificação das infraestruturas de pavimentação aeroportuária a França divide as vias aeronáuticas em três famílias principais (a Figura 4.4 mostra de forma esquemática as áreas citadas) sendo:

- Áreas de circulação à elevada velocidade: aeródromo, ou seja, pista principal do aeroporto;
- Áreas de circulação com velocidade moderada: vias de serviço, taxiamento de aeronaves, entradas e saídas da pista principal;
- Áreas de circulação em baixa velocidade: áreas de giro, áreas de espera e estacionamento de aeronaves.

Figura 4.6 - Representação esquemática das famílias de pavimentos aeroportuários da França.



Fonte: DGAC, 2016 (adaptado pelo autor).

5 DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA FRANCESA

5.1 CONSIDERAÇÕES DO MÉTODO

A metodologia francesa para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários é baseada na metodologia de dimensionamento de pavimentos rodoviários da malha francesa com ajustes e adaptações para as condições aeronáuticas. O método é composto de duas etapas de cálculo, sendo:

- Dimensionamento mecânico da estrutura;
- Verificação do congelamento e descongelamento da pista.

O dimensionamento mecânico faz a verificação da estrutura de pavimentação projetada quanto à capacidade de suportar o tráfego de aeronaves previstas para circular na pista de pouso e decolagens no período de projeto.

Na França é utilizado o termo período de projeto ao invés de vida útil, porque se considera que o pavimento não vai chegar até o “fim da vida”. Programas de manutenção e recuperação do pavimento vão acontecer antes da completa destruição do pavimento.

Conforme DGAC (2014) o processo de cálculo é baseado em:

- Tensões produzidas na estrutura do pavimento por várias aeronaves, considerando o modelo elástico linear, multicamadas e isotrópico;
- O dano individual gerado em cada material da estrutura com a passagem de cada uma das aeronaves de projeto;
- O dano total produzido pela soma dos danos individuais ao longo do período de projeto.

O dano individual é determinado através de simulações baseadas em ensaios de laboratório. Para as camadas de materiais asfálticos é baseado na fadiga e para as camadas de granulares e subleito é determinado em função da deformação permanente.

Para a determinação dos danos leva-se em conta a distribuição do tráfego de aeronaves e tratamento estatístico quanto ao posicionamento lateral dos pneus em diferentes áreas do aeroporto.

Segundo DGAC (2014) a determinação das características e materiais das camadas de pavimentação leva em conta parâmetros de elasticidade dos materiais. O cálculo é acompanhando de um fator de ajustamento referente aos danos produzidos no pavimento, fator de calibração em função do comportamento mecânico e

respostas de ensaios de laboratório. Estes parâmetros permitem integrar os cálculos teóricos e as simplificações de cálculo realizadas em função dos materiais adotados. O método de dimensionamento considera como dados de entrada:

- Tráfego de aeronaves;
- Período de projeto;
- Características da plataforma de suporte (subleito);
- Natureza e nível de desempenho dos materiais empregados nas camadas de pavimentação.

Conforme DGAC (2014) a solução deve prever materiais que atendam os requisitos das respectivas normas, sendo:

- NF EN 13-108 - Para os materiais betuminosos;
- NF EN 13-285 - Para os materiais granulares não tratados.

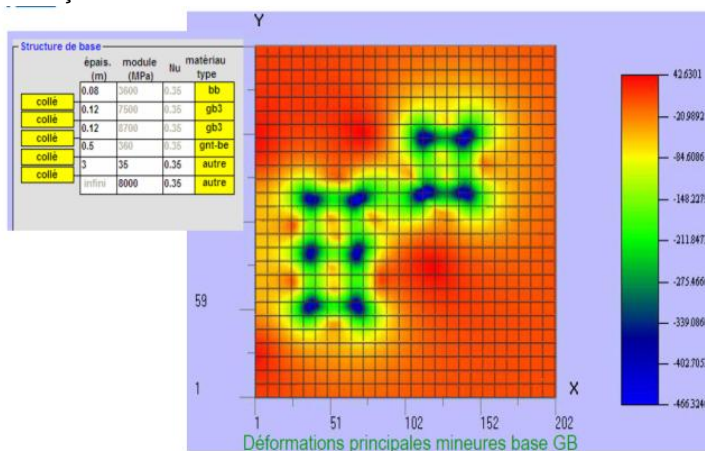
A metodologia considera o cálculo das deformações e danos por fadiga dos materiais, aonde por processo de iteração das espessuras das camadas vai se observando o dano total da estrutura até se chegar com segurança em um valor inferior ao limite da ruptura. O ajuste da espessura deve ser tal que:

- Leve em conta as restrições de espessura máxima e mínima de forma a garantir o grau de compactação conforme a natureza do material;
- Reduza o número de ligações entre camadas de forma a reduzir o risco de falhas nas interfaces;
- Considere critérios ambientais e econômicos.

A ferramenta de cálculo “*Alizé Aéronautique*” foi desenvolvida pelo STAC e LCPC para atender todos os princípios da metodologia francesa de dimensionamento de pavimentos aeroportuários, a Figura 5.1 ilustra uma tela da ferramenta de cálculo com resultados de cálculo.

O método de dimensionado de pavimentos aeroportuários, na publicação do DGAC (2014 e 2016) não faz conexão direta com o “*Alizé Aéronautique*”, cita apenas que os dados devem ser calculados com o apoio de uma ferramenta de cálculo. Porém o STAC utiliza esta ferramenta.

Figura 5.1 - Representação dos efeitos do cálculo em grelha das tensões e deformações.



Fonte: STAC, 2016.

A ferramenta de cálculo *Viscoroute 2.0*, também desenvolvido pelo LCPC e publicado em 2009 realiza os cálculos das tensões e deformações no pavimento, considerando a estrutura de pavimentação com comportamento elástico ou viscoelástico. A Figura 5.2 ilustra a tela da ferramenta de cálculo para as deformações.

Figura 5.2 - Interface da ferramenta de cálculo *Viscoroute*.

	Z (m)	Epais. (m)	Module E (MPa)	Coef. de Poisson	Mas. Vol. (kg/m3)	Type de matériau	Comport.	Type de liaison	Module E0 (MPa)	T (°C)	k (loi H-S)	h (loi H-S)	delta (loi H-S)	A0	A1	A2
1	0.240	0.040	2492.00000	0.350	3000.000	autre	Elastique	colée	0.000000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000
2	0.110	0.070	33350.00000	0.350	3000.000	autre	Viscoélastique	colée	245.000000	25.000	0.220	0.720	1.820	5.122	-0.357	0.001940
3	0.220	0.110	33350.00000	0.350	3000.000	autre	Viscoélastique	colée	245.000000	25.000	0.220	0.720	1.820	5.122	-0.357	0.001940
4	0.470	0.250	540.00000	0.350	2500.000	autre	Elastique	colée	0.000000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000
5	1.470	1.000	80.00000	0.350	1500.000	autre	Elastique	colée	0.000000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000
6		infini	65.00000	0.350	3000.000	autre	Elastique	colée	0.000000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000

Fonte: LCPC, 2009.

5.2 PLATAFORMA DE SUPORTE DO PAVIMENTO

5.2.1 Caracterização da Parte Superior de Terraplenagem

Conforme DGAC (2014) o dimensionamento da plataforma de terraplenagem é baseado na caracterização mecânica do solo. A classificação e caracterização dos materiais são feitas através das seguintes referências:

- Parâmetros de granulometria e argilosidade;
- Condição hidráulica do solo e análise em longo prazo;
- Ensaios de laboratório para verificação das condições de mecânicas dos materiais.

Com estas informações e levando em conta as condições meteorológicas do momento da execução é possível definir as condições de trabalho dos materiais. De acordo com as condições hidrológicas (aquíferos, infiltração de água) características dos materiais, sensibilidade do material à água e de acordo com os requisitos locais de construção o sistema de drenagem deve ser projetado de acordo com o guia para concepção de projetos de drenagem para aeroportos.

5.2.2 Classes de Terraplenagem

Segundo o Guide Technique (1997) as classes são definidas de acordo com a deformabilidade à longo prazo, no arado do terraplenagem e conta com as seguintes classes:

- AR1 - 20 MPa;
- AR2 - 50 MPa;
- AR3 -120 MPa;
- AR4 - 200 MPa.

Conforme DGAC (2014) nos casos de um arado de terraplenagem de classe AR0 é necessário melhorar as condições (suporte e drenagem) para obter em longo prazo um módulo maior que 20 MPa. Os módulos mencionados representam valores determinados e tomados em consideração nos cálculos e dimensionamentos de estruturas. Na prática eles podem variar devido às condições locais. Estes valores podem ser confirmados em ensaios de placa Dynaplaque ou medição de deflexão.

Em alguns casos conforme as condições de trafegabilidade poderá ser exigido um módulo de 30 a 35 MPa para a o AR1 ou entre 35 e 40 MPa no caso de utilização de solo tratado em AR1.

Também é prevista a situação de exigência de módulo 80 MPa em AR2 para alguns casos. Alguns valores superiores aos da tabela podem ser exigidos conforme os resultados do estudo geotécnico. No caso da França, também são realizadas verificações quanto a sensibilidade do solo ao congelamento na etapa de estudo geotécnico.

5.2.3 Regularização do Subleito

Conforme DGAC (2014) a regularização do subleito tem como função prover a transição do material de terraplenagem (corte/aterro) com a plataforma de apoio da estrutura do pavimento.

Em curto prazo, a regularização do subleito (durante a obra) deve:

- Garantir a trafegabilidade do maquinário durante a obra;
- Assegurar a manutenção da espessura da camada e greide projetado;
- Deformação controlada durante a etapa de compactação;
- Resistir à geada.

Em longo prazo deve:

- Homogeneizar as condições de suporte;
- Manter um suporte estrutural mínimo ao longo do tempo;
- Contribuir para a drenagem;
- Proteger o solo contra o degelo.

Conforme o local, natureza do solo, clima, tráfego previsto, etc. a camada de regularização pode ser:

- Inexistente ou reduzida a uma camada fina;
- Constituída de uma ou mais camadas, incluindo eventual uso de geotêxtil.

Segundo DGAC (2014) os materiais utilizados são escolhidos de forma a atender requisitos de:

- Resistência à sensibilidade à água;
- Dimensões dos agregados;
- Resistência ao tráfego de obra;
- Resistência ao gelo (quando necessário).

Quando é utilizado material granular não tratado é recomendada a utilização de critérios mais restritos e que estejam em conformidade com as normas francesas quanto densificação, de forma a garantir que a camada de regularização proporcione dissipação das tensões de tal forma que o subleito suporte o efeito

das altas cargas de aeronaves (DGAC, 2014). A Figura 5.3 ilustra um exemplo de material granular não tratado utilizado na França.

Figura 5.3 - Material granular não tratado utilizado na França (Grave non traitée 0/20mm).



Fonte: www.lesgranulatsdugroupecb.com, 2015.

5.2.4 Características Mecânicas para fins de Dimensionamento

Conforme mostra DGAC (2014) o dimensionamento leva em conta a situação mais desfavorável em relação às condições hidráulicas e de clima, como geada e neve no inverno. Leva em conta o efeito do projeto de drenagem.

5.2.4.1 Cálculo das Solicitações no Pavimento

A plataforma de suporte é determinada segundo o funcionamento do conjunto (plataforma de terraplenagem + regularização). Para efeitos de cálculo a plataforma é modelada como sendo um semi espaço elástico linear de profundidade infinita. É caracterizado por um módulo Young e um coeficiente de *Poisson*. O módulo deve atender o limite em longo prazo (DGAC, 2014).

A Tabela 5.1 mostra uma relação de módulos, conforme a classe da plataforma de suporte.

Tabela 5.1 - Módulos de rigidez do subleito natural conforme a classe da plataforma (para dimensionamento aeroportuário).

Classe	PF2	PF2	PF3	PF4
Módulo (MPa)	50	80	120	120 *

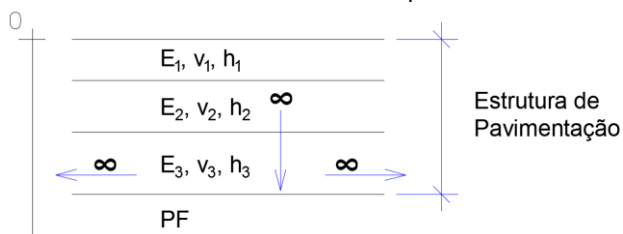
* No caso de encontrar-se uma plataforma PF4 diretamente no subleito natural, o módulo a ser utilizado é de 120 MPa a favor da segurança devido à agressividade das cargas aeronáuticas.

Fonte: DGAC, 2014 (adaptado pelo autor).

5.3 CÁLCULO DAS TENSÕES INDUZIDAS PELO TRÁFEGO

Os cálculos das tensões induzidas na estrutura do pavimento devido às cargas das aeronaves são realizados usando um modelo elástico linear multicamada, isotrópico e semi-infinito, conforme mostrado na Figura 5.4. O modelo considera a estrutura do pavimento formada por diversas camadas de pavimentação com espessura uniforme e finita apoiadas em um subleito que é representado por uma espessura de tamanho infinito, exceto no caso de haver um contexto geológico particular.

Figura 5.4 - Modelo de cálculo da estrutura do pavimento.



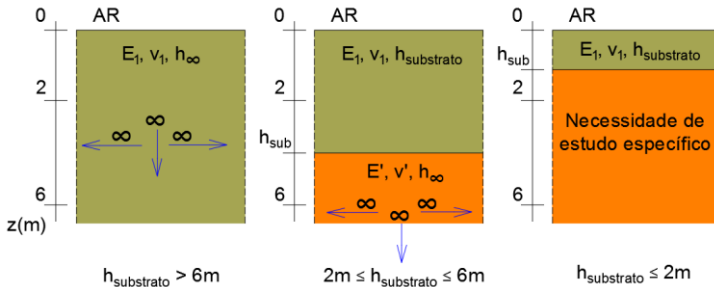
Fonte: DGAC, 2016 (adaptado pelo autor).

Quando, na etapa de estudo do subleito, é encontrado um substrato rígido entre 2,00m e 6,00m de profundidade abaixo do nível do arado de terraplenagem, o suporte é dividido em duas camadas, sendo uma com espessura finita e outra com espessura infinita. Determina-se o nível h (sub) que separa a camada de espessura infinita da camada de espessura finita.

É considerado como substrato (apoio do subleito) o horizonte onde o material pode ser considerado indeformável quanto à rigidez do solo que o suporta, tendo um módulo de elasticidade na ordem de 10.000 MPa. Quando o substrato rígido fica localizado em uma profundidade menor que 2,00 m o modelo de cálculo semi-infinito não é aplicável. A Figura 5.5 mostra as situações descritas.

Conforme DGAC (2014) para cada camada o material é considerado como sendo elástico linear, isotrópico com uma extensão infinita no plano horizontal, caracterizado por um módulo de *Young* e um coeficiente de *Poisson*. Para o dimensionamento de novos pavimentos do tipo flexível às interfaces entre as camadas são consideradas coladas.

Figura 5.5 - Modelo de cálculo do suporte de subleito de acordo com a profundidade do substrato rígido.



Fonte: DGAC, 2016 (adaptado pelo autor).

Segundo DGAC (2016) o cálculo é realizado considerando carregamento estático. O tráfego é calculado considerando as diferentes aeronaves previstas para circular no pavimento, frequência de passagem e distinção entre as operações de pouso e decolagem.

Cada aeronave possui um trem de pouso com geometria específica e a interface pneu-pavimento de cada roda do trem de pouso é representada por uma forma circular (utilizada por convenção na norma francesa de dimensionamento de pavimentos aeroportuários). O raio das impressões, cargas e valores de pressão dos pneus constam na base de dados de aviões do serviço técnico de aviação civil.

Conforme DGAC (2014) as tensões produzidas pela combinação das rodas do trem de pouso das aeronaves são calculadas no plano horizontal (x,y) . O eixo x é longitudinal à carga de rolamento e coincidente com o eixo da pista. Já o eixo y se refere à seção transversal.

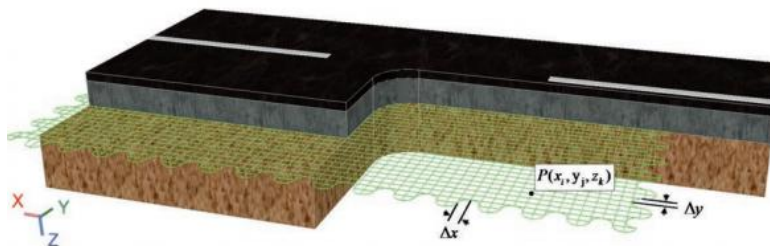
Os planos (x,y) estão localizados na base das camadas de ligação para avaliação dos danos nas misturas asfálticas ao longo da extensão horizontal e na parte superior das camadas não ligadas para avaliação da deformação permanente.

Para cada uma das aeronaves as solicitações de cálculo são determinadas à uma dada cota z (x_i, y_j, z_k) separados por uma constante Δx junto com uma Δy (geralmente igual ao Δx) ilustrado na Figura 5.6.

Conforme recomendações do DGAC (2016) Δx e Δy são fixadas à valores inferiores ou iguais a 5,0cm, enquanto que as

dimensões da grade são fixadas na periferia de forma que cada aeronave provoque no máximo uma deformação de 5%.

Figura 5.6 - Representação da grade de cálculo na interface entre a camada betuminosa e granular.



Fonte: DGAC, 2014.

Por convenção a cota 0,0 cm é definida como sendo a superfície do pavimento. Estes cálculos levam em conta as seguintes premissas:

- A estrutura é formada por uma sequência de camadas com extensão horizontal infinita;
- A interface entre as camadas é considerada colada, ou seja, garante a continuidade do movimento nas três direções;
- Cada material possui comportamento elástico linear e isotrópico;
- As cargas são consideradas circulares sobre a superfície do pavimento e aplicam uma pressão vertical uniforme.

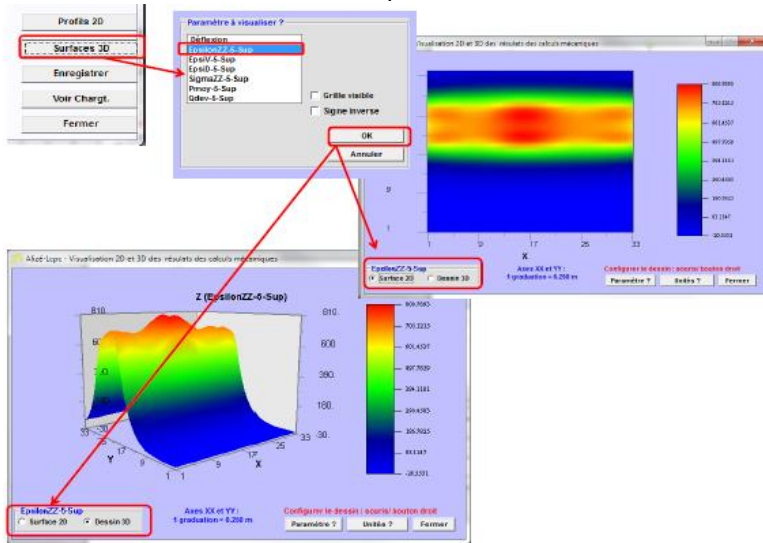
Estes cálculos utilizam o modelo de Burmister de múltiplas camadas. Estes cálculos podem ser feitos através de softwares de análise de elementos finitos sob uma malha de extensão finita porém suficientemente grande para proporcionar a aplicabilidade do modelo teórico de Burmister.

O DGAC e STAC com apoio do IFSTTAR apresentaram em 2016 a ferramenta de cálculo chamada “*Alizé-Aéronautique*” que realiza todos os cálculos da metodologia francesa. A Figura 5.7 ilustra uma tela com resultados de um dimensionamento realizado com o apoio deste software.

A precisão do cálculo considera 5 milésimos do valor máximo das deformação admissíveis pelo projeto. Este valor deve ser respeitado em todos os pontos da área geométrica de contato dos pneus do trem de pouso em uma distância igual ou maior que três

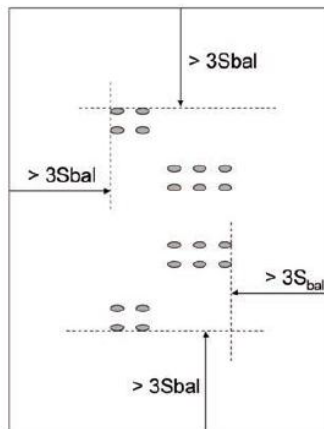
vezes o desvio padrão da área de atuação transversal, conforme mostra a Figura 5.8.

Figura 5.7 - Ilustração da tela com os resultados de cálculo realizado pela ferramenta de cálculo *Alizé-Aéronautique*.



Fonte: STAC, 2016.

Figura 5.8 - Área geométrica considerada para aplicação do modelo de Burmister no cálculo das tensões e deformações no pavimento.



Fonte: DGAC, 2014.

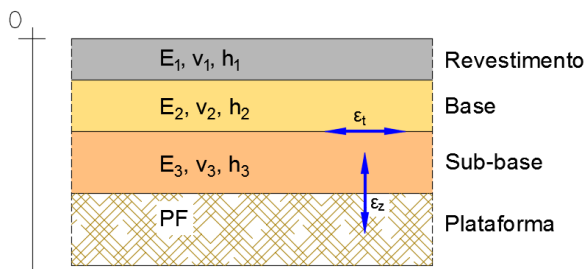
O cálculo baseia-se no histórico de danos ocasionados em função do tráfego de aeronaves e as deformações sofridas no pavimento.

5.3.1 Cálculo dos Danos do Pavimento

Segundo DGAC (2014) o cálculo do dano é baseado na avaliação das solicitações impostas à estrutura do pavimento e nas leis de danos de Wohler-Miner. Dois tipos de danos são considerados (ilustrados na Figura 5.9):

- Fadiga dos materiais asfálticos através da fissuração progressiva do material. O cálculo é realizado na fibra inferior da camada de material asfáltico;
- Deformação permanente no subleito. O cálculo é baseado na deformação vertical que ocorre no topo da plataforma de suporte.

Figura 5.9 - Danos avaliados no cálculo da estrutura do pavimento flexível aeroportuário.



Fonte: Burmister *apud* STAC, 2016 (adaptado pelo autor).

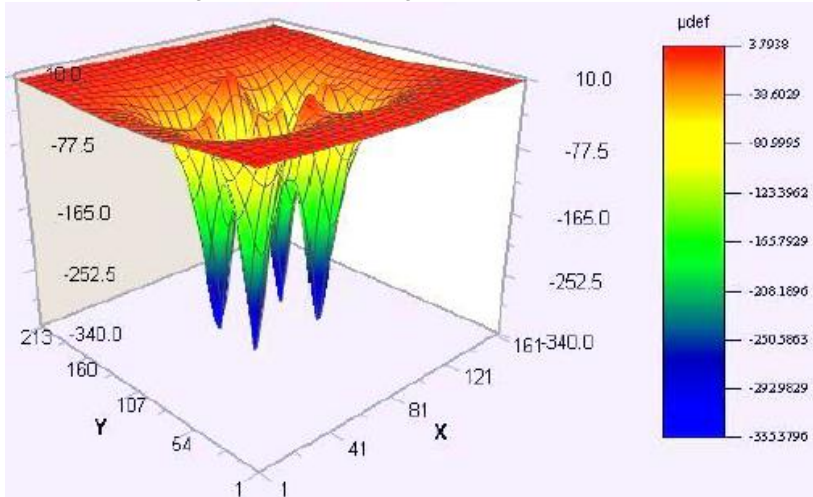
Segundo o DGAC (2016), no caso de pavimentos asfálticos aeroportuários submetidos à baixo tráfego é permitido o uso de base de material granular sendo que neste caso a avaliação da deformação permanente do solo é suficiente e não é necessário analisar a fadiga do material asfáltico.

Por convenção as deformações são consideradas positivas na expansão para os revestimentos asfálticos e positivas na contração para os materiais granulares (DGAC, 2016).

A Figura 5.10 mostra um exemplo de resultado de deformações de tração máximas geradas no pavimento sob a passagem de uma aeronave. A deformação de tração máxima é calculada levando em conta as deformações longitudinais e

transversais, através de cálculo exposto no capítulo 7.4.1.4 desta dissertação (Equação 7.10). Estas informações são utilizadas para o cálculo do dano individual no pavimento e posteriormente o dano acumulado.

Figura 5.10 - Exemplo de deformações de tração máxima na base da camada asfáltica geradas pela passagem de um Airbus A350-800.



Fonte: STAC, 2016.

5.3.2 Lei de Dano de Wohler

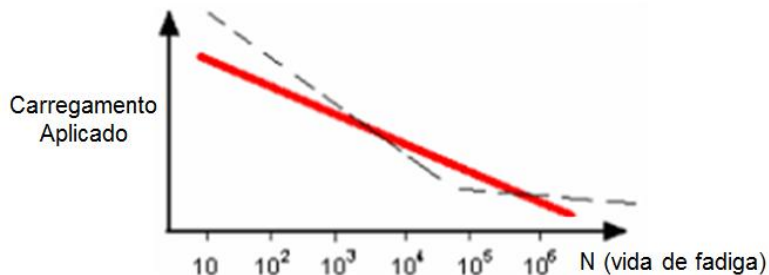
A lei de Wohler se aplica a ensaios de fadiga realizados em laboratório sob carregamento cíclico com força ou deslocamento constante. Conforme o caso exprime tensão máxima teórica ou deformação máxima teórica alcançada em um material considerado homogêneo em relação ao seu estado inicial.

Conforme mencionado por Barra (2009) a curva de Wohler representa a fadiga de um material que é definida pelo número N suportado até a ruptura em relação à amplitude do carregamento aplicado (deslocamento ou força). Um exemplo da curva de Wohler é apresentado na Figura 5.11.

Com alguns ajustes a utilização da Lei de Wohler é implementada aos cálculos de dimensionamento de pavimentos, considerando um sistema multicamadas (tensões e deformações reversíveis) e pode representar o mecanismo de fadiga dos

materiais asfálticos e de deformação permanente dos materiais granulares.

Figura 5.11 - Curva de Wöhler.



Fonte: Barra, 2009.

De maneira geral a amplitude máxima de sollicitação (deformação ou tensão) da lei de Wohler se relaciona com o número máximo de ciclos de sollicitação que conduz à ruptura (DGAC, 2014). O número de ciclos é calculado através da equação 5.1.

$$N(S_{max}) = \left(\frac{K}{S_{max}} \right)^{\beta} \text{ ou } S_{max} = K N^b \quad (b = -1/\beta) \quad (5.1)$$

Onde:

- S_{max} = Amplitude da sollicitação máxima;
- N = Número de ciclos;
- k =constante;
- β = expoente positivo maior que 1;
- $b = 1/\beta$ = valor entre -1 e 0 conforme a inclinação da equação logarítmica de fadiga = $a + b \log(N)$.

No caso de materiais betuminosos: O número N está relacionado a perda de rigidez do material quando sollicitado a uma frequência de 25Hz e temperatura de 10°C. É definido como sendo o número médio de sollicitações que o pavimento recebe até perder 50% da rigidez. A variável S_{max} corresponde a amplitude máxima de deformação $\varepsilon_{t,max}$ calculada na base da camada (DGAC, 2014). O número de ciclos é calculado conforme a equação 5.2.

$$N(\varepsilon_{t,max}) = \left(\frac{K}{\varepsilon_{t,max}} \right)^{\beta} \quad \text{sendo} \quad K = k_{\theta} k_r k_s k_c 10^{6/\beta} \bar{\varepsilon}_6 \quad (5.2)$$

Onde:

- ε_6 = deformação à 10^6 ciclos determinada em laboratório a 10°C e frequência de 25 Hz;
- $k_{\theta f}$ = coeficiente para transposição da Frequência e temperatura dos ensaios de laboratório em relação a Frequência e temperatura de aplicação no cálculo;
- k_r = coeficiente de ajuste da dispersão dos resultados dos ensaios de fadiga do material asfáltico;
- k_s = coeficiente igual a 1 (função da rigidez das camadas);
- k_c = coeficiente calculado em função do tipo de material da base e da roda equivalente racional (discutido adiante).

No caso de materiais granulares: A lei de Wohler é utilizada para descrever os danos acumulados de deformação permanente sob o efeito das solicitações. Ao contrário do caso dos materiais asfálticos a utilização da lei não exige ensaios em laboratório, porém os valores vêm de observações e medições em pavimentos rodoviários e em menor quantidade nos pavimentos aeroportuários. O número de ciclos até a ruptura é empírico, porém está ligado as deformações da superfície. A variável ε_{\max} é tomada com sendo igual à amplitude máxima (espacial e temporal) e a ε_{zz} é a máxima deformação vertical na superfície da plataforma de suporte (DGAC, 2014). O número de ciclos é calculado conforme a equação 5.3.

$$N(\varepsilon_{zz \max}) = \left(\frac{K}{\varepsilon_{zz \max}} \right)^\beta \quad (5.3)$$

Onde: os valores de K e β são considerados independentes do tipo de material, seu estado hídrico, temperatura e velocidade.

Para o cálculo dos danos da plataforma de suporte a DGAC (2016) recomenda a utilização dos seguintes parâmetros:

- $K=16.000$;
- $\beta = -0,222$.

5.3.3 Lei de Dano de Wöhler-Miner

A lei de dano de Wohler Miner permite generalizar a lei de Wohler de forma a considerar o caso de número de passagens, intensidade variável e aplicação aleatória. Permite expressar o dano elementar ΔD gerado por um ciclo solicitação de amplitude ε_{\max} (DGAC, 2014). É descrito pela equação 5.4.

$$\Delta D = \frac{1}{N(\epsilon_{max})} = \left(\frac{\epsilon_{max}}{K}\right)^\beta \quad (5.4)$$

Onde:

- $\epsilon_{max} = \epsilon_{t, max}$ para materiais betuminosos;
- $\epsilon_{max} = \epsilon_{zz, max}$ para materiais granulares.

Para o caso de amplitude variável com aplicação aleatória a lei de Wohler Miner estabelece através da equação 5.5 o dano elementar criado por cada um deles (DGAC, 2016).

$$D = \sum_i n_i \Delta D_i = \sum_i \frac{n_i}{N(\epsilon_{max i})} = \sum_i n_i \left(\frac{\epsilon_{max i}}{K}\right)^\beta \quad (5.5)$$

Onde:

- n_i = número de carregamentos de amplitude máxima $\epsilon_{max, i}$.
- D = dano acumulado resultante da aplicação $N = \sum n_i$ ciclos de solitação.

5.3.4 Dano Levando em Conta a Varredura Transversal

A metodologia francesa de dimensionamento de pavimentos aeroportuários considera a varredura de posicionamento que uma aeronave pode ocupar na seção transversal da pista.

Conforme DGAC (2014) diz respeito às excentricidades do percurso teórico sobre o eixo longitudinal da pista entre as várias passagens de aeronaves, conhecido como varredura transversal ou simplesmente varredura. A Figura 5.12 mostra esta situação.

Figura 5.12 - Exemplo de aterrisagem excêntrica em relação ao eixo longitudinal da pista.



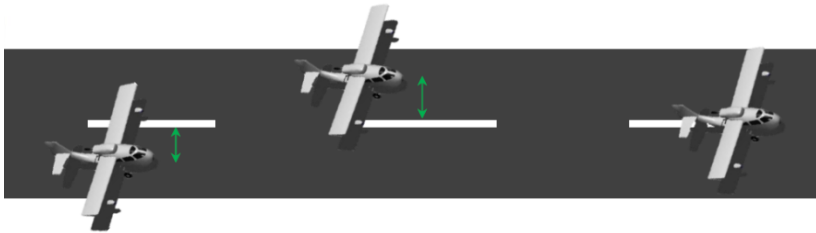
Fonte: DGAC, 2014.

A distribuição das excentricidades para efeito de cálculo é determinada segundo a distribuição estatística gaussiana ou normal com desvio padrão que depende do tipo de aeronave e velocidade de operação na pista. A distribuição das trajetórias possui uma variação de 5,0cm na consideração de cálculo em grelha.

Sabendo-se que a aeronave, durante a operação de aterrissagem, produz uma “varredura” variável na seção transversal, o tráfego é considerado canalizado no eixo longitudinal com uma variação $\Delta D_{bal} < \Delta D$, onde ΔD_{bal} é a variação da varredura. Este cálculo considera o acumulado dos danos provocados e consiste no somatório dos danos produzidos no eixo y e z ponderados conforme a probabilidade de ocorrência (DGAC, 2014).

A Figura 5.13 mostra como funciona a variação de posicionamento do percurso de uma aeronave no eixo longitudinal na seção transversal.

Figura 5.13 - Ilustração da variação de posicionamento transversal.



Fonte: STAC, 2016.

Conforme mostra DGAC (2016) o cálculo do dano considerando a varredura transversal é feito através da equação 5.6.

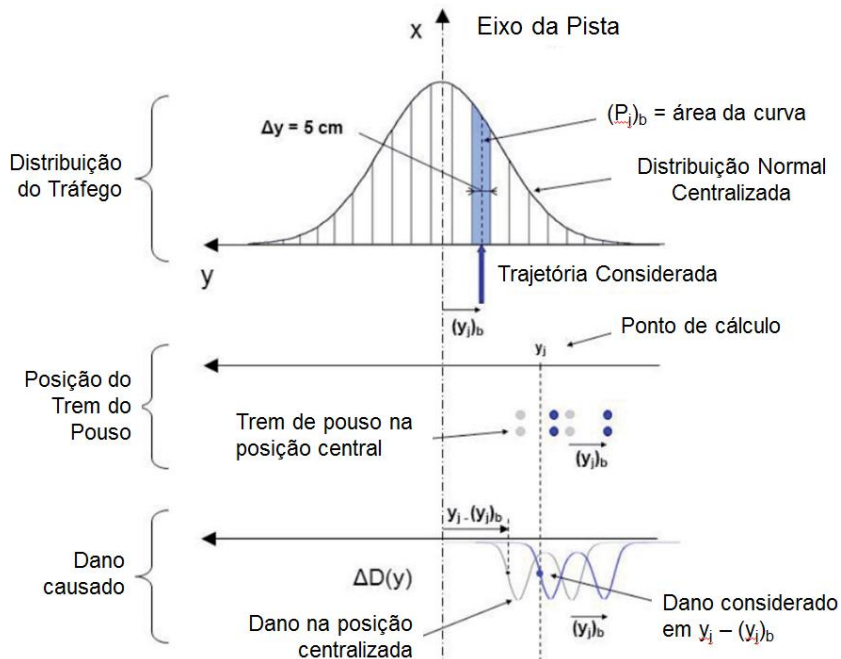
$$\Delta D_{bal}(y_j, z_k) = \sum_{b=1}^{n_b} (P_j)_b \times \Delta D(y_j - (y_j)_b, z_k) \quad (5.6)$$

Onde:

- ΔD_{bal} = dano individual causado pela passagem da aeronave;
- y_j = posição no eixo y;
- z_k = profundidade da análise no eixo z;
- P_j = porcentagem conforme distribuição estatística.

A distribuição estatística para distribuição do dano considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave é calculada conforme ilustra a Figura 5.14.

Figura 5.14 - Distribuição estatística aplicada no cálculo do dano individual considerando a varredura transversal (bal).



Fonte: DGAC, 2016 (adaptado pelo autor).

5.3.5 Dano Acumulado pelo Tráfego de Projeto.

O dano acumulado por todas as aeronaves de projeto é dado pela equação 5.7 (DGAC, 2016).

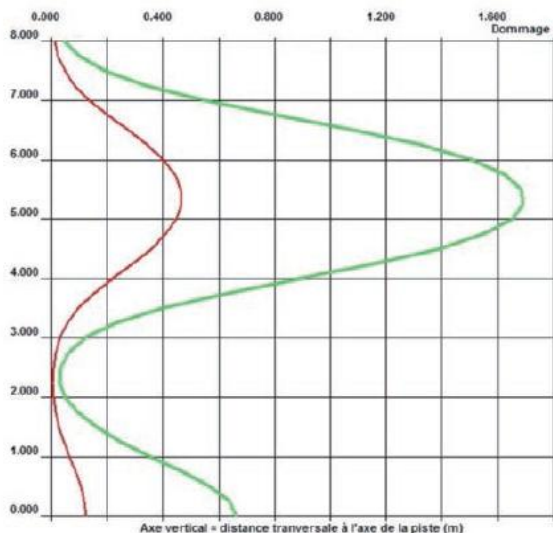
$$D_{bal,acumulado}(y_i, z_k) = \sum_{aeronave} N_{aeronave} \Delta D_{bal,aeronave}(y_i, z_k) \quad (5.7)$$

Onde:

- Aeronave = índice relativo aos tipos de aeronaves que compõe o tráfego do dimensionamento;
- $N_{aeronave}$ = número acumulado de passagens de aeronaves no período de projeto;
- $\Delta D_{bal, aeronave}(y_j, z_k)$ = perfil do dano individual de cada aeronave.

Segundo DGAC (2014) como resultado tem-se uma curva de variação do dano acumulado de acordo com o posicionamento na seção transversal em relação do eixo longitudinal. A Figura 5.15 mostra um exemplo destas curvas.

Figura 5.15 - Exemplo da curva de danos acumulados no perfil com e sem a consideração da variação transversal.



Fonte: DGAC, 2014.

5.3.6 Fator de Agressividade do Tráfego

A norma francesa de revestimentos asfálticos aeroportuários classifica as aeronaves em dois parâmetros: pressão dos pneus e quantidade de rodas do trem de pouso principal. O produto destes parâmetros é utilizado para definir os grupos de aeronaves. A norma aeronáutica também define as classes de tráfego resultantes do cruzamento dos grupos de aeronaves e a quantidade de passagens de cada aeronave.

Conforme DGAC (2014) o uso das classes de tráfego não permite a quantificação exata sendo assim necessária a determinação da agressividade do tráfego. O conceito da lei de danos utilizada permite caracterizar de forma racional a agressividade do tráfego. No entanto é introduzido o conceito da

RseR (*Roue Simple Équivalente Rationnelle*) que significa “roda simples equivalente racional”.

O RseR é utilizado para:

- Definir se é possível utilizar uma camada de base de material granular;
- Verificar se a espessura da sub-base está corretamente dimensionada;
- Determinar os coeficientes de calibração dos materiais asfálticos.

Segundo DGAC (2014) estes três pontos estão relacionados ao revestimento asfáltico visando combater o dano por fadiga ao invés do dano por deformação permanente. Assim é verificado o dano pelo tráfego acumulado de aeronaves e em segundo plano o dano individual causado pela RseR quanto à fadiga do material asfáltico.

A Tabela 5.2 ilustra um exemplo de valores de RseR para vários tráfegos de aeronaves e diferentes estruturas dimensionadas para uma temperatura de 15°C em áreas de circulação com velocidade moderada e um coeficiente de risco de 5%.

Tabela 5.2 - Exemplo de valores de RseR para diferentes tipos de tráfego.

Aeronave	Mrw (tf)	Mvts 10 anos	Estruturas associadas (cm)				RseR
			BBA2	GB3	GNT	PF	
ATR72-101	20	1	6,0	8,0	25,0	PF1	6,0
	20	25	6,0	12,0	45,0	PF1	11,5
	20	50	6,0	10,0	30,0	PF2	13,0
A320-200	77,4	1	6,0	10,0	33,0	PF2	14,0
	77,4	25	8,0	14,0	42,0	PF2	28,4
	77,4	50	8,0	16,0	50,0	PF2	32,9
A300-600R	171,4	1	6,0	10,0	34,0	PF2	14,8
	171,4	25	8,0	18,0	53,0	PF2	32,0
	171,4	50	8,0	20,0	62,0	PF2	37,3
A340-500	381,2	1	6,0	12,0	27,0	PF2	18,9
	381,2	25	6,0	15,0	53,0	PF2	34,9
	381,2	50	8,0	18,0	52,0	PF2	42,8

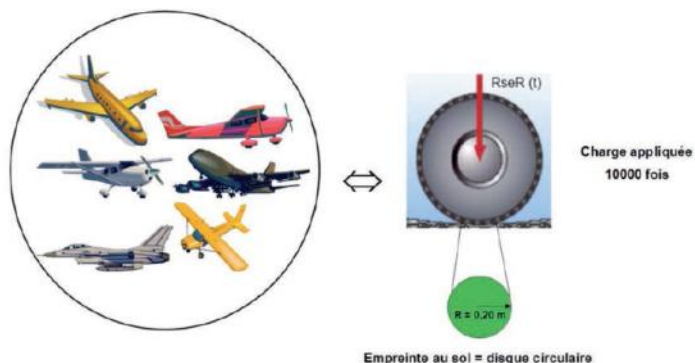
Fonte: Adaptado de DGAC, 2016.

Onde:

- Mrw = Peso total da aeronave em toneladas;
- $Mvts$ (10 anos) = Número de passagens durante o período de 10 anos.

O valor de $RseR$ é dependente da estrutura do pavimento considerado e da espessura do revestimento asfáltico quanto à fadiga. Sendo assim diferentes valores de $RseR$ poderão ser encontrados para diversas classes de tráfego (DGAC, 2014). A Figura 5.16 ilustra de forma esquemática uma roda equivalente racional.

Figura 5.16 - Representação esquemática da $RseR$.



Fonte: DGAC, 2014.

Conforme STAC (2016) o processo para determinação da roda equivalente racional é iterativo, onde como parâmetro de partida para o início do dimensionamento se estima um valor de $RseR$ (o valor de $RseR$ é necessário para determinar o fator k_c) sendo assim o dimensionamento prossegue. Ao final do dimensionamento (após vários processos iterativos) chega-se a estrutura ideal e o valor limite de dano acumulado.

STAC (2016) explica que, tendo a estrutura ideal definida é efetuado um cálculo iterativo simulando a passagem de uma única roda com raio de 20 cm e número de repetições igual 10.000 vezes com a carga de roda inicialmente arbitrada. Este cálculo vai gerar um valor de dano acumulado. O processo deve ser repetido até se chegar a uma carga de roda que produza o mesmo dano acumulado do dimensionamento do pavimento.

Sendo o valor de RseR uma condicionante para o cálculo do fator k_c , é necessário repetir todo o cálculo de dimensionamento do pavimento utilizando o novo k_c (em função da RseR determinada). Como o processo é cíclico, uma nova estrutura de pavimentação é gerada e um novo número de dano acumulado é gerado. Calcula-se uma nova RseR para este novo número de dano acumulado.

O processo iterativo de dimensionamento do pavimento e cálculo da RseR é repetido inúmeras vezes até os valores de danos acumulados convergirem para o mesmo número (STAC, 2016).

5.3.7 Fator de Fadiga dos Materiais Asfálticos

DGAC (2014) explica que o método prevê dois coeficientes de ajuste K provenientes da lei de danos de Wohler-Miner obtidos em laboratório. Um deles relacionado à realização do ensaio de fadiga e outro relacionado ao cálculo estrutural. A correção do ensaio de fadiga leva em conta:

- A transposição da temperatura do ensaio de fadiga (10°C) à temperatura considerada no dimensionamento.
- A dispersão dos resultados do ensaio de fadiga
- Coeficiente de calibração campo/laboratório.

A correção dos valores de deformação derivadas do modelo de cálculo estrutural é afetada por duas situações:

- A variação das espessuras executadas;
- A heterogeneidade da capacidade de suporte da camada de material granular abaixo da camada de material asfáltico.

Os diferentes ajustes aplicados ao dimensionamento são calculados conforme a expressão da equação 5.8.

$$K = 10^{6/\beta} k_{\theta f} k_s k_r k_c \bar{\epsilon}_6 \quad (5.8)$$

Onde:

- $\bar{\epsilon}_6$ = número de deformações a um milhão de ciclos determinado em ensaio de laboratório a 10°C e frequência de 25Hz;
- β = expoente determinado a partir do ensaio de fadiga;
- $k_{\theta f}$ = coeficiente que permite transpor os valores do ensaio realizado a 10°C e 25Hz à temperatura equivalente da região geográfica do aeroporto e à frequência desejada;

- k_s = coeficiente igual a um ou minorador da deformação admissível do revestimento asfáltico em função da rigidez das camadas de suporte.
- k_r = coeficiente referente à dispersão dos valores do ensaio de fadiga e da variação das espessuras das camadas de material asfáltico.
- k_c = coeficiente de calibração em função da natureza dos materiais asfálticos.

5.4 PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

5.4.1 Dados Necessários

Conforme DGAC (2014) os dados necessários para o dimensionamento podem ser divididos em quatro categorias:

- Parâmetros de planejamento, como período de projeto e cálculo do risco;
- Dados de tráfego;
- Dados ambientais como clima e temperatura, estas informações tem influência no comportamento mecânico do pavimento e na situação de verificação de congelamento e descongelamento.
- Propriedades dos materiais de pavimentação e da plataforma do subleito e fundação.

5.4.2 Período de Projeto e Risco

Estes parâmetros fazem parte das definições estratégicas da administração aeroportuária. O período de projeto é geralmente de 10 anos. O risco é definido conforme o grau de importância do aeroporto e usualmente é determinado em função da classe de tráfego que opera o aeroporto (DGAC, 2014).

5.4.3 Tráfego de Aeronaves

Segundo DGAC (2014) o tráfego previsto para cada seção de projeto é definido a partir de uma lista de aeronaves previstas para utilizar a referida seção, o número de passagens previstas e o seu período de projeto. Cada aeronave é caracterizada por:

- Tipo;
- Número de passagens previstas (através de previsões de crescimento geométrico ou aritmético);
- Geometria do trem de pouso, condições de carregamento, coordenadas das rodas, eixos e peso suportado por cada roda e a pressão de contato pneu-pavimento.

Conforme DGAC (2014) estes parâmetros podem ser encontrados na base de dados de aeronaves da publicação do órgão aeronáutico francês, que contém as características das 250 aeronaves mais comuns. O conjunto de informações das aeronaves deve conter, de acordo com as diferentes aeronaves consideradas e tipo de seção de estudo:

- Velocidade de percurso em solo;
- Varredura transversal da passagem da aeronave.

5.4.4 Peso das Aeronaves

Segundo DGAC (2014) a determinação da espessura do pavimento é baseada nas variações de cargas e do número de passagens da aeronave. Pelo fato de estas informações serem difíceis de determinar em função de previsões de tráfego e evoluções de aeronaves, algumas informações padrões são utilizadas tomando-se como base dados fornecidos pelos fabricantes de aeronaves (certificados pelos órgãos aeronáuticos), são elas:

- Peso máximo de rolamento para as operações de decolagens;
- Peso máximo de aterrissagem para as operações de aterrissagem.

Estes dados podem ser diminuídos por restrições operacionais, como é o caso de uma pista com comprimento insuficiente para uma operação com aeronave totalmente carregada.

5.4.5 Redução da Lista de Aeronaves Consideradas

A DGAC (2014) mostra que para agilizar e simplificar o cálculo é possível desconsiderar as aeronaves que produzem menores danos, ou seja, aeronaves menos agressivas. Somente as aeronaves que possuem influência no dimensionamento da estrutura, em função do peso e número de passagens durante o período de projeto, são consideradas no cálculo. Esta seleção pode

ser feita através de avaliação do impacto relativo de cada aeronave em relação ao solo e camadas asfálticas. Para cada aeronave considerada é calculada a carga da roda mais carregada conforme a fórmula da equação 5.9.

$$r_j = \left(\frac{Pr_j}{Pr_{max}} \right)^5 \cdot p_j \quad (5.9)$$

Onde:

- Pr_j = carga da roda mais carregada da aeronave;
- Pr_{max} = carga da roda mais carregada de toda a composição de aeronaves;
- p_j = porcentagem do tráfego acumulado em relação ao tráfego total, que por sua vez é calculado através da equação 5.10.

$$p_j = \frac{n_j}{n_{total}} \quad (5.10)$$

Onde:

- n_j = número de passagens da aeronave j ;
- n_{total} = número de passagens total de todas as aeronaves.

Uma aeronave é considerada “aeronave de dimensionamento” quando $r_j \geq 1\%$.

5.4.6 Velocidade

Conforme Barra (2009) a velocidade de deslocamento de um veículo (neste caso uma aeronave) tem impacto direto no valor do módulo da mistura asfáltica em função do seu caráter viscoelástico.

As velocidades dependem da seção de pista. Nas vias de circulação (taxiamento) a velocidade média considerada fica na ordem de 30 km/h para todos os tipos de aeronaves. Mas no geral as velocidades dependem do tipo de aeronave e posicionamento na pista.

Na pista principal é considerada uma velocidade de 100 km/h exceto nos primeiros 300 m de pista, onde a velocidade é de 30 km/h.

Sendo assim conforme a DGAC (2014) são consideradas as seguintes velocidades em função do tipo de pista em análise:

- 100 km/h - Seções de velocidade elevada;
- 30 km/h - Seções de velocidade moderada;
- 10 km/h - Seções de baixa velocidade.

Com estas velocidades são determinadas as frequências de solicitação que influenciam no cálculo do módulo de elasticidade do revestimento. A equação 5.11 mostra a relação adotada pela DGAC, onde uma velocidade de 100 km/h corresponde a uma frequência de 10 Hz.

$$f(\text{Hz}) = \frac{V (\text{km/h})}{10} \quad (5.11)$$

Onde:

- f = frequência;
- V = velocidade.

Esta relação é diferente do caso rodoviário, onde a relação é 70 km/h para 10 Hz. Segundo DGAC (2014) em função das espessuras de materiais mais nobres e por haver uma maior área na superfície de contato.

No caso de áreas de estacionamento onde a velocidade é na ordem de 10 km/h o departamento de aeronáutica da França recomenda fortemente a não utilização de pavimento flexível.

5.4.7 Varredura Transversal da Pista

Segundo DGAC (2014) o percurso teórico longitudinal da faixa de rodagem possui largura maior que no caso do rodoviário devido às excentricidades das aeronaves e variações no posicionamento transversal. A distribuição das excentricidades é calculada através de tratamento estatístico (distribuição gaussiana normal) considerando um determinado desvio padrão (S_{bal}). O valor da amplitude da varredura transversal é o valor correspondente a duas vezes o desvio padrão da variável excêntrica.

A amplitude depende do tipo de aeronave e da seção de circulação. Em caso de não haver dados para a determinação da varredura transversal é recomendada a utilização dos valores expostos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Valores do desvio padrão da varredura transversal da pista.

Seção da pista	Desvio padrão
Pista da circulação em velocidade alta	0,75
Pista da circulação em velocidade moderada	0,50
Estacionamento e transito em velocidades baixas	0,00

Fonte: DGAC, 2014.

5.4.8 Dados de Temperatura

Conforme DGAC (2014) os dados climáticos e ambientais são levados em conta, pois influenciam no desempenho mecânico dos materiais asfálticos (módulo de rigidez e resistência à fadiga) e no caso de lugares com ocorrência de frio a verificação de congelamento e descongelamento. As características mecânicas dos materiais asfálticos variam em função da temperatura, sendo assim deve a temperatura deve ser considerada no dimensionamento de pavimentos aeroportuários.

Para um determinado veículo a temperatura equivalente é aquela em que ocorre o maior dano acumulado. Havendo dados históricos por um período suficientemente longo para representar as mudanças de temperatura o mesmo pode ser utilizado para calcular a temperatura equivalente de acordo com a estrutura do pavimento, critério de cálculo de danos e tipo de aeronave (BARRA, 2009).

Conforme explica Barra *et. al* (2010) o conceito de temperatura equivalente (θ_{eq}) é muito importante para o dimensionamento do pavimento, pois não significa a temperatura média observada em uma determinada região ou país, mas aquela correspondente ao dano acumulado sofrido pelo pavimento ao longo do ano para uma dada distribuição de temperaturas. Logo a sua determinação, para uma dada estrutura é dependente da série de valores de módulo complexo (E^*) e da deformação à fadiga (ϵ_6), determinados em laboratório em várias temperaturas.

Na ausência de dados define-se uma temperatura equivalente constante para fins de dimensionamento conforme as condições climáticas da região onde se pretende implantar o aeroporto. Para algumas cidades situadas na França ou alguns territórios externos o departamento de aeronáutica da França possui uma lista com o tipo de clima a ser levado em conta. Em lugares com climas oceânicos, mediterrâneo ou continental como a região metropolitana da França a temperatura equivalente é da ordem de 15°C, para climas tropicais a temperatura é de 25°C e na Guiana Francesa é utilizada a temperatura de 28°C (DGAC, 2014).

O STAC (2009) trás uma rotina de cálculo que leva em conta um histórico de informações de temperaturas ambientes na região de projeto para definir o tipo de clima. Conforme o tipo de clima o DGAC (2014) sugere a utilização de determinada temperatura equivalente. Este tópico é detalhado no capítulo 6.4 desta dissertação.

5.4.9 Etapas do Dimensionamento

A seguir são descritas as etapas de dimensionamento de pavimentos aeroportuários conforme publicação da DGAC (2014) e, posteriormente, revisada DGAC (2016). Convém lembrar que para o dimensionamento é necessário o apoio de software para cálculo dos parâmetros conforme a teoria de Burmister.

5.4.9.1 Etapa 01: Pré-dimensionamento

- Definir uma camada de rolamento;
- Escolha de uma configuração prévia de estrutura de pavimentação.

5.4.9.2 Etapa 02: Cálculo dos Danos e Interações das Espessuras

Conforme o conjunto de materiais e espessuras, os cálculos são realizados segundo um sistema tridimensional (x, y, z) onde x é o eixo longitudinal e y o transversal e z a profundidade. Os cálculos são efetuados através de análise em grelha conforme o critério de danos acumulados na fibra inferior da base e no topo da plataforma de suporte.

Para cada aeronave de dimensionamento são efetuadas três considerações:

- Cálculo em todos os pontos (x,y) da deformação de tração \mathcal{E}_t (camada asfálticas) e deformação de compressão \mathcal{E}_{zz} (camadas da plataforma de suporte) para uma dada aeronave levando em conta os dados de módulo de rigidez das camadas, frequência e temperatura.
- Cálculo do perfil de dano acumulado $\Delta D(y_j, z_k)$ através do incremento de cada aeronave. O cálculo se baseia no princípio da lei de danos de Miner e nos fatores de ajustes mencionados.
- Cálculo do perfil de varredura transversal $\Delta D_{bal}(y_j, z_k)$ de cada aeronave.

Para o período de projeto os danos acumulados são calculados através das equações apresentadas no capítulo 5.2.

O resultado é admissível quando cada um dos valores ΔD_{bal} de cada aeronave prevista no projeto são somados, resultando no $D_{max, acumulado}(zk)$, cuja soma deve se próximo e inferior a 1,0.

Iteração das espessuras: O passo anterior é repetido várias vezes se ajustando as espessuras das camadas de modo a se obter o somatório de danos próximo e menor que 1,0.

5.4.9.3 Etapa 03: Ajuste das Espessuras Calculadas

As espessuras das camadas são calculadas conforme mencionado na etapa 02 e ajustadas com a finalidade de:

- Se enquadrar nas espessuras mínimas recomendadas pelas normas em função do tipo de material e grau de compactação.
- Reduzir o risco de defeitos em função de ligação entre camadas mediante o uso de menor número de camadas.

Conforme mostra DGAC (2014) para evitar a inclusão de camadas com espessuras pequenas de materiais asfálticos a metodologia francesa apresenta uma tabela com a indicação das espessuras mínimas de camada de base. Estas espessuras são dependentes do RseR. As espessuras mínimas são adaptadas em função dos critérios de execução, espessura do revestimento e granulometria dos materiais.

Para materiais EB-GB (*Enrobé Bitumineux Grave Bitume*) a recomendação de espessuras mínimas segue a orientação apresentada nas equações 5.12, 5.13 e 5.14 (DGAC, 2014).

$$e_{\text{mínimo}} = 8 \quad \text{se } RseR < 10tf \quad (5.12)$$

$$e_{\text{mínimo}} = \frac{2}{5} \times RseR + 4 \quad \text{se } 10tf \leq RseR \leq 30tf \quad (5.13)$$

$$e_{\text{mínimo}} = 16 \quad \text{se } RseR > 30tf \quad (5.14)$$

Para materiais EB-EME (*Enrobé Bitumineux - Enrobé à Module Elevé*) a recomendação de espessuras mínimas segue a orientação apresentada nas equações 5.15, 5.16 e 5.17 (DGAC, 2014).

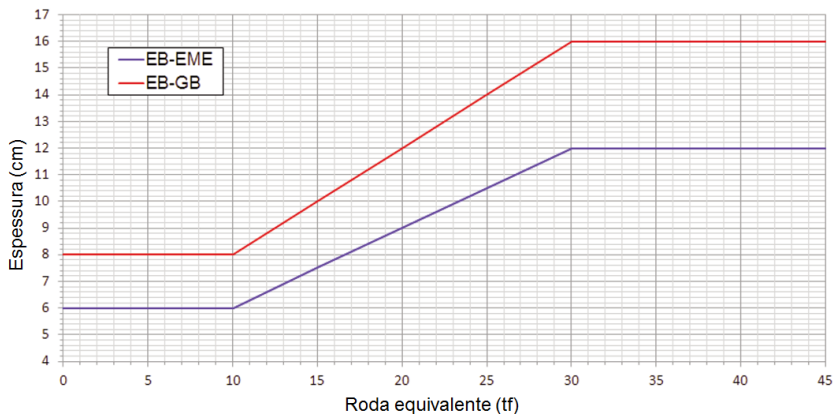
$$e_{\text{mínimo}} = 6 \quad \text{se } RseR < 10tf \quad (5.15)$$

$$e_{\text{mínimo}} = \frac{3}{10} \times RseR + 3 \quad \text{se } 10tf \leq RseR \leq 30tf \quad (5.16)$$

$$e_{\text{mínimo}} = 12 \quad \text{se } RseR > 30tf \quad (5.17)$$

A Figura 5.17 mostra as equações para determinação das espessuras mínimas lançadas em forma de gráfico.

Figura 5.17 - Gráfico de espessuras mínimas de material asfáltico para camada de base.



Fonte: DGAC, 2014.

5.4.9.4 Etapa 04: Projeto de Estacionamento e Áreas de Espera

Segundo DGAC (2014) para o estacionamento e áreas de espera é realizado um cálculo adicional onde os materiais asfálticos de base e revestimentos serão considerados como granulares não tratados associados a um módulo de 800 MPa para levar em conta a natureza estática do carregamento nesta área. O parâmetro K que é utilizado para o cálculo do dano acumulado na plataforma de suporte é ampliado para 24.000.

É preciso garantir que os danos referentes a deformação permanente na plataforma de suporte sejam inferiores a 1, caso contrário os passos de dimensionamento devem ser repetidos até se obter as espessuras adequadas.

5.4.9.5 Etapa 05: Verificação da resistência ao congelamento-descongelamento

A verificação quanto ao congelamento e descongelamento é realizada em separado e no caso de constatação de verificação negativa as espessuras das camadas devem ser revisadas.

5.4.9.6 Etapa 06: Perfil Longitudinal e Seções Transversais

A definição da estrutura é finalizada com a apresentação dos perfis longitudinais e seções transversais de acordo com as recomendações de aviação civil do país de origem e das instruções internacionais da ICAO (International Civil Aviation Operation) principalmente ao disposto no Anexo 14.

6 METODOLOGIA DA PESQUISA

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O objetivo da pesquisa é realizar a análise numérica de uma estrutura de pavimentação aeroportuária, para isto foi escolhido um cenário (descrito adiante) e aplicada a metodologia de dimensionamento de pavimentos asfálticos aeroportuários do setor aeronáutico da França.

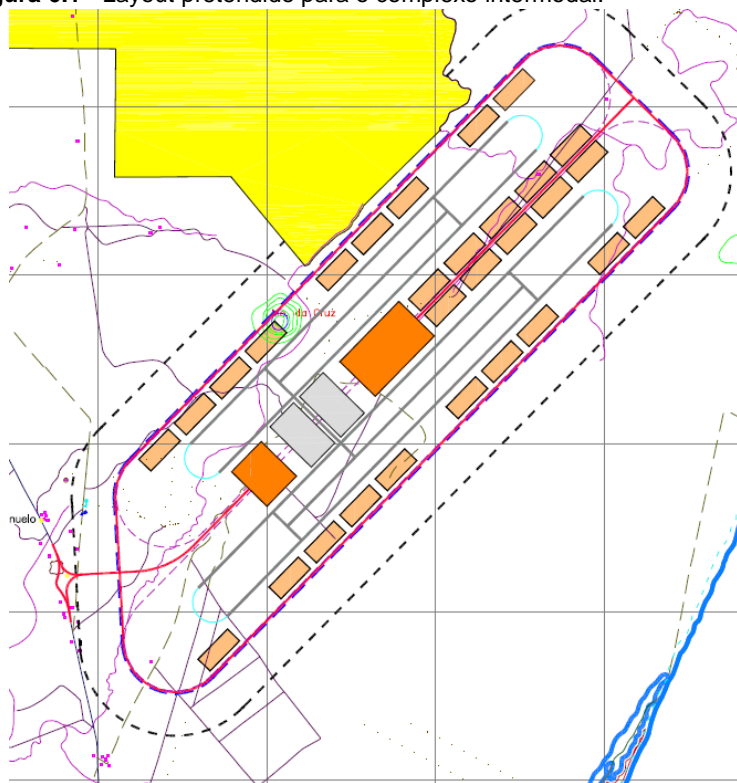
A metodologia francesa de dimensionamento de pavimentos aeroportuários foi atualizada recentemente (com a primeira publicação em 2014 e com uma revisão em 2016) e conta com princípios conceptivos que levam em conta diversos fatores, como: características técnicas dos materiais, condições climáticas do local de implantação, composição do tráfego aéreo, posicionamento das aeronaves na pista e informações geotécnicas.

Neste capítulo é abordada a metodologia empregada para obter as informações e dados necessários para tornar possível a realização das simulações numéricas (discutidas no próximo capítulo).

6.2 DEFINIÇÃO DO OBJETO DO ESTUDO

Foi elaborado um estudo inicial para verificação de um terreno para implantação do pavimento a ser dimensionado de forma a contextualizar o estudo da metodologia francesa em uma realidade brasileira. Primeiramente foi levantada a hipótese de aplicar a metodologia em uma hipotética ampliação do aeroporto de Joinville e depois foi verificada a possibilidade de aplicação no complexo intermodal catarinense, pelo fato do mesmo possuir uma previsão de implantação de pista aeroportuária para recebimento de aeronaves pesadas para transporte de cargas. A Figura 6.1 ilustra o layout da definição locacional do complexo intermodal.

A empresa SC-Par (Santa Catarina Participações e Parcerias S.A.) com sede no centro administrativo do governo do estado de Santa Catarina é autora do estudo locacional para a implantação do complexo intermodal em Araquari/SC. Foi realizado contato com SC-Par para obtenção das informações do estudo locacional e o mesmo autorizou a utilização do material.

Figura 6.1 - Layout pretendido para o complexo intermodal.

Fonte: SCPAr, 2010.

O estudo para definição locacional levou em conta a implantação do aeroporto Charles de Gaulle em Paris na França.

Mesmo que o aeroporto pretendido não venha a ser instalado em breve, em razão das condições econômicas do país, a pesquisa tem grande importância para a simulação de uma condição de implantação de aeroporto industrial/comercial na região norte do estado de Santa Catarina.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DO SUBLEITO

No local de implantação (terreno) selecionado foi realizada uma busca por informações geotécnicas já realizadas no local, sondagens e coleta de amostra para realização de ensaios em laboratório, incluindo o ensaio para determinação do módulo de rigidez do material. Este parâmetro servirá de apoio aos cálculos do dimensionamento do suporte da estrutura.

As sondagens a trado e a coleta de amostra foram realizadas com o apoio da empresa Azimute Consultoria e Projetos de Engenharia, as sondagens à percussão foram executadas pela empresa Terraforte Sondagens e Engenharia Geotécnica.

No apêndice deste trabalho é apresentada a localização das sondagens à trado, à percussão e do ponto de coleta de amostra para ensaio em laboratório.

Sendo as seguintes denominações:

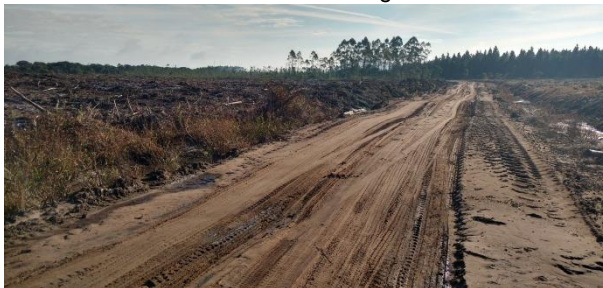
- ST: Sondagem a trado;
- PC: Ponto de coleta de amostra;
- SP: Sondagem a percussão.

A Tabela 6.1 mostra um resumo da sondagem ST-01 e as Figuras apresentadas na sequência ilustram a execução das mesmas.

Tabela 6.1 - Resumo da sondagem ST-01.

Camadas e classificação dos materiais:		Espessuras:	
Areia Amarela	0,00 a 0,10	0,10 m	
Areia Branca	0,10 a 0,30	0,20 m	
Areia Preta	0,30 a 1,20	0,90 m	
Limite da sondagem a trado (1,20m)		Total	1,20 m

Fonte: AZIMUTE, 2016.

Figura 6.2 - Local onde foi realizada a sondagem ST-01.

Fonte: O autor.

Figura 6.3 - Materiais coletados na sondagem ST-01.

Camada 01

Camada 02

Camada 03

Fonte: O autor.

A Tabela 6.2 mostra um resumo da sondagem ST-02 e as Figuras apresentadas na sequência ilustram a execução das mesmas.

Tabela 6.2 - Resumo da sondagem ST-02.

Camadas e classificação dos materiais:		Espessuras:	
Areia Amarela	0,00 a 0,30	0,30 m	
Areia Branca	0,30 a 0,80	0,50 m	
Areia Preta	0,80 a 1,90	1,10 m	
Limite da sondagem a trado (1,90m)	Total	1,90 m	

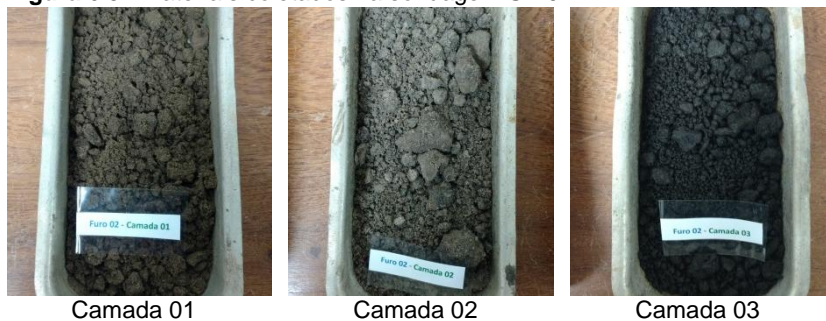
Fonte: AZIMUTE, 2016.

Figura 6.4 - Local onde foi realizada a sondagem ST-02.



Fonte: O autor.

Figura 6.5 - Materiais coletados na sondagem ST-02.



Camada 01

Camada 02

Camada 03

Fonte: O autor.

A Tabela 6.3 mostra um resumo do poço de coleta da amostra e as Figuras 6.6 e 6.7 ilustram, respectivamente, a coleta e o perfil do poço.

Tabela 6.3 - Resumo do PC-01.

Camadas e classificação dos materiais:		Espessuras:	
Areia Amarela	0,00 a 0,30	0,30 m	
Areia Branca	0,30 a 0,50	0,20 m	
Areia Preta	0,50 a 0,80	0,30 m	
Limite do poço de inspeção (0,80m)		Total	0,80 m

Fonte: AZIMUTE, 2016.

Figura 6.6 - Coleta da amostra.



Fonte: O autor.

Figura 6.7 - Perfil do poço de coleta.



Fonte: O autor.

A Tabela 6.4 mostra um resumo da sondagem SP-01 e as Figuras apresentadas na sequência ilustram a execução das mesmas.

Tabela 6.4 - Resumo da sondagem SP-01.

-0.35		Aterro: Areia siltosa, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Marrom.
-0.40		
-0.56		
-1.30	01	Aterro: Silte arenoso, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Preta.
	02	Aterro: Areia fina, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Branca.
	ANR	Silte argiloso, homogêneo (solo sedimentar), consist. média. Cor: Preta.
	04	Areia fina siltosa, homogênea (solo sedimentar), compacta. Cor: Marrom escura.
-4.10		
	ANR	
	ANR	
	ANR	
-7.45		Areia média à grossa (solo sedimentar), pouco à medianamente compacta. Cor: Marrom.

Fonte: TERRAFORTE, 2016.

Figura 6.8 - Início da sondagem SP-01.

Fonte: O autor.

Figura 6.9 - Diferenciação dos materiais encontrados na SP-01.



Fonte: O autor.

Figura 6.10 - Testemunho à 1,00m de profundidade na SP-01.



Fonte: O autor.

Figura 6.11 - Testemunho à 2,00m de profundidade na SP-01.



Fonte: O autor.

Figura 6.12 - Execução da sondagem SP-01.



Fonte: O autor.


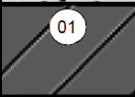


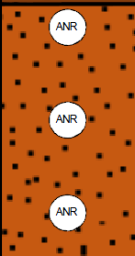
Figura 6.13 - Execução da sondagem SP-01.



Fonte: O autor.

A Tabela 6.5 mostra um resumo da sondagem SP-02 e as Figuras apresentadas na sequência ilustram a execução das mesmas.

Tabela 6.5 - Resumo da sondagem SP-02.

-0.45		Aterro: Areia siltosa, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Cinza.
-1.45		Argila orgânica (turfa), homogêneo (solo sedimentar), consist. Muito mole. Cor: Preta.
-2.00		Areia fina siltosa, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Preta.
-3.50		Areia fina siltosa, homogênea (solo sedimentar), muito compacta. Cor: Marrom escuro.
-6.45		Areia fina à média, homogêneo (solo sedimentar), pouco compacta à compacta. Cor: Marrom.

Fonte: TERRAFORTE, 2016.

Figura 6.14 - Execução da sondagem SP-02.

Fonte: O autor.

Figura 6.15 - Testemunho à 2,00m de profundidade na SP-02.



Fonte: O autor.

Figura 6.16 - Testemunho à 3,00m de profundidade na SP-02.



Fonte: O autor.

Os boletins completos das sondagens à percussão se encontram no anexo desta dissertação.

A metodologia de dimensionamento de pavimentos aeroportuários do setor aeronáutico da França prevê tratamento diferenciado no dimensionamento quando o substrato rígido está a uma profundidade de:

- < 2,00 m: não se aplica o modelo semi-infinito;
- Entre 2,00 m e 6,00 m: se considera uma camada intermediária e depois o apoio semi-infinito;
- > 6,00 m: o subleito é considerado semi-infinito.

Conforme é possível observar nos boletins de sondagem o apoio em rocha firme está a uma profundidade maior que 6,0 m,

sendo assim o subleito é considerado um apoio com espessura infinita, para fins de dimensionamento.

O material para caracterização do subleito foi coletado entre as profundidades de 0,50 m e 1,00 m de profundidade, de forma a caracterizar o subleito, ou seja, a fundação da estrutura de pavimentação. As Figuras 6.17 e 6.18 mostram a amostra coletada.

Figura 6.17 - Amostra coletada sendo preparada no laboratório.



Fonte: O autor.

Figura 6.18 - Amostra coletada sendo preparada no laboratório.



Fonte: O autor.

Através do apoio da empresa Geofoma Engenharia também foram realizados os seguintes ensaios:

- Análise granulométrica (peneiramento e sedimentação);
- Limites de Atterberg;
- Massa específica real dos grãos “G”.

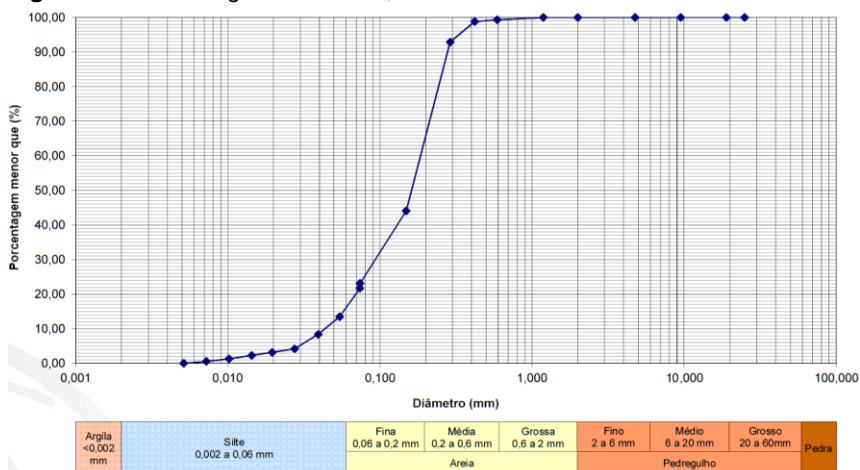
O resumo dos resultados é apresentado na Tabela 6.6 e o gráfico da análise granulométrica na Figura 6.19.

Tabela 6.6 - Resumo dos resultados da análise granulométrica, LL, LP e IP e densidade dos grãos.

Item	Valor
Pedregulho grosso (%)	0,00
Pedregulho médio (%)	0,00
Pedregulho fino (%)	0,02
Areia grossa	0,68
Areia média	34,30
Areia fina	49,00
Silte	16,00
Argila (%) (<0,002mm)	0,00
LL	NL
LP	NP
IP	-
Densidade dos grãos (G)	2,582

Fonte: GEOFORMA, 2016.

Figura 6.19 - Curva granulométrica, areia cinza escuro.



Fonte: GEOFORMA, 2016.

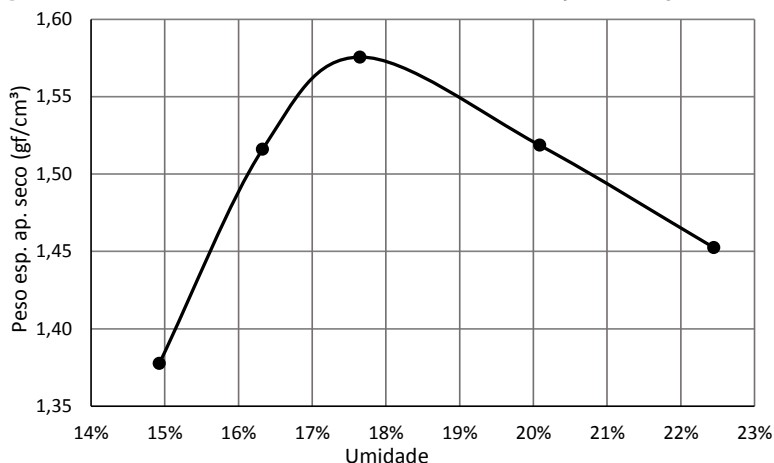
No laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC Joinville) foram realizados os ensaios de compactação dos materiais coletados. As Tabelas 6.7 e 6.8 e as Figuras 6.20 e 6.21 ilustram os resultados do ensaio de compactação da amostra de subleito na energia normal e modificada. Onde foi obtida uma umidade ótima de 17,6% e uma densidade máxima de 1,58 g/cm³ para o proctor normal e umidade ótima de 16,5% e densidade máxima de 1,70 g/cm³ para o proctor modificado.

Tabela 6.7 - Amostra do subleito: ensaio de compactação (energia normal).

Ponto	1	2	3	4	5
Vol (cm ³)	1996,042	1996,042	1996,042	1996,042	1996,042
Wsw (gf)	3160	3520	3700	3640	3550
n° Caps	5	11	24	18	21
Wcaps (gf)	7,57	7,64	7,43	7,17	7,27
Wcaps+sw (gf)	55,31	43,55	51,16	63,55	52
Wc+sd (gf)	49,11	38,51	44,6	54,12	43,8
γ nat (g/cm ³)	1,58	1,76	1,85	1,82	1,78
Teor de umidade	14,9%	16,3%	17,6%	20,1%	22,4%
γ d (g/cm ³)	1,38	1,52	1,58	1,52	1,45

Fonte: O autor.

Figura 6.20 - Amostra do subleito: curva de compactação (energia normal).



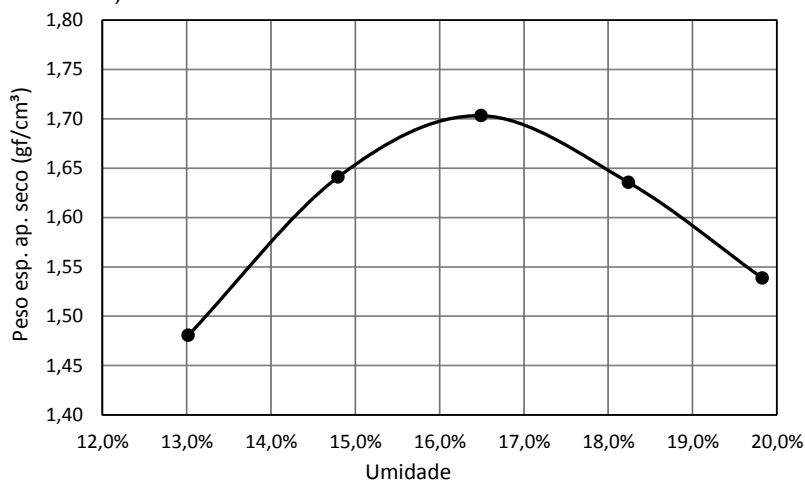
Fonte: O autor.

Tabela 6.8 - Amostra do subleito: ensaio de compactação (energia modificada).

Ponto	1	2	3	4	5
Vol (cm ³)	1996,042	1996,042	1996,042	1996,042	1996,042
Wsw (gf)	3340	3760	3960	3860	3680
n° Caps	1	2	3	4	5
Wcaps (gf)	7,65	7,64	7,16	7,53	7,26
Wcaps+sw (gf)	38,99	43,33	47	51,09	61,59
Wc+sd (gf)	35,38	38,73	41,36	44,37	52,6
γ nat (g/cm ³)	1,67	1,88	1,98	1,93	1,84
Teor de umidade	13,0%	14,8%	16,5%	18,2%	19,8%
γ d (g/cm ³)	1,48	1,64	1,70	1,64	1,54

Fonte: O autor.

Figura 6.21 - Amostra do subleito: curva de compactação (energia modificada).



Fonte: O autor.

Devido ao aspecto do solo (cor e textura) características de compactação (ensaio de compactação) foram estudadas alternativas para a melhora das características de suporte do mesmo, sendo adição de calcário calcítico, cal ou cimento. Uma das alternativas encontradas é a utilização de calcário. Em Botuverá/SC, a empresa Calcário Botuverá Mineração Rio do Ouro, explora uma fonte de

calcário e a comercializa. Foi então realizada a coleta de amostra de calcário calcítico para o estudo, a Figura 6.22 ilustra a mineração e a 6.23 a amostra coletada.

Figura 6.22 - Calcário Botuverá Mineração Rio do Outro (escritório).



Fonte: O autor.

Figura 6.23 - Coleta de amostra de calcário calcítico.



Fonte: O autor.

Foi realizado ensaio para verificação da resistência a compressão em Mpa, através da adição de calcário calcítico na mistura de solo e calcário, as Figura 6.24 e 6.25 mostram a amostra sendo preparada em laboratório.

Figura 6.24 - Preparação das amostras de mistura solo/calcário.



Fonte: O autor.

Figura 6.25 - Preparação das amostras de mistura solo/calcário.



Fonte: O autor.

As Figuras 6.26 e 6.27 mostram os corpos de prova das misturas que foram elaboradas com os teores de 3%, 5%, 7%, 8%, 9%, 11% e 13% de calcário calcítico.

Figura 6.26 - Moldagem dos corpos de prova para o ensaio.



Fonte: O autor.

Figura 6.27 - Corpos de prova da mistura solo/calcário com diferentes teores de calcário.



Fonte: O autor.

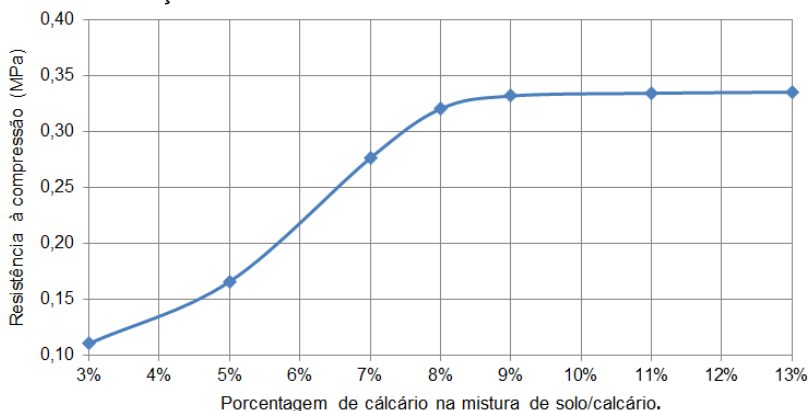
Foram realizados ensaios de compressão simples conforme a NBR 12770/1992 para verificação da resistência em MPa para cada teor de calcário. Para cada teor foram rompidos 3 corpos de prova. A Figura 6.28 ilustra o rompimento de uma das misturas e a 6.29 o gráfico com o resumo dos resultados.

Figura 6.28 - Rompimento de uma das misturas de solo/calcário.



Fonte: O autor.

Figura 6.29 - Resumo dos resultados do ensaio de compressão simples conforme a adição de calcário na mistura.



Fonte: O autor.

A mistura preparada e ensaiada em laboratório que apresentou o teor de aditivo com o melhor custo benefício é composta de solo natural do subleito com adição de 8% em peso de calcário calcítico, obtendo-se a umidade ótima de 17% e densidade

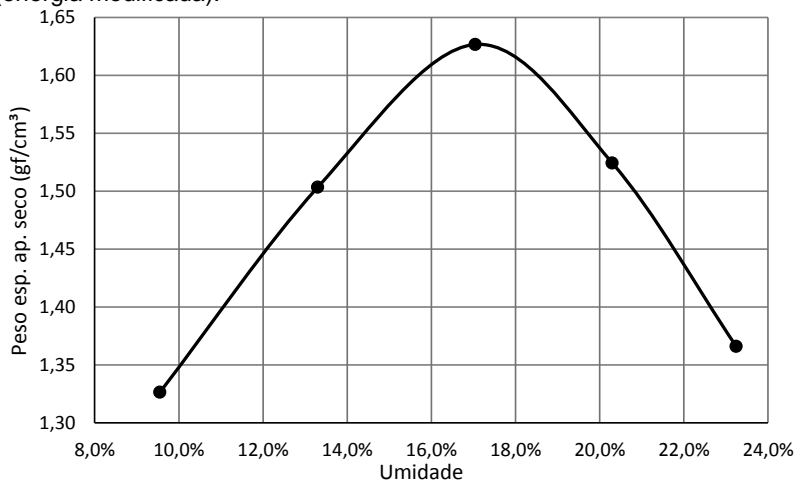
máxima de 1,63 g/cm³. Conforme se pode observar na Tabela 6.9 e Figura 6.30.

Tabela 6.9 - Amostra de solo tratado com calcário: ensaio de compactação (energia modificada).

Ponto	1	2	3	4	5
Vol. (cm ³)	1996,042	1996,042	1996,042	1996,042	1996,042
Wsw (gf)	2900	3400	3800	3660	3360
n° Caps	7	3	4	2	1
Wcaps (gf)	23,01	23,98	22,71	21,53	21,54
Wcaps+sw (gf)	114,45	116,14	109,87	99,22	98,52
Wc+sd (gf)	106,48	105,32	97,18	86,11	84
γ nat (g/cm ³)	1,45	1,70	1,90	1,83	1,68
Teor de umidade	9,5%	13,3%	17,0%	20,3%	23,2%
γ d (g/cm ³)	1,33	1,50	1,63	1,52	1,37

Fonte: O autor.

Figura 6.30 - Amostra de solo tratado com calcário: curva de compactação (energia modificada).



Fonte: O autor.

As amostras de solo foram ensaiadas em laboratório para definir o módulo de rigidez do subleito com solo natural e com solo

tratado com calcário calcítico. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo (USP). As Figuras 6.31 e 6.32 mostram algumas etapas do ensaio.

Figura 6.31 - Ensaio triaxial dinâmico.



Fonte: USP, 2016.

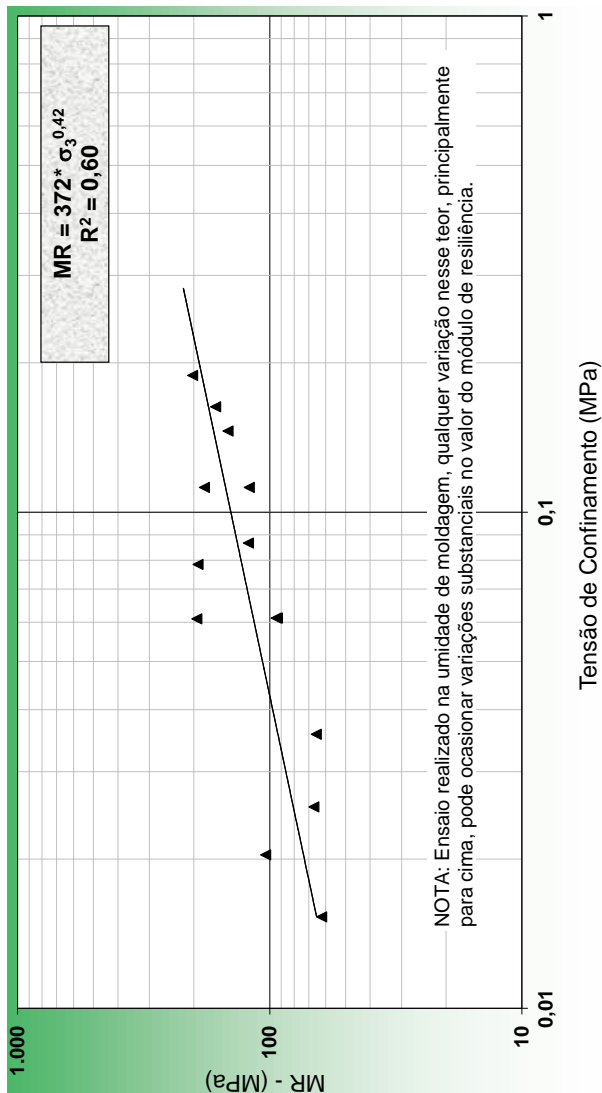
Figura 6.32 - Ensaio triaxial dinâmico.



Fonte: USP, 2016.

O resultado o ensaio triaxial dinâmico para determinação do módulo de rigidez do solo in natura, moldado na umidade de 16% e com massa específica aparente seca igual a $1,70 \text{ g/cm}^3$ é apresentado na Figura 6.33.

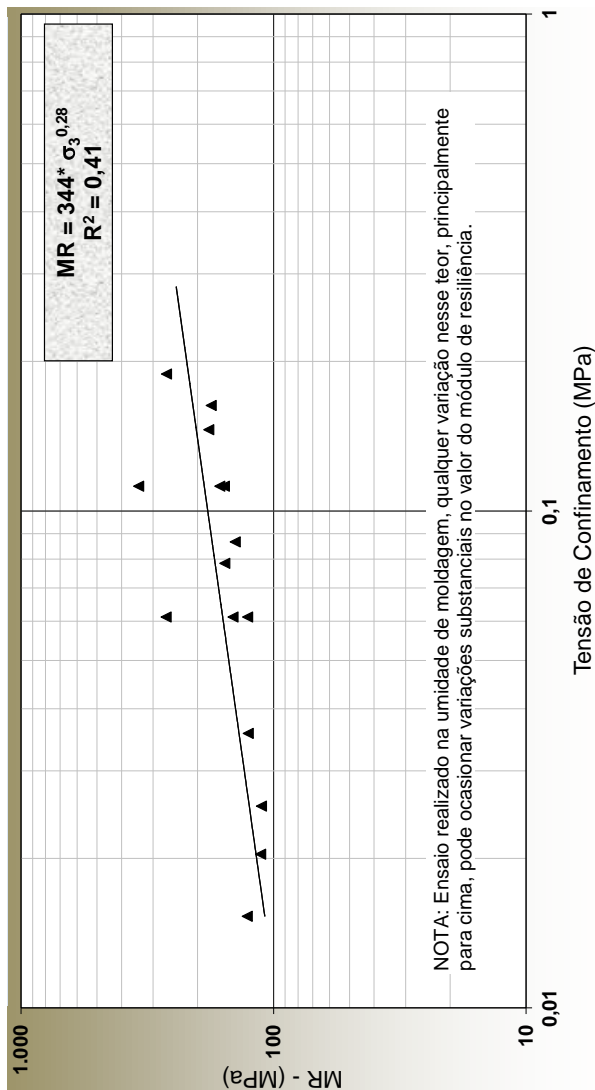
Figura 6.33 - Módulo de resiliência: solo in natura.



Fonte: USP, 2016.

O resultado o ensaio triaxial dinâmico para determinação do módulo de rigidez do solo tratado com adição de 8% de calcário calcítico, moldado na umidade de 17% e com massa específica aparente seca igual a 1,63 g/cm³ é apresentado na Figura 6.34.

Figura 6.34 - Módulo de resiliência: solo tratado com 8% de calcário.



Conforme mostram os resultados do ensaio triaxial dinâmico, foram obtidas as equações 6.1 (para solo natural) e 6.2 (para solo tratado com calcário) apresentadas na sequência.

$$Mr = 372 \times \sigma_3^{0,42} \quad (6.1)$$

$$Mr = 344 \times \sigma_3^{0,28} \quad (6.2)$$

Onde:

- Mr = módulo de resiliência;
- σ_3 = tensão de confinamento.

Para o dimensionamento do pavimento, foi realizada uma análise quanto às tensões atuantes na profundidade à qual as mesmas estarão dispostas. Foi utilizada a estrutura de pavimentação 01 como referência, que é detalhada no item 7.4.2 desta dissertação, para o solo natural foi considerada a profundidade de 1,47 m e para o solo tratado com calcário a profundidade de 0,47 m. Com o apoio da ferramenta *Viscoroute* foram obtidos os seguintes valores:

- $\sigma_3 = 0,016$ MPa (para o solo natural em $z = 1,47$ m);
- $\sigma_3 = 0,112$ MPa (para o solo tratado com calcário calcítico em $z = 0,47$ m).

Aplicando-se as equações dos resultados dos ensaios triaxiais obtêm-se os seguintes módulos de resiliência para os solos:

- $Mr = 65,50$ MPa ≈ 65 MPa (solo natural);
- $Mr = 186,35$ MPa ≈ 180 MPa (solo tratado com calcário).

Portanto estes foram os valores adotados para o dimensionamento da estrutura de pavimentação. O subleito natural se enquadra em uma PF-2 e com o tratamento do solo se enquadra em uma PF-3.

6.4 COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO

Para a definição da composição de tráfego à ser utilizado no dimensionamento foram seguidas as recomendações da DGAC (2014) e informações do estudo de definição locacional SC-Parcerias (2010).

Conforme diretrizes do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT, 2006) para determinação de tráfego de projeto se utilizam três componentes:

- Tráfego existente: movimentação que já existe no local;
- Tráfego gerado: movimentação nova em função da implantação do empreendimento;
- Tráfego desviado: movimentação adicional proveniente de empreendimentos próximos em função da implantação do empreendimento projetado.

Para esta situação de dimensionamento, foi adotado o mesmo princípio, porém o tráfego sendo composto apenas de duas componentes: tráfego gerado e tráfego desviado. Em razão de ser uma implantação nova não há tráfego existente.

Para o aeroporto industrial previsto, foi tomado como parâmetro de partida que 7,5% dos voos existentes nos aeroportos próximos: Florianópolis, Joinville e Navegantes, podem ser desviados para o aeroporto industrial, como forma de suporte e apoio às operações aeroportuárias existentes. As Tabelas 6.10, 6.11 e 6.12 mostram a movimentação destes aeroportos.

Tabela 6.10 - Composição dos voos do aeroporto de Joinville.

Voo	Cia	Aeronave	Horário	Destino	Freq
AD-9235	Azul	ATR 72	06:05	Campinas	6
AD-5012	Azul	ATR 72	06:55	Campinas	1
JJ-3032	Latam	Airbus A319	08:13	São Paulo	5
JJ-3092	Latam	Airbus A319	08:38	São Paulo	1
JJ-3485	Latam	Airbus A319	09:00	São Paulo	1
G3-1289	Gol	Boeing 737-800	10:08	São Paulo	6
AD-4367	Azul	ATR 72	10:20	Campinas	5
AD-6929	Azul	ATR 72	10:25	Campinas	1
JJ-3036	Latam	Airbus A319	14:03	São Paulo	6
JJ-3969	Latam	Airbus A319	14:25	São Paulo	1
AD-9265	Azul	ATR 72	15:30	Campinas	1
G3-1287	Gol	Boeing 737-700	15:40	São Paulo	1

G3-1293	Gol	Boeing 737-700	17:45	São Paulo	5
AD-4347	Azul	ATR 72	19:10	Campinas	6
JJ-3034	Latam	Airbus A319	19:13	São Paulo	6

Fonte: Infraero, 2016 (adaptado pelo autor).

Onde:

- Voo = Código do voo;
- Cia = Companhia aérea;
- Freq = Frequência semanal da operação.

Tabela 6.11 - Composição dos voos do aeroporto de Florianópolis.

Voo	Cia	Aeronave	Horário	Destino	Freq
JJ-3629	Latam	Airbus A320	04:58	Rio de Janeiro	1
JJ-3829	Latam	Airbus A320	05:43	Rio de Janeiro	6
JJ-3158	Latam	Airbus A320	05:45	São Paulo	5
G3-9250	Gol	Boeing 737-800	03:40	Buenos Aires	1
G3-1921	Gol	Boeing 737-800	06:00	Porto Alegre	6
JJ-3100	Latam	Airbus A320	06:05	São Paulo	7
AD-2787	Azul	Embraer 195	06:30	Campinas	6
G3-1243	Gol	Boeing 737-800	07:15	São Paulo	7
O6-6319	Avianca	Airbus A320	07:25	São Paulo	7
G3-1253	Gol	Boeing 737-700	07:48	São Paulo	6
O6-6160	Avianca	Airbus A320	07:55	Brasília	7
AD-4339	Azul	Embraer 195	08:10	Porto Alegre	2
JJ-3776	Latam	Airbus A319	08:15	São Paulo	1
AD-4963	Azul	Embraer 195	08:20	Porto Alegre	1
AD-9236	Azul	Embraer 195	09:00	São Paulo	5
AD-9236	Azul	Embraer 195	09:00	São Paulo	1
O6-6103	Avianca	Airbus A319	09:05	São Paulo	1
AD-4341	Azul	Embraer 195	09:12	Porto Alegre	3
G3-2139	Gol	Boeing 737-700	09:27	Rio de Janeiro	7
G3-1257	Gol	Boeing 737-800	09:40	São Paulo	7
AR-1271	Aerolíneas	Boeing 737-800	09:45	Buenos Aires	3
AD-5266	Azul	Embraer 195	09:45	Porto Alegre	1
G3-1245	Gol	Boeing 737-800	09:45	São Paulo	6
JJ-3268	Latam	Airbus A320	10:00	São Paulo	1
AD-5211	Azul	Embraer 195	10:05	Campinas	1

Voo	Cia	Aeronave	Horário	Destino	Freq
AD-4361	Azul	ATR 72	10:20	Chapecó	4
JJ-3112	Latam	Airbus A320	10:20	São Paulo	5
JJ-3102	Latam	Airbus A319	10:25	São Paulo	7
AD-9197	Azul	Embraer 195	11:05	Campinas	1
O6-6181	Avianca	Airbus A319	11:15	São Paulo	1
JJ-3410	Latam	Airbus A320	11:15	Rio de Janeiro	6
AD-4064	Azul	Embraer 195	11:18	Campinas	5
O6-6261	Avianca	Airbus A319	11:23	São Paulo	7
AD-4241	Azul	Airbus A320	11:50	São Paulo	1
G3-1247	Gol	Boeing 737-800	11:43	São Paulo	6
AD-5729	Azul	Embraer 190	12:10	São Paulo	6
G3-1259	Gol	Boeing 737-800	12:15	São Paulo	6
O6-6174	Avianca	Airbus A320	12:50	Chapecó	7
JJ-3184	Latam	Airbus A320	13:37	São Paulo	7
JJ-3997	Latam	Airbus A320	13:47	São Paulo	2
JJ-3114	Latam	Airbus A319	13:50	São Paulo	5
AD-4227	Azul	Embraer 195	14:05	Campinas	5
G3-7692	Gol	Boeing 737-800	14:25	Buenos Aires	1
AD-4173	Azul	Embraer 195	14:30	Campinas	1
AD-5761	Azul	Embraer 190	14:35	São Paulo	1
G3-7691	Gol	Boeing 737-800	14:50	Buenos Aires	6
G3-1261	Gol	Boeing 737-800	15:05	São Paulo	6
O6-9407	Avianca	Airbus A318	13:45	São Paulo	1
O6-9405	Avianca	Airbus A319	15:00	São Paulo	1
AR-1273	Aerolíneas	Boeing 737-800	15:40	Buenos Aires	7
O6-6175	Avianca	Airbus A320	15:42	São Paulo	7
AD-9201	Azul	Embraer 195	16:20	Porto Alegre	1
G3-1263	Gol	Boeing 737-700	16:15	São Paulo	1
AD-5749	Azul	Airbus A320	16:45	São Paulo	6
JJ-3104	Latam	Airbus A319	16:54	São Paulo	5
G3-1249	Gol	Boeing 737-700	16:55	São Paulo	6
JJ-3164	Latam	Airbus A320	16:55	São Paulo	1
AD-9075	Azul	Embraer 195	17:15	Porto Alegre	5
JJ-3874	Latam	Airbus A320	17:26	Brasília	7
AD-9245	Azul	Embraer 195	14:40	Campinas	1
AD-9247	Azul	Embraer 195	18:15	Campinas	1

Voo	Cia	Aeronave	Horário	Destino	Freq
G3-1251	Gol	Boeing 737-800	18:25	São Paulo	7
O6-6263	Avianca	Airbus A320	18:35	Rio de Janeiro	7
AD-5269	Azul	ATR 72	18:35	Foz do Iguaçu	3
G3-9257	Gol	Boeing 737-800	18:35	Buenos Aires	1
G3-1965	Gol	Boeing 737-800	18:43	São Paulo	6
JJ-3110	Latam	Airbus A320	19:16	São Paulo	6
AD-9269	Azul	Embraer 190	19:30	Porto Alegre	1
AD-6964	Azul	Embraer 195	20:00	Campinas	5
AD-9237	Azul	Embraer 195	20:45	Campinas	1
JJ-3414	Latam	Airbus A319	20:05	São Paulo	7
AD-5151	Azul	ATR 72	20:08	Passo Fundo	2
G3-2137	Gol	Boeing 737-800	20:15	Rio de Janeiro	6
G3-1929	Gol	Boeing 737-800	22:48	Porto Alegre	6
AD-9237	Azul	Embraer 195	21:37	Campinas	5
AR-1279	Aerolíneas	Boeing 737-800	21:55	Buenos Aires	7
G3-1929	Gol	Boeing 737-800	22:48	Porto Alegre	6
G3-1245	Gol	Boeing 737-800	22:55	Buenos Aires	1
AD-9150	Azul	Embraer 195	23:25	Porto Alegre	6
O6-6318	Avianca	Airbus A320	23:40	Chapecó	7

Fonte: Infraero, 2016 (adaptado pelo autor).

Tabela 6.12 - Composição dos voos do aeroporto de Navegantes.

Voo	Cia	Aeronave	Horário	Destino	Freq
G3-2151	Gol	Boeing 737-800	06:15	Rio de Janeiro	6
JJ-3303	Latam	Airbus A320	06:30	São Paulo	6
AD-4161	Azul	Embraer 190	07:00	Campinas	1
G3-1279	Gol	Boeing 737-700	07:10	São Paulo	6
AD-4115	Azul	Embraer 195	07:40	Campinas	6
JJ-3497	Latam	Airbus A320	08:45	São Paulo	1
JJ-3095	Latam	Airbus A319	08:50	São Paulo	6
AD-2988	Azul	ATR 72	09:10	Porto Alegre	1
AD-4494	Azul	Embraer 195	09:30	Porto Alegre	6
AD-4213	Azul	Embraer 195	10:05	Porto Alegre	1
G3-1281	Gol	Boeing 737-800	10:20	São Paulo	7
JJ-3493	Latam	Airbus A320	11:05	São Paulo	1
AD-4208	Azul	Embraer 195	11:10	Campinas	1

Voo	Cia	Aeronave	Horário	Destino	Freq
G3-1267	Gol	Boeing 737-700	11:40	São Paulo	6
AD-4231	Azul	Embraer 195	11:51	Campinas	5
AD-4105	Azul	Embraer 195	12:30	Campinas	1
G3-1283	Gol	Boeing 737-800	13:17	São Paulo	6
JJ-3120	Latam	Airbus A320	14:25	São Paulo	6
AD-2741	Azul	Embraer 195	15:00	Rio de Janeiro	1
AD-9218	Azul	Embraer 190	15:45	Porto Alegre	1
JJ-3941	Latam	Airbus A319	16:05	São Paulo	6
AD-2433	Azul	Embraer 190	16:15	Rio de Janeiro	5
AD-4988	Azul	Embraer 195	16:25	Campinas	1
AD-4270	Azul	Embraer 195	17:10	Campinas	5
JJ-3253	Latam	Airbus A320	17:52	São Paulo	1
AD-4268	Azul	Embraer 190	17:55	Campinas	1
G3-1269	Gol	Boeing 737-800	18:40	São Paulo	6
G3-9171	Gol	Boeing 737-800	19:00	Rio de Janeiro	6
G3-1285	Gol	Boeing 737-800	19:30	São Paulo	7
AD-4165	Azul	Embraer 195	19:45	Campinas	5
AD-5002	Azul	Embraer 195	20:05	Campinas	1
JJ-3042	Latam	Airbus A320	20:30	São Paulo	5
AD-6996	Azul	Embraer 195	21:45	Porto Alegre	6
AD-4164	Azul	Embraer 195	22:15	Porto Alegre	7

Fonte: Infraero, 2016.

Por se tratar da implantação de um complexo intermodal, com objetivo de exportação de matéria prima, foi realizada uma pesquisa para definir a taxa de crescimento do tráfego aéreo em função taxa de crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) de Santa Catarina dos últimos 10 anos, conforme mostra a Tabela 6.13.

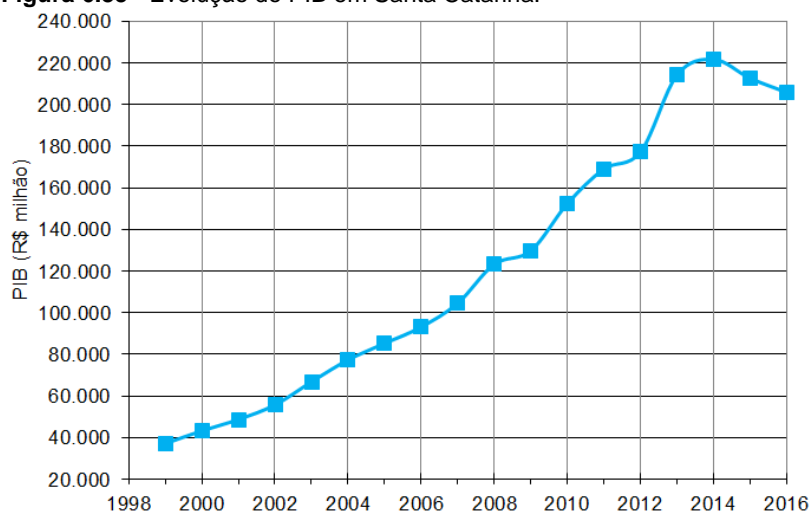
Tabela 6.13 - PIB de Santa Catarina entre 2007 e 2016.

Ano	PIB SC (R\$ milhão)
2007	104.622,95
2008	123.282,30
2009	129.806,26
2010	152.482,34
2011	169.049,53
2012	177.275,69
2013	214.217,27
2014	221.714,00
2015	212.624,00
2016 *	205.862,56

* Previsão conforme indicadores econômicos.

Fonte: FIESC, 2015.

Através de cálculo considerando a projeção logarítmica chega-se em uma taxa de crescimento de 8,63% ao ano (para os últimos 10 anos). Esta taxa será considerada a partir do ano de abertura ao tráfego no dimensionamento. Para fins de ilustração é apresentado na Figura 6.35 o crescimento do PIB de Santa Catarina dos últimos 15 anos.

Figura 6.35 - Evolução do PIB em Santa Catarina.

Fonte: FIESC, 2015 (adaptado pelo autor).

Conforme cita o estudo de definição locacional do complexo intermodal de Santa Catarina desenvolvido pela SC Parcerias, (2010) o aeroporto industrial que se pretende instalar estaria preparado para receber as aeronaves indicadas na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 - Aeronaves previstas no estudo locacional

Aeronave	Envergadura (m)	Peso MD (tf)
Airbus A380-800	80	560
Antonov An-124	73	600
Antonov an-225	88	640
Boeing 747-400	65	400

Fonte: SC-Parcerias, 2010.

O terminal portuário citado como referência no estudo de definição locacional da SC-Parcerias (2010) é o de Campinas. Neste aeroporto a Infraero reservou um pátio com capacidade para estacionar 11 aeronaves Boeing 747-400 lado a lado. Em média são 16 voos cargueiros diários, 111 semanais e 746 operações mensais. O aeroporto é referência do crescimento industrial da região da cidade de Campinas. O aeroporto está localizado em um dos mais importantes polos tecnológicos do país, que é servida por grandes de empresas de tecnologia de ponta. A Tabela 6.15 mostra a movimentação de passageiros e principalmente de cargas para os aeroportos de Campinas e Guarulhos.

Tabela 6.15 - Movimentação de passageiros e cargas nos aeroportos de Campinas (Viracopos) e Guarulhos (Cumbica).

Aeroporto	Período	Passageiros	Número de aeronaves	Carga (kg)
Campinas (Viracopos)	2012	4.276.486	57.238	129.252.099
	2013	4.540.598	60.428	119.095.100
	2014	4.755.365	64.094	106.790.900
Guarulhos (Cumbica)	2012	15.772.333	137.247	204.282.951
	2013	16.925.821	135.670	168.848.791
	2014	19.057.835	148.221	164.852.660
	2015	19.085.960	145.207	143.311.437

Fonte: FUNDACE, 2015 (adaptado pelo autor).

Tomando-se como referência o estudo desenvolvido pela SC Parcerias (2010) e os dados de movimentação de referência dos

aeroportos de Campinas e Guarulhos foi adotado como parâmetro de partida para o dimensionamento do cenário previsto nesta dissertação o tráfego gerado ilustrado na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 - Tráfego gerado (movimentos diários equivalentes)

Aeronave	Decolagens	Aterrisagens	Mov/Dia
Airbus A380-800	2	2	4
Boeing 747-400	2	2	4
Antonov An-124	1	1	2
Antonov An-225	1	1	2

Fonte: O autor.

Conforme já mencionado anteriormente o tráfego desviado será composto de uma parcela da movimentação dos aeroportos próximos, os dados estão dispostos na Tabela 6.17.

Tabela 6.17 - Tráfego desviado (movimentos diários equivalentes)

Aeronave	Decolagens	Aterrisagens	Mov/Dia
Boeing 737-700	0,157	0,157	0,314
Boeing 737-800	0,500	0,500	1,000
Embraer 190	0,057	0,057	0,114
Embraer 195	0,368	0,368	0,736
ATR 72-600	0,107	0,107	0,214
Airbus A320	0,439	0,439	0,879
Airbus A319	0,239	0,239	0,479
Airbus A318	0,004	0,004	0,007

Fonte: O autor.

Somando-se o tráfego gerado com o tráfego desviado obtém-se a configuração de movimentação para o primeiro ano de funcionamento conforme o exposto na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 - Tráfego total anual previsto no ano de abertura.

Aeronave	Decolagens	Aterrisagens	Total
Airbus A318	1,3	1,3	2,6
Airbus A319	87,3	87,3	174,7
Airbus A320-200	160,3	160,3	320,7
Airbus A380-800	730,0	730,0	1460,0
Antonov An-124	365,0	365,0	730,0
Antonov An-225	365,0	365,0	730,0
ATR 72-600	39,1	39,1	78,2
Boeing 737-700	57,4	57,4	114,7
Boeing 737-800	182,5	182,5	365,0
Boeing 747-400	730,0	730,0	1460,0
Embraer 190	20,9	20,9	41,7
Embraer 195	134,3	134,3	268,5

Fonte: O autor.

Aplicando-se a taxa de crescimento de 8,63% ao ano obtém-se o crescimento da movimentação de aeronaves conforme mostram as Tabelas 6.19 e 6.20.

Tabela 6.19 - Crescimento do tráfego para 10 anos (parte 1 de 2)

Ano	Embraer 190	Embraer 195	ATR 72 600	Boeing 737-700	Boeing 737-800	Boeing 747-400
1	20,9	134,3	39,1	57,4	182,5	730,0
2	22,7	145,9	42,5	62,3	198,2	793,0
3	24,6	158,4	46,1	67,7	215,4	861,4
4	26,7	172,1	50,1	73,5	233,9	935,8
5	29,0	187,0	54,5	79,9	254,1	1016,5
6	31,6	203,1	59,2	86,8	276,1	1104,3
7	34,3	220,6	64,3	94,3	299,9	1199,6
8	37,2	239,7	69,8	102,4	325,8	1303,1
9	40,4	260,4	75,8	111,2	353,9	1415,5
10	43,9	282,8	82,4	120,8	384,4	1537,7
Dec	311	2004	584	856	2724	10897
Ate	311	2004	584	856	2724	10897
Total	623	4008	1168	1712	5448	21794

Fonte: O autor.

Tabela 6.20 - Crescimento do tráfego para 10 anos (parte 2 de 2)

Ano	Airbus A318	Airbus A319	Airbus A320	Airbus A380	Antonov An-124	Antonov An-225
1	1,3	87,3	160,3	730,0	365,0	365,0
2	1,4	94,9	174,2	793,0	396,5	396,5
3	1,5	103,1	189,2	861,4	430,7	430,7
4	1,7	112,0	205,5	935,8	467,9	467,9
5	1,8	121,6	223,3	1016,5	508,3	508,3
6	2,0	132,1	242,5	1104,3	552,1	552,1
7	2,1	143,5	263,5	1199,6	599,8	599,8
8	2,3	155,9	286,2	1303,1	651,5	651,5
9	2,5	169,4	310,9	1415,5	707,8	707,8
10	2,7	184,0	337,7	1537,7	768,8	768,8
Dec	19	1304	2393	10897	5448	5448
Ate	19	1304	2393	10897	5448	5448
Total	39	2607	4787	21794	10897	10897

Fonte: O autor.

Onde:

- Dec = Total de decolagens;
- Ate = Total de aterrisagens.

A Tabela 6.21 mostra as principais características que devem ser levadas em conta no estudo da movimentação aeroportuária e, conseqüentemente, no dimensionamento do pavimento.

Tabela 6.21 - Componentes para cálculo do tráfego.

Aeronave	Peso de rolamento (Mrw) tf	Peso de aterrisagem (Mlw) tf	Nº de decolagens (anual)	Nº de aterrisagens (anual)	Tráfego Acumulado
Embraer 190	51,96	44,00	31,13	31,13	622,68
Embraer 195	52,45	45,80	200,42	200,42	4.008,49
ATR 72-500	22,70	22,35	58,38	58,38	1.167,52
Boeing 737-700	70,31	58,60	85,62	85,62	1.712,37
Boeing 737-800	79,24	66,36	272,42	272,42	5.448,44
Boeing 747-400	414,13	295,74	1.089,69	1.089,69	21.793,76
Airbus A318	68,40	57,50	1,95	1,95	38,92
Airbus A319	75,90	62,50	130,37	130,37	2.607,47
Airbus A320-200	73,90	64,50	239,34	239,34	4.786,84
Airbus A380-800	571,00	386,00	1.089,69	1.089,69	21.793,76
Antonov An-124	408,00	330,00	544,84	544,84	10.896,88
Antonov An-225	650,00	590,00	544,84	544,84	10.896,88

Fonte: O autor.

Conforme prevê a metodologia de dimensionamento, detalhada no tópico 5.4.5, foi aplicada a redução da lista de aeronaves. O cálculo é apresentado na Tabela 6.22.

Tabela 6.22 - Cálculo da redução da lista de aeronaves.

Aeronave	Pr_j	n_j	p_j	r_j
Embraer 190	11,90	623	0,73%	0,01%
Embraer 195	12,30	4.008	4,67%	0,09%
ATR 72-500	5,44	1.168	1,36%	0,00%
Boeing 737-700	16,12	1.712	2,00%	0,15%
Boeing 737-800	18,54	5.448	6,35%	0,98%
Boeing 747-400	24,23	21.794	25,41%	14,98%
Airbus A318	15,20	39	0,05%	0,00%
Airbus A319	17,34	2.607	3,04%	0,34%
Airbus A320-200	8,68	4.787	5,58%	0,02%
Airbus A380-800	26,93	21.794	25,41%	25,41%
Antonov An-124	18,69	10.897	12,70%	2,05%
Antonov An-225	21,40	10.897	12,70%	4,03%

Fonte: O autor.

Onde:

- Pr_j = carga da roda mais carregada da aeronave;
- n_j = número de passageiros da aeronave j ;
- p_j = porcentagem do tráfego acumulado em relação ao tráfego total;
- r_j = relação entre carga e número de passageiros;

$$p_j = \frac{n_j}{n_{total}} \quad (6.3)$$

$n_{total} = 85.774$, número de passageiros total de todas as aeronaves;

$$r_j = \left(\frac{Pr_j}{Pr_{max}} \right)^5 \cdot p_j \quad (6.4)$$

- $Pr_{max} = 26,93$ tf, carga da roda mais carregada de toda a composição de aeronaves;

Uma aeronave é considerada “aeronave de dimensionamento” quando $r_j \geq 1\%$, sendo assim as aeronaves: Boeing 747-400, Airbus A380, Antonov An-124 e Antonov An-225 são as aeronaves de projeto para fins de dimensionamento do

pavimento. Após a redução da lista de aeronaves o tráfego de projeto fica com a configuração apresentada na Tabela 6.23.

Tabela 6.23 - Configuração de tráfego para o dimensionamento.

	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400
Tráfego acumulado	21794	10897	10897	21794
Média anual	2179	1090	1090	2179
F(mvts/j)	5,97	2,99	2,99	5,97
Grupo	5	5	5	5
Classe de Tráfego	CT4	CT4	CT4	CT4

Fonte: O autor.

Onde:

- $F(\text{mvts/j})$ = frequência média diária de pousos e decolagens para os 10 anos do período de projeto.

Sendo a classe de tráfego da pista à ser dimensionada definida em função da maior classe de tráfego individual, a classe de tráfego do dimensionamento é:

- Tráfego = CT4;

6.5 TEMPERATURA EQUIVALENTE

Uma das condicionantes para o dimensionamento do pavimento aeroportuário é conhecimento das condições climáticas, sendo assim, foi realizada uma pesquisa à respeito das temperaturas existentes na região de projeto.

Conforme pesquisa realizada para a região norte de Santa Catarina, na base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia INMET (2016) obtém-se as temperaturas máximas diárias por mês entre 2007 e 2016 que são apresentadas na Tabela 6.24 e as temperaturas mínimas diárias por mês entre 2007 e 2016 que são apresentadas na Tabela 6.25.

Tabela 6.24 - Temperaturas máximas diárias por mês (entre 2007 e 2016).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2007	29,3	29,0	30,4	27,8	22,2	22,0	19,6	19,6	23,2	25,1	25,42	28,3
2008	28,0	29,0	28,6	26,2	24,5	21,0	22,9	22,2	21,8	23,2	24,5	27,1
2009	28,4	28,9	29,4	27,0	24,6	21,3	19,5	22,1	21,1	23,8	28,4	28,7
2010	29,6	30,7	28,7	25,8	23,2	21,8	21,1	20,4	22,0	23,5	25,9	27,4
2011	30,1	29,5	27,2	27,2	23,7	21,1	19,8	20,5	21,3	24,4	25,2	28,0
2012	28,5	30,1	29,3	26,3	24,8	21,9	21,1	23,0	23,6	25,0	27,1	29,7
2013	28,8	29,8	27,1	27,1	24,1	22,2	21,0	20,9	22,5	24,4	26,2	28,8
2014	30,9	31,2	29,1	26,7	24,0	21,9	21,7	23,0	23,5	26,0	27,2	28,9
2015	31,7	30,2	28,7	26,6	24,0	23,8	21,9	24,6	23,3	23,1	25,3	28,5
2016	29,9	30,4	29,1	28,8	22,3	19,0	20,7	22,4	23,4	24,2	26,4	28,6

Fonte: INMET, 2016 (adaptado pelo autor).

Tabela 6.25 - Temperaturas mínimas diárias por mês (entre 2007 e 2016).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2007	23,4	23,1	24,0	21,3	15,3	14,2	11,7	14,0	18,3	20,2	19,5	22,3
2008	22,7	22,4	22,3	19,0	14,9	13,4	15,6	16,3	15,2	19,0	20,2	21,3
2009	22,0	23,7	22,7	20,2	17,2	12,6	13,0	14,5	17,2	17,3	22,9	23,4
2010	24,1	24,7	22,5	19,8	17,5	14,5	15,0	13,8	17,2	17,2	19,5	21,8
2011	24,2	24,1	21,9	19,7	17,0	13,6	13,9	14,9	14,5	19,1	19,3	20,5
2012	22,4	24,4	21,3	19,9	17,2	15,0	13,3	17,2	16,8	20,0	21,0	23,9
2013	21,6	23,3	21,4	18,9	16,3	16,0	12,6	13,8	16,5	18,8	20,6	22,9
2014	24,0	24,8	22,4	20,8	17,2	16,0	15,0	14,4	18,2	20,1	21,5	23,0
2015	24,1	23,6	22,3	20,3	18,4	15,2	16,2	18,6	18,2	19,4	21,1	23,4
2016	24,0	24,8	22,3	23,1	16,1	11,5	13,3	14,7	15,9	19,2	19,9	22,0

Fonte: INMET, 2016 (adaptado pelo autor).

Conforme a norma para revestimentos asfálticos aeroportuários do STAC (2009) as condições climáticas são classificadas conforme mostra a Tabela 6.26.

Tabela 6.26 - Definição do tipo de clima.

		Média das temperaturas máximas diárias dos 2 meses mais quentes	
		$T^{\circ} \leq 27^{\circ} \text{C}$	$T^{\circ} > 27^{\circ} \text{C}$
Média das temperaturas mínimas diárias dos 2 meses mais frios	$T^{\circ} > 14^{\circ} \text{C}$	Tipo 4: Tropical	
	$0^{\circ} \text{C} \leq T^{\circ} < 14^{\circ} \text{C}$	Tipo 1: Oceânico	Tipo 2: Mediterrâneo
	$T^{\circ} < 0^{\circ} \text{C}$	Tipo 3: Continental ou de Montanhas	x

Fonte: STAC, 2009 (adaptado pelo autor).

Considerando os últimos 10 anos, obtém-se como média das temperaturas máximas diárias dos meses mais quentes (janeiro e fevereiro) o valor de 29,7°C. Para a média das temperaturas mínimas diárias dos meses mais frios (junho e julho) obtemos o valor de 14,1°C. Sendo assim o clima é classificado como tipo 4, tropical.

Conforme DGAC (2016) para o dimensionamento de pavimentos em ambientes com o clima tropical (tipo 4) é recomendada a utilização da temperatura equivalente de 25,0°C.

O nível de solicitação do pavimento, segundo o DGAC (2016) é dividido em grupos que são definidos em função da classe de tráfego e do tipo de clima dominante na região de projeto. A Tabela 6.27 mostra a classificação do nível de solicitação.

Tabela 6.27 - Classificação no nível de solicitação do pavimento em função da classe de tráfego e do tipo de clima.

Classe de Tráfego	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5
Oceânico					
Continental		NS1	NS2	NS3	
Mediterrâneo	NS1				NS4
Tropical		NS2	NS3	NS4	

Fonte: STAC, 2009 (adaptado pelo autor).

Sendo o clima tropical e a classe de tráfego CT4 o nível de solicitação será NS4.

6.6 MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

6.6.1 Camada de Transição com Granular não Tratado (GNT)

Para compor as camadas de pavimentação foram analisadas algumas alternativas, como: utilização de base apoiada diretamente no subleito (terreno natural), apoiada no subleito tratado ou utilização de uma camada de transição para melhoramento da plataforma de suporte.

Seguindo as recomendações da DGAC (2014) o material denominado granular não tratado (GNT) pode ser utilizado como plataforma de suporte ou como sub-base, diferindo apenas em alguns aspectos quanto a finalidade de utilização. Para esta dissertação o uso de GNT será para melhorar a capacidade de suporte do subleito, sendo assim utilizado na camada final da plataforma de fundação, que é chamada de camada de transição.

Conforme as recomendações do manual de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da diretoria de engenharia aeronáutica da França (2016) a camada de transição deve ser composta de GNT do tipo 01. As Tabelas 6.28 e 6.29 ilustram os requisitos necessários para o uso de granular não tratado (GNT) em camada de transição.

Tabela 6.28 - Características mínimas para uso de GNT em camada de transição por classe de tráfego conforme NF P 18-545.

Características mínimas	Classe de tráfego				
	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5
Granulometria	0/63	0/63	0/63	0/63	0/63
Resistencia mecânica	E	E	D ou E	D	D
Característica do agregado	IV	IV	III ou IV	III	III
Característica da areia	c	c	b ou c	b	b
Angularidade do agregado	4	4	2 ou 3	2	2

Fonte: DGAC, 2016 (adaptado pelo autor).

Lembrando que a classe de tráfego calculada para este dimensionamento é CT4.

Tabela 6.29 - Características mínimas do GNT para uso em camada de transição em pavimentos aeroportuários, conforme NF EN 13-285.

Características mínimas	
Código	GNT-1
Designação	0/63 mm
Teor de finos	UF12 e LF2
Dimensão máxima	OC ₈₀
Especificações de tempo	G _B

Fonte: DGAC, 2016 (adaptado pelo autor).

A Tabela 6.30 mostra os valores máximos de finos conforme a norma NF EN 13-285 (especificações para granulares não tratados) da Associação Francesa de Normatização (AFNOR, 2004). Sendo assim para a situação deste dimensionamento o teor máximo de finos deve ser menor ou igual a 12%.

Tabela 6.30 - Teor máximo de finos conforme NF EN 13-285.

% passante na peneira 0,063mm	Categoria
≤ 3	UF ₃
≤ 5	UF ₅
≤ 7	UF ₇
≤ 9	UF ₉
≤ 12	UF ₁₂
≤ 15	UF ₁₅
Sem especificação	UF _N

Fonte: AFNOR, 2004 (adaptado pelo autor).

A Tabela 6.31 mostra os valores mínimos de finos conforme a norma NF EN 13-285 (AFNOR, 2004). Sendo assim para a situação deste dimensionamento o teor mínimo de finos deve ser maior ou igual a 2%.

Tabela 6.31 - Teor mínimo de finos conforme NF EN 13-285.

% passante na peneira 0,063mm	Categoria
≥ 9	LF ₂
≥ 12	LF ₄
≥ 15	LF ₈
Sem especificação	LF _N

Fonte: AFNOR, 2004 (adaptado pelo autor).

A curva granulométrica do GNT tipo 01 para uso em camada de transição deve estar enquadrada nos limites indicados na norma NF EN 13-285 (ANFOR, 2004) conforme mostra a Tabela 6.32.

Tabela 6.32 - Especificação da curva granulométrica do GNT 1 categoria G_B conforme NF EN 13-285

Peneiras (mm)	Especificação		À ser declarado pela fonte	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
125	100	100	-	-
63	99	80	-	-
31,5	85	55	77	63
16	68	35	60	43
8	60	22	52	30
4	47	16	40	23
2	40	9	35	14
1	35	5	30	10
0,063	12	2	-	-

Fonte: AFNOR, 2004 (adaptado pelo autor).

Para esta pesquisa foi escolhida como fonte de material granular (brita) a pedreira Rudnick Minérios, situada em Joinville/SC que se localiza a aproximadamente 32 km do terreno objeto do estudo e a Figura 6.36 apresentada na sequência ilustra as instalações da mesma.

Conforme consulta ao fornecedor, a Rudnick Minérios explora rocha do tipo gnaiss e fornece brita, pedrisco, pó de pedra, brita graduada, brita corrida, rachão e blocos, com capacidade de produção de 100.000 tf/mês. Foram coletados materiais granulares

(brita) para realização de ensaios, a Figura 6.37 ilustra os materiais coletados.

Figura 6.36 - Instalações da Rudnick Minérios.



Fonte: www.rudnickminerios.com.br, 2016.

Figura 6.37 - Material coletado na Rudnick Minérios.



Fonte: O autor.

Foram realizados ensaios no laboratório da UFSC Joinville para verificação e comprovação das características dos materiais à serem utilizados como camada de transição na estrutura de pavimentação proposta. A Tabela 6.33 mostra o resultado do ensaio de abrasão *Los Angeles*, índice de forma e durabilidade.

O desgaste por abrasão após 1000 revoluções da máquina *Los Angeles* foi de 14,4%. A amostra foi ensaiada, de acordo com a norma ABNT NBR NM 51/2001, em consonância às especificações da norma ABNT NBR 5564/2011, e encontra-se abaixo do limite máximo admissível de desgaste, pois apresentou perda inferior a 50%, segundo as normas brasileiras.

Tabela 6.33 - Resultado dos ensaios de Los Angeles, índice de forma e durabilidade.

Ensaio	Resultado
Abrasão Los Angeles	14,4%
Índice de forma	0,70 (desvio padrão 0,15)
Durabilidade	9,02%

Fonte: UFSC Joinville, 2016.

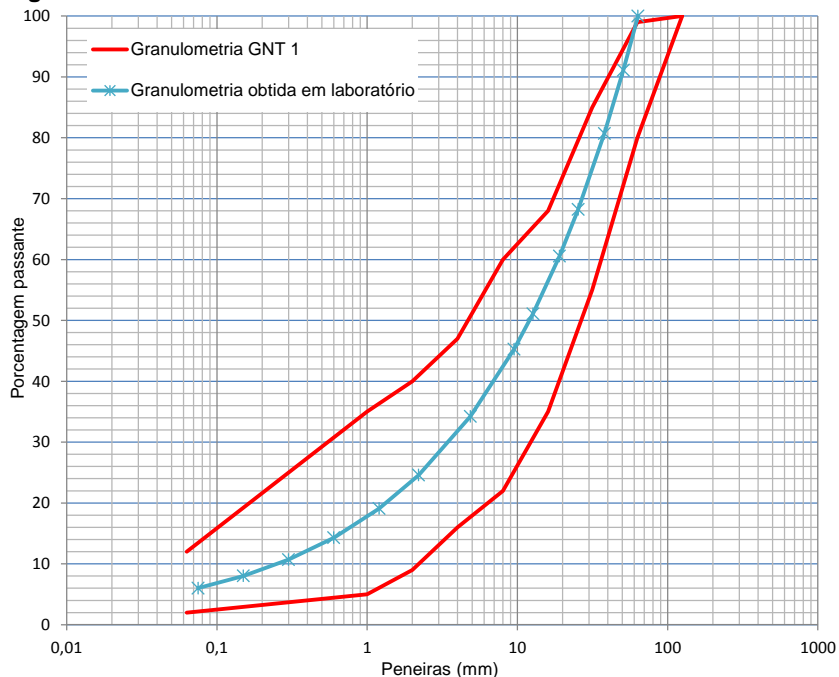
De acordo com os requisitos das normas francesas para uma GNT de classe 1, o desgaste por abrasão *Los Angeles* deve ser menor que 40%, portanto está de acordo também.

A Tabela 6.34 mostra a curva granulométrica obtida com o material coletado e Figura 6.38 o gráfico gerado, mostrando o intervalo granulométrico da norma NF EN 13-285 (ANFOR, 2014) e a curva granulométrica obtida em laboratório.

Tabela 6.34 - Granulometria obtida em laboratório.

Peneira (mm)	% Passante
63,5	100
50,8	91,1
38,0	80,7
25,4	68,2
19,1	60,6
12,7	51,1
9,5	45,3
4,86	34,2
2,2	24,6
1,2	19,1
0,6	14,3
0,3	10,7
0,15	8,0
0,075	6,0

Fonte: O autor.

Figura 6.38 - Granulometria GNT 1 versus obtida em laboratório.

Fonte: O autor.

Considerando a progressão de módulo utilizada na França para as camadas de GNT, demonstradas nas equações 6.5 e 6.6 cujos fatores foram retirados da Tabela 6.35, foi possível estimar o módulo do GNT a ser utilizado no dimensionamento.

$$E_{GNT}\{1\} = k \cdot E_{plataforma\ de\ fundação} \quad (6.5)$$

$$E_{GNT}\{sub_{camada\ i}\} = k \cdot E_{GNT}\{sub_{camada\ (i-1)}\} \quad (6.6)$$

Tabela 6.35 - Coeficiente k em função da categoria do GNT.

Categoria	1	2
k	3,0	2,5
Limite	600 MPa	400 MPa

Fonte: DGAC, 2014 (adaptado pelo autor).

Sendo assim, considerando o módulo da camada de transição de 180 MPa e o coeficiente 3,0, obtemos o módulo:

- Módulo do GNT = 540 MPa.

Sendo assim se obtém uma PF4, apoiada sob um subleito tratado de PF3 que por sua vez está apoiado em um subleito natural PF2.

6.6.2 Base com Mistura Asfáltica de Módulo Elevado

A metodologia francesa recomenda a utilização de grave betume (GB) ou mistura de módulo elevado (EME) para compor a camada de base de pavimentos aeroportuários (pista principal) e nível de solicitação NS4, conforme mostra a Tabela 6.36.

Tabela 6.36 - Materiais sugeridos para utilização em camada de base conforme a seção de projeto e nível de solicitação.

Seção		NS 1	NS 2	NS 3	NS 4
Área de estacionamento		GB 2	GB 2	-	-
Pista	Principal	GB 2	GB 2	GB 2 EME 1	GB 3 EME 2
	Área de giro	GB 2	GB 2	GB 3 EME 1	GB 3 EME 2
	Entrada e saída	GB 2	GB 2	GB 3 EME 1	GB 3 EME 2
	Pista deslocada	GB 2	GB 2	GB 3 EME 1	GB 3 EME 2
Vias de Circulação		GB 2	GB 2	GB 3 EME 1	GB 3 EME 2
Área de espera		GB 2	GB 2	GB 3 EME 1	GB 3 EME 2

Fonte: STAC, 2009 (adaptado pelo autor).

O setor aeronáutico francês recomenda fortemente a não utilização de camada granular não tratada em camada de base.

As misturas recomendadas são:

- GB (*Grave Bitume*): granular tratado com ligante asfáltico, que segundo LPC (2007), é uma mistura formada por agregados e ligante asfáltico de acordo com a NF EN 13108-1, formulada para ser aplicada em camadas de base ou fundação com espessuras entre 8 cm e 16 cm, e que podem ser classificadas em GB1, GB2 ou GB3 em função do teor de ligante;
- EME (*Enrobé à Module Elevé*): mistura asfáltica de módulo elevado, onde, segundo LPC (2007), é uma mistura de agregados e ligante asfáltico de acordo com a NF EN 13108-1, formulada para ser aplicada em camadas de base ou fundação com espessuras entre 6 cm e 8 cm para

EB10-EME, entre 7 cm e 13 cm para EME-EB14, entre 9 cm e 15 cm para EME-EB20. As misturas são classificadas em EME1 ou EME2 em função da sua resistência à fadiga.

A mistura asfáltica escolhida para a composição da camada de base e de ligação foi dosada e ensaiada pelo Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação GDPPav da UFSC através de um estudo desenvolvido com o apoio da Petrobrás e registrado sob o termo de cooperação 0050.0075479.12.9 e SAP nº4600373381 entre a UFSC e a PETROBRÁS. S.A. sob a coordenação do Prof. Dr. Leto Momm e do Prof. Dr. Breno Salgado Barra. As Figuras 6.39 e 6.40 ilustram as atividades do estudo.

Figura 6.39 - Compactação das misturas asfálticas.



Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.40 - Ensaio para determinação do módulo complexo.



Fonte: GDPPav, 2015.

Os materiais empregados na estrutura de pavimentação, assim como para as misturas asfálticas são provenientes de fontes nacionais de exploração e comercialização, sendo as suas dosagens e granulometria definida de acordo com ensaios

laboratoriais realizados de acordo com a metodologia francesa de dosagem de concretos asfálticos.

O estudo denominado: Caracterização do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Segundo Metodologias Francesas é composto de diversas misturas asfálticas. Sendo selecionada para este estudo:

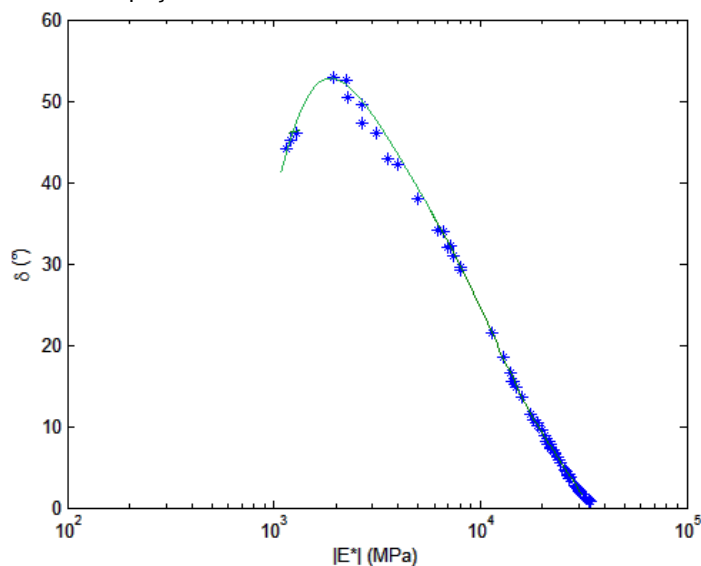
- Mistura asfáltica CAP 10/20 Convencional 15,9mm de módulo elevado.

Esta mistura asfáltica após a realização dos ensaios em laboratório apresentou resultados compatíveis com misturas do tipo *Enrobé à Module Elevé* de classe 2 (EME2), pois $\epsilon_6 \geq 130 \times 10^{-6} \mu\text{def}$, principalmente se forem levados em conta os valores de módulo de rigidez complexo ($|E^*|$) determinados a 15°C e 10Hz, que se encontram na ordem de 14.000MPa.

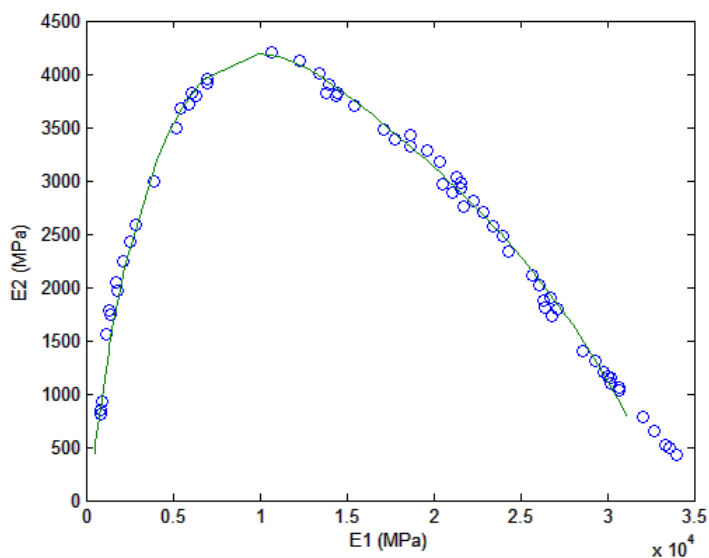
Conforme mostra GDPPav (2015) a mistura asfáltica CAP 10/20 Convencional (15,9 mm) foi testada nos ensaios de fadiga nas temperaturas de 10°C (em razão da norma francesa) e de 30°C, ambas a 25Hz, em função dos resultados dos ensaios de módulo complexo terem indicado a temperatura de 30°C como sendo a de maior dissipação de energia por atrito interno no domínio viscoso (componente E2 do Plano Cole-Cole do módulo complexo) de sollicitação, o que indica um comportamento à resistência por fadiga menos favorável que na condição normativa de ensaio a 10°C.

As mesmas misturas asfálticas ensaiadas no Brasil, incluindo a mistura asfáltica enquadrada com mistura de módulo elevado utilizada neste dimensionamento, foram posteriormente ensaiadas nos laboratórios da França, onde os resultados apresentados foram semelhantes, o que caracteriza a fidelização dos resultados (GDPPav, 2015).

Na sequência são apresentadas as informações da mistura asfáltica de módulo elevado (EME), desenvolvida pelo GDPPav (2015) e aplicadas neste dimensionamento, como: resultados de análise numérica pelo *Viscoanalyze*, ensaios de deformação permanente, dosagem de ligante, módulo complexo e fadiga do material.

Figura 6.41 - Espaço de Black da mistura asfáltica de módulo elevado.

Fonte: GDPPav, 2015.

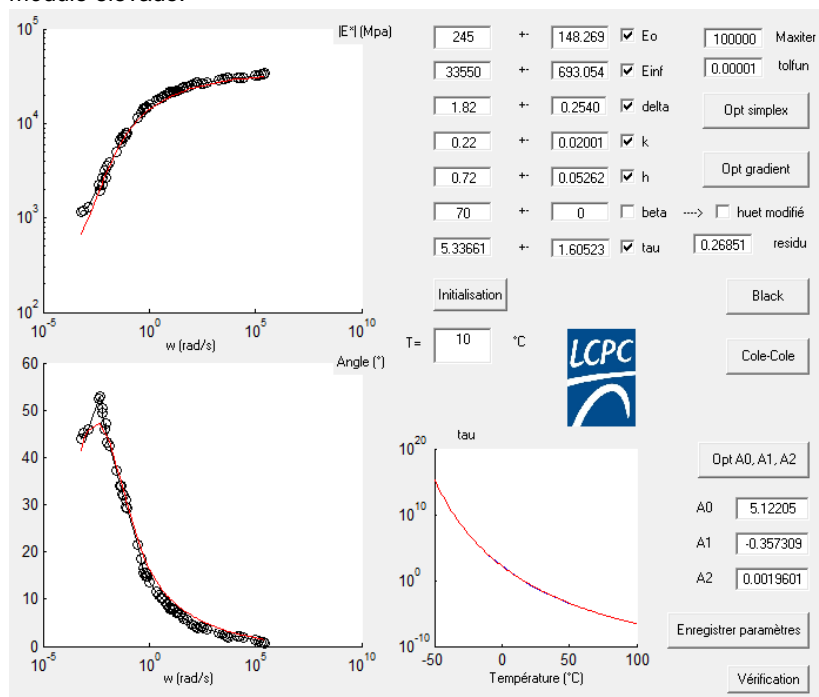
Figura 6.42 - Plano Cole Cole da mistura asfáltica de módulo elevado.

Fonte: GDPPav, 2015.

Conforme simulação numérica realizada pelo GDPPav (2015) na ferramenta de cálculo *Viscoanalyze*, ilustrada na Figura 6.43, referente a mistura asfáltica do estudo citado, foram extraídos os seguintes valores:

- $E_0 = 245$ MPa;
- $E_{inf} = 33.550$ MPa;
- Δ (delta) = 1,82;
- $k = 0,22$;
- $h = 0,72$;
- β (beta) = 70;
- $A_0 = 5,12205$ (coeficiente escalar);
- $A_1 = -0,357309$ (coeficiente escalar);
- $A_2 = 0,0019601$ (coeficiente escalar).

Figura 6.43 - Simulação numérica no *Viscoanalyze* da mistura asfáltica de módulo elevado.



Fonte: GDPPav, 2015.

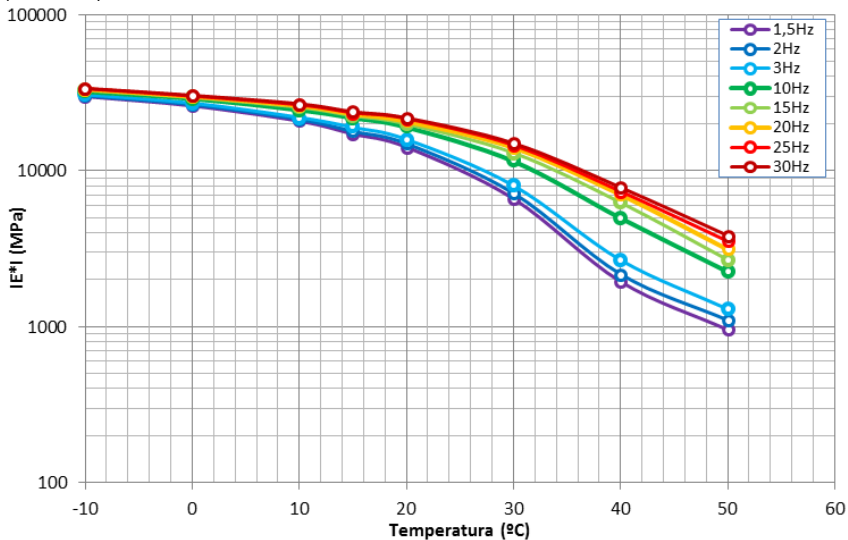
Tabela 6.37 - Resultados do ensaio de módulo complexo da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.

T°C	Freq.	E1	E2	E*	ϕ
-10	1,5	29820	1212	29845	2,33
-10	2	30176	1148	30198	2,18
-10	3	30651	1064	30669	1,99
-10	10	32043	785	32052	1,40
-10	15	32679	649	32685	1,14
-10	20	33177	552	33182	0,95
-10	25	33513	490	33516	0,84
-10	30	33698	425	33700	0,72
0	1,5	25927	1896	25997	4,18
0	2	26393	1823	26456	3,95
0	3	27023	1737	27079	3,68
0	10	28819	1407	28854	2,80
0	15	29379	1313	29408	2,56
0	20	29799	1227	29824	2,36
0	25	30032	1203	30056	2,29
0	30	30343	1122	30364	2,12
10	1,5	20542	2968	20755	8,22
10	2	21082	2889	21279	7,80
10	3	21753	2751	21926	7,21
10	10	24309	2341	24422	5,50
10	15	25344	2138	25434	4,82
10	20	25920	2010	25998	4,43
10	25	26326	1936	26397	4,21
10	30	26718	1862	26782	3,99
15	1,5	16821	3506	17183	11,77
15	2	17495	3433	17829	11,10
15	3	18635	3316	18928	10,09
15	10	21538	2926	21736	7,74
15	15	22295	2806	22471	7,17
15	20	22869	2701	23028	6,73
15	25	23356	2602	23500	6,36
15	30	23685	2534	23820	6,11
20	1,5	13569	3958	14135	16,26
20	2	14356	3896	14875	15,18

T°C	Freq.	E1	E2	E*	φ
20	3	15393	3787	15852	13,82
20	10	18637	3428	18950	10,42
20	15	19626	3288	19900	9,51
20	20	20396	3181	20642	8,86
20	25	21331	3033	21546	8,09
20	30	21554	2985	21760	7,88
30	1,5	5479	3676	6598	33,86
30	2	6055	3818	7158	32,23
30	3	6974	3951	8015	29,53
30	10	10672	4203	11470	21,50
30	15	12301	4166	12988	18,71
30	20	13397	4072	14002	16,90
30	25	13991	4005	14553	15,97
30	30	14451	3944	14980	15,27
40	1,5	1172	1548	1941	52,86
40	2	1378	1673	2167	50,52
40	3	1812	1960	2670	47,26
40	10	3838	3132	4954	39,22
40	15	5051	3668	6243	35,99
40	20	5838	3865	7002	33,50
40	25	6225	3938	7367	32,32
40	30	6693	4017	7806	30,97
50	1,5	687	664	955	44,04
50	2	761	794	1100	46,22
50	3	850	978	1296	49,02
50	10	1367	1781	2246	52,49
50	15	1742	2042	2684	49,54
50	20	2151	2262	3122	46,44
50	25	2517	2476	3531	44,53
50	30	2783	2640	3836	43,49

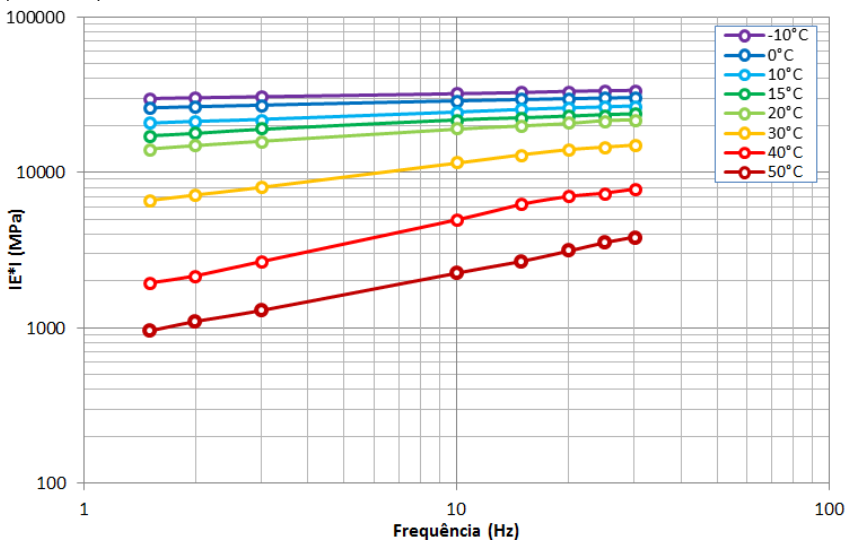
Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.44 - Curva isócrona do $|E^*|$ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.



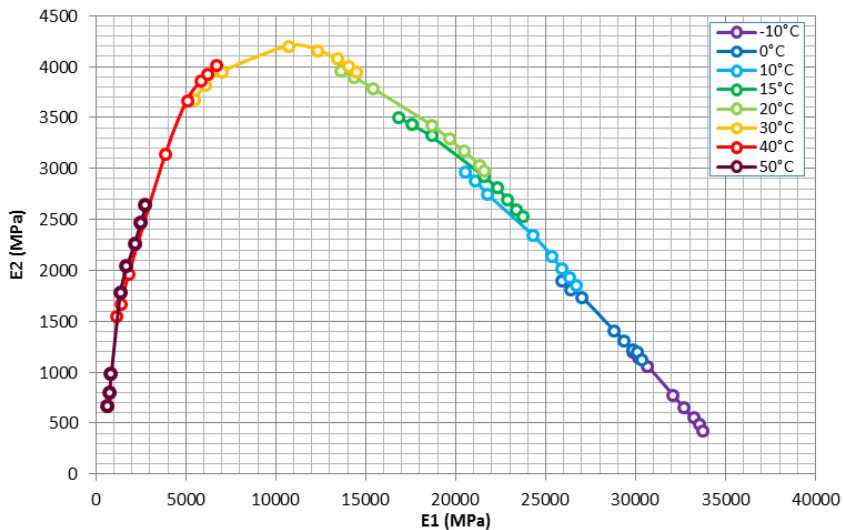
Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.45 - Curva isotérmica do $|E^*|$ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.



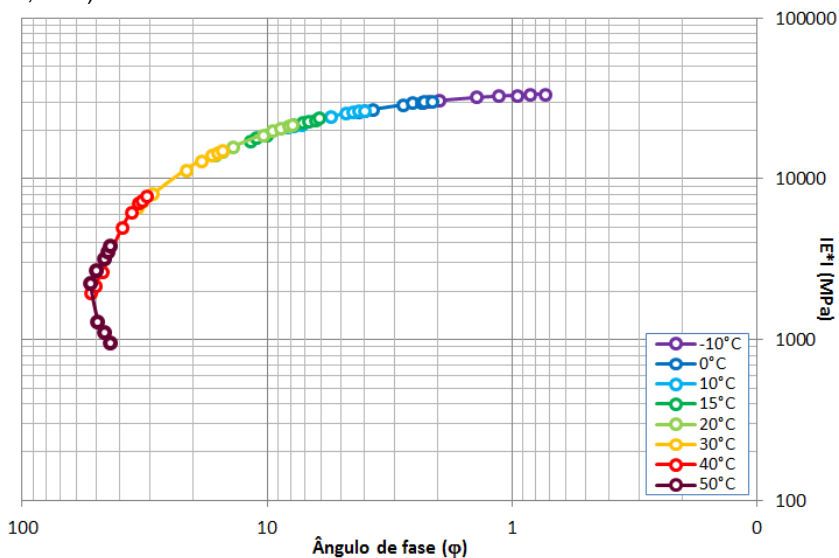
Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.46 - Plano Cole-Cole do $|E^*|$ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.



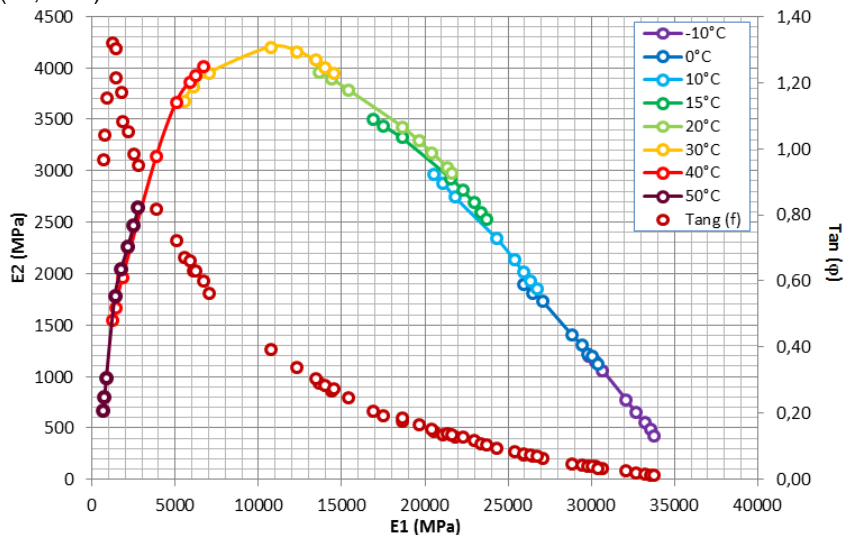
Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.47 - Espaço de Black do $|E^*|$ da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.



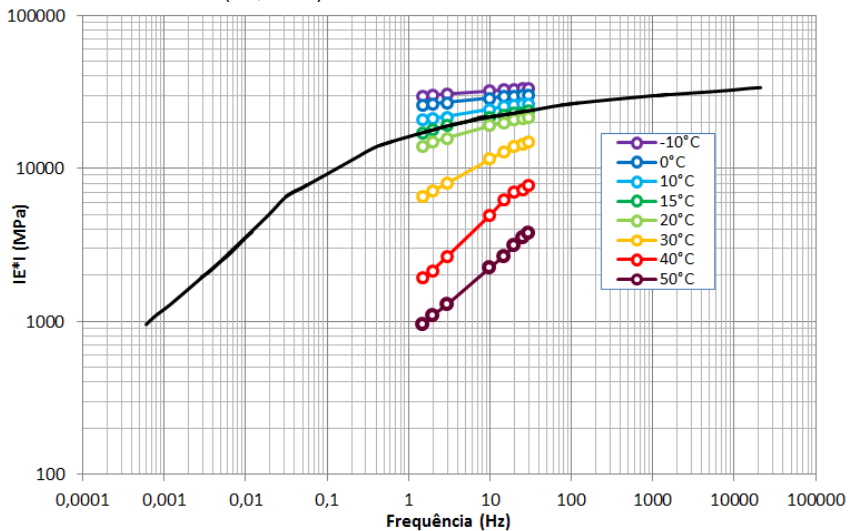
Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.48 - Função Damping da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.



Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.49 - Curva de equivalência frequência temperatura da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.



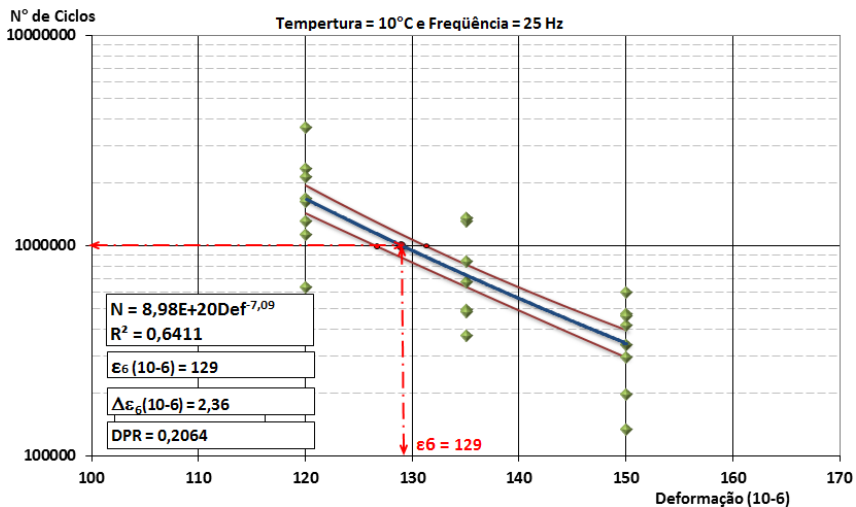
Fonte: GDPPav, 2015.

Tabela 6.38 - Resultados dos ensaios de fadiga da mistura CAP 10/20 Convencional (15,9mm) de módulo elevado.

Ensaio Realizado a 10°C/25Hz		Ensaio Realizado a 30°C/25Hz	
Deformação (x 10 ⁻⁶ μm)	Nº Ciclos	Deformação (x 10 ⁻⁶ μm)	Nº Ciclos
120	2322000	95	2118000
120	1672500	95	1896000
120	2133000	95	1149000
120	1315500	95	5338500
120	3675000	95	2851500
120	1615500	95	1593000
120	1129500	95	1840500
120	637500	95	6358500
135	847500	115	1002000
135	499500	115	1242000
135	1312500	115	867000
135	375000	115	544500
135	1359000	115	423000
135	483000	115	1257000
135	1350000	115	429000
135	676500	135	328500
150	600000	135	81000
150	418500	135	273000
150	339000	135	211500
150	196500	135	300000
150	133500	135	252000
150	477000	135	489000
150	462000	135	213000
150	295500	150	295500

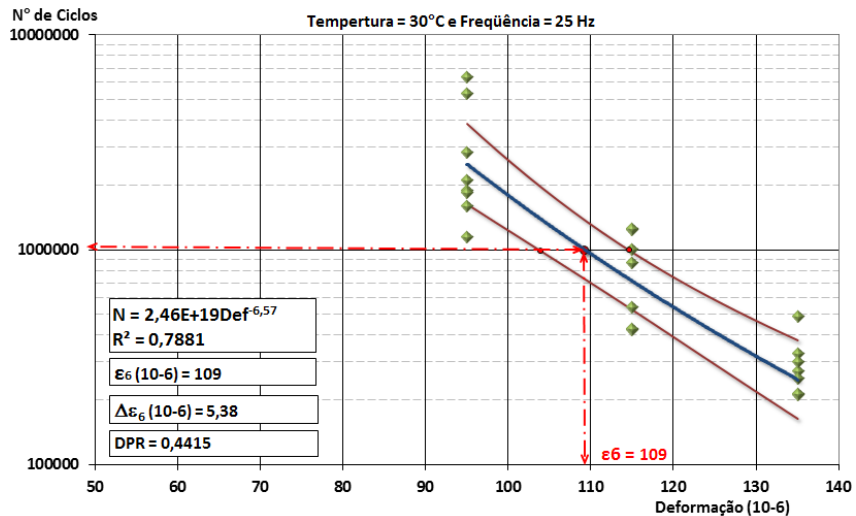
Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.50 - Gráfico do ensaio de fadiga realizado na temperatura 10°C e frequência de 25Hz.



Fonte: GDPPav, 2015.

Figura 6.51 - Gráfico do ensaio de fadiga realizado na temperatura 30°C e frequência 25Hz.



Fonte: GDPPav, 2015.

6.6.3 Revestimento com Mistura de Referência.

O tipo de revestimento asfáltico utilizado no dimensionamento segue conforme o indicado na norma francesa. Para este cenário foi considerado o revestimento composto de duas camadas, sendo:

- Camada de ligação;
- Camada de rolamento.

Para compor a camada de ligação foram seguidas as recomendações DGAC conforme a classe de tráfego e nível de solicitação em função do tipo de seção de pista ser dimensionada, conforme mostra a Tabela 6.39.

Tabela 6.39 - Materiais sugeridos para utilização na camada de ligação entre o revestimento e a base conforme a seção e nível de solicitação.

Seção	NS 1	NS 2	NS 3	NS 4
Área de estacionamento	BBM1 BBSG1	BBM3 BBSG1	-	-
Pista	Principal	BBM1 BBSG1	BBM2 BBSG1 BBME1	BBSG1 BBME1
	Área de giro	BBM1 BBSG1	BBM2 BBSG1	BBM3 BBSG1 BBME1
	Entrada e saída	BBM1 BBSG1	BBM2 BBSG1	BBM3 BBSG1 BBME1
	Pista deslocada	BBM1 BBSG1	BBM2 BBSG1	BBM3 BBSG1 BBME1
Vias de circulação	Principal	BBM1 BBSG1	BBM2 BBSG1 BBME1	BBSG1 BBME1
	Giros	BBM1 BBSG1	BBM2 BBSG1	BBM3 BBSG1 BBME1
Área de espera	BBM1 BBSG1	BBM2 BBSG1	BBM3 BBSG1 BBME1	BBSG2 BBME2

Fonte: STAC, 2009 (adaptado pelo autor).

Conforme DGAC (2014) para misturas asfálticas aeroportuárias, sendo o nível de solicitação NS4 e a seção de projeto “pista principal”, os materiais sugeridos são:

- BBSG-1 (*Béton Bitumineux Semi-Grenu*): concreto asfáltico semi granular, que conforme o LPC (2007), é uma mistura de agregados e ligante asfáltico de acordo com a NF EN 13108-1, caracterizada pelo alto teor de granulares, formulada para ser aplicada em camadas de rolamento ou ligação com uma espessura entre 5 cm e 9 cm. As misturas são classificadas pela sua resistência à deformação permanente são categorizadas em: BBSG-0, BBSG-1, BBSG-2 e BBSG-3;
- BBME-1 (*Béton Bitumineux à Module Elevé*): concreto asfáltico de módulo elevado, que se trata, conforme o LPC (2007), de uma mistura de agregados e ligante asfáltico de acordo com a NF EN 13108-1, caracterizada pelo alto valor de módulo em comparação à BBSG, formulada para ser aplicada em camadas de rolamento ou ligação com uma espessura entre 5 cm e 9 cm. As misturas são classificadas pela sua resistência à deformação permanente e valores de módulos, sendo separadas em três classes: BBME-1, BBME-2 e BBME-3.

Para este estudo será utilizada a segunda opção, ou seja, concreto asfáltico de módulo elevado, sendo assim é possível utilizar os mesmos parâmetros e resultados dos ensaios realizados no estudo pelo GDPPav, para a mistura asfáltica enquadrada como de módulo elevado.

Em resumo, para a camada de ligação BBME serão utilizadas as seguintes informações:

- Módulo de rigidez = 15.210 MPa (para temperatura de 25°C e frequência de 10 Hz);
- Coeficiente de *poisson* = 0,35.

Para a camada de rolamento também foram seguidas as recomendações da referida norma, que estabelece conforme mostra a Tabela 6.40 a sugestão de uso de capa de rolamento conforme o nível de solicitação e tipo de seção de projeto.

Tabela 6.40 - Materiais sugeridos para utilização na camada de rolamento conforme a seção e nível de solicitação.

Seção	NS 1	NS 2	NS 3	NS 4	
Área de estacionamento	BRA 2 ESU, ECF EP BBM1	BBA3, BBM2 BBME1 EP	-	-	
Pista	Principal	BBA 1 BBM A1 BBM B1 BBTM	BBA 1 BBM A2 BBTM	BBA 2	BBA 2
	Área de giro	BBA 1 BBM A1 BBM B1 BBTM	BBA 2 BBBME 1	BBME '2'	BBME 3
	Entrada e saída	BBA 1 BBM A1 BBM B1 BBTM	BBA 2 BBM A2	BBA 3 BBME 2	BBA 3
	Pista deslocada	BBA 1 BBM A1 BBM B1 BBTM	BBA 2 BBM A2	BBA 3	BBA 3
Vias de circulação	Principal	BBA 1 ECF BBM B2 BBTM	BBA 2 BBM B3 BBTM	BBA 2 BBME 1	BBA 3 BBME 2
	Giros	BBA 1 ECF BBM B2 BBTM	BBA 2 BBM B3	BBA 3 BBME 2	BBA 3 BBME 2
Área de espera	BBA 1 ECF BBM B2 BBTM	BBA 3 BBM B3	BBME 3	BBME 3	

Fonte: STAC, 2009 (adaptado pelo autor).

Sendo o nível de solicitação NS4 e a seção de projeto “pista principal”, o material sugerido é:

- BBA-2: Concreto asfáltico Aeronáutico 02.

Os dados para a simulação numérica foram extraídos da biblioteca de módulos de rigidez da ferramenta de cálculo *Alizé Aéronautique*. Em resumo, para a camada de rolamento BBA-2 serão utilizadas as seguintes informações:

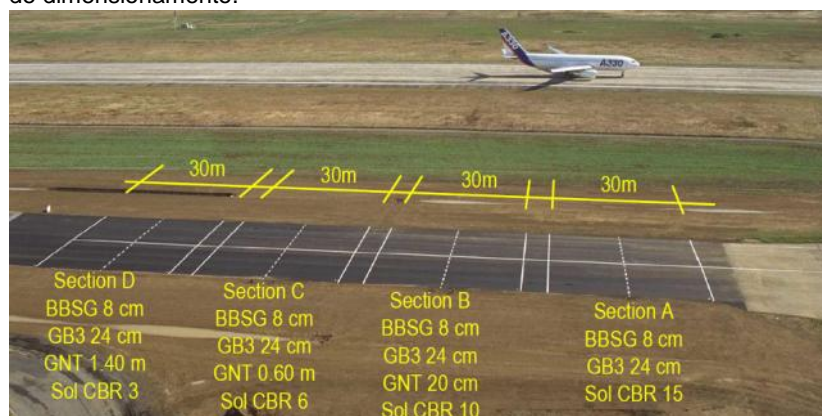
- Módulo de rigidez = 2.492 MPa (para temperatura de 25°C e frequência de 10 Hz);
- Coeficiente de *poisson* = 0,35.

7 SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO DIMENSIONAMENTO

Devido aos processos de cálculos da metodologia, o Serviço de Aviação Civil da França, *Service Technique de L'Aviation Civile*, (STAC) juntamente com o Instituto Francês de Ciências e Tecnologias dos Transportes, *Institute Français des Sciences et Technologies des Transports*, (IFSTTAR) elaboraram um software chamado “*Alizé-Aéronautique*” baseado em estudos realizados para pavimentos asfálticos aeroportuários durante 10 anos. A ferramenta de cálculo leva em conta modelos de cálculos que simulam as condições a que são impostos os pavimentos aeroportuários. A Figura 7.1 ilustra uma seção de teste em pista aeroportuária realizado durante a campanha de estudos para desenvolvimento da nova metodologia. Foi realizado contato com o instituto aeronáutico da França para obtenção da licença ou autorização de utilização da ferramenta de cálculo nesta pesquisa.

Figura 7.1 - Pista de teste para desenvolvimento da metodologia francesa de dimensionamento.



Fonte: STAC, 2016.

A ferramenta de cálculo foi oficialmente publicada em 2016 e a comunicação com o setor aeronáutico da França foi estabelecida, porém após tentativas de obtenção de uma licença gratuita para utilização nesta pesquisa não foi obtido êxito. O DGAC/STAC, que coordena as atividades relacionadas a infraestruturas aeroportuárias da França, informou que não existe a liberação gratuita. A licença é

comercializada a um alto valor em euros, o que foi inviável para a pesquisa, pois não há custeio para a obtenção da ferramenta de cálculo por parte da instituição.

Porém, foi disponibilizada pelo STAC uma versão demonstrativa do software *Alizé-Aéronautique* em novembro de 2016, nesta versão é possível ter acesso às informações da biblioteca de aeronaves e de misturas asfálticas. Possível também visualizar os alguns menus do software, porém nenhum cálculo é possível de ser realizado.

A ferramenta de cálculo *Viscoroute* é distribuída gratuitamente e realiza cálculos de tensão e deformação para um sistema de multicamadas considerando um comportamento elástico e/ou viscoelástico dos materiais.

O dimensionamento foi realizado com apoio do “*Viscoroute*” onde foi realizada uma adequação no formato de carregamento conforme os trens de pouso de aeronaves, para possibilitar a análise tridimensional em grelha de dados.

Juntando as informações sobre o subleito natural (análise geotécnica e determinação do módulo de resiliência), materiais asfálticos selecionados (mistura asfáltica concebida no Brasil) e composição de aeronaves (estudo de tráfego aéreo) iniciaram-se as simulações de dimensionamento.

Conforme já citado as características das aeronaves são importantes para as definições de projeto de pistas aeroportuárias. Como resultado do estudo de composição do tráfego as seguintes aeronaves fazem parte do dimensionamento:

- Airbus A380-800;
- Antonov An-124;
- Antonov An-225;
- Boeing 747-400.

A ferramenta de cálculo utilizada serviu para determinar as tensões e deformações atuantes no pavimento mediante a imposição das cargas aeroportuárias dentro do período de projeto.

Sendo assim, foi possível verificar os valores limites de danos acumulados em cada situação, como: deformação vertical no topo da plataforma de fundação e deformação transversal na fibra inferior da camada de material asfáltico (base). Para então definir a estrutura que melhor se adapta à realidade desta proposta.

Foram realizadas simulações numéricas para o dimensionamento de uma estrutura, onde foram calculados os danos individuais e acumulados produzidos pela passagem de cada aeronave de dimensionamento. A simulação partiu de uma estrutura

denominada “Estrutura A”, calculada considerando a elasticidade linear, onde ajustes nas espessuras foram realizados de forma a atender com economia e segurança os requisitos do dimensionamento, ou seja, um dano menor e próximo a 1,00.

Após oito simulações numéricas chegou-se a “Estrutura H”, que foi renomeada para “Estrutura 01” cujos resultados são apresentados adiante. Para verificar o limite de economia da obra foi simulada a estrutura 02 diminuindo 1,0 cm a espessura da camada de ligação, porém o dano foi maior que 1,0, sendo assim a estrutura 01 é a ideal para dimensionamento considerando o comportamento elástico linear.

Após a definição da estrutura adequada para a simulação, considerando a elasticidade linear, iniciaram-se as simulações considerando o comportamento viscoelástico linear, através das estruturas 03, 04, 05 e 06. A estrutura 03 foi simulada com as mesmas espessuras da estrutura 01, onde foi verificado que o dano foi maior que 1,0. Foram então, acrescidos 1,0 cm na camada de ligação e 1,0 cm na camada de base, criando-se a estrutura 04, onde o dano foi menor que 1,0, porém não próximo.

Na estrutura 05 foi retomada espessura inicial da camada de base, ou seja, 11,0 cm, porém mantendo a espessura de 8,0 cm para a camada de ligação, obtendo-se um dano inferior a 1,0.

Com a finalidade de verificar uma melhor condição de economia de obra foi simulada a estrutura 06, onde a espessura da camada de base foi diminuída em 0,5 cm, porém neste caso, o dano superou o limite de 1,0. Sendo assim a estrutura 05 é considerada a mais adequada para o dimensionamento considerando o comportamento viscoelástico linear.

As estruturas simuladas são apresentadas na Tabela 7.1 e os danos considerados limitadores do dimensionamento na Tabela 7.2.

Tabela 7.1 - Espessuras (em cm) das camadas das estruturas simuladas.

Estrutura	01	02	03	04	05	06
Revestimento	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Ligação	7,0	6,0	7,0	8,0	8,0	8,0
Base	11,0	11,0	11,0	12,0	11,0	10,5
Transição	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Solo tratado	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Total	147,0	146,0	147,0	149,0	148,0	147,5

Fonte: O autor.

Tabela 7.2 - Dano calculado na fibra inferior da camada asfáltica (considerando a variação transversal) para cada estrutura simulada.

Estrutura	01	02	03	04	05	06
Dano	0,97	1,06	1,11	0,67	0,86	1,01

Fonte: O autor.

As seqüências de cálculo para a obtenção dos valores de danos no pavimento são apresentadas na sequencia deste capítulo.

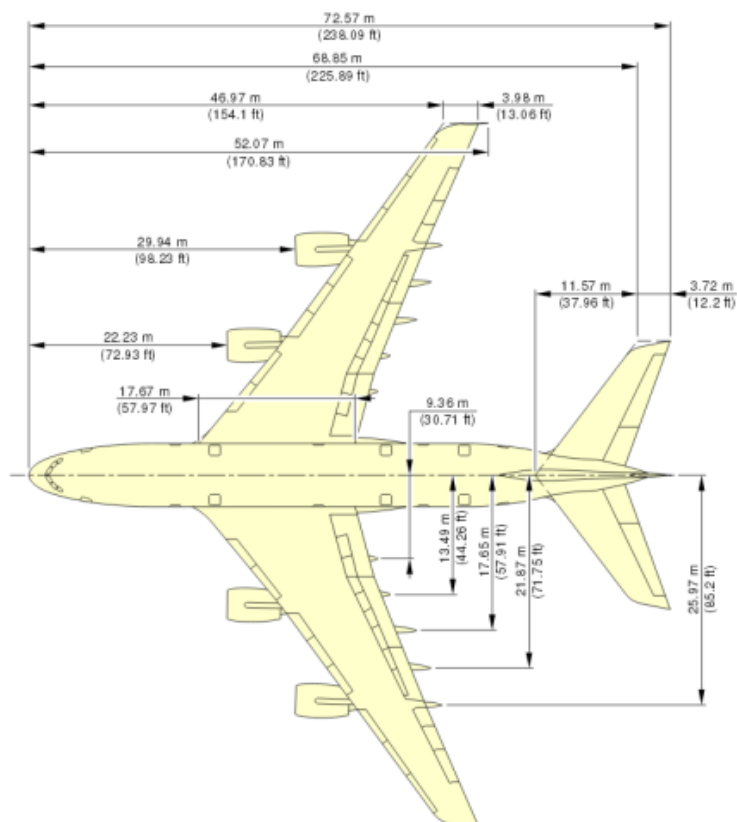
7.2 GEOMETRIA DOS TRENS DE POUSO

7.2.1 Considerações

Para obtenção dos dados necessários para o dimensionamento do pavimento relacionados à geometria dos trens de pouso, foi consultada a biblioteca de dados da ferramenta de cálculo *Alizé Aéronautique*.

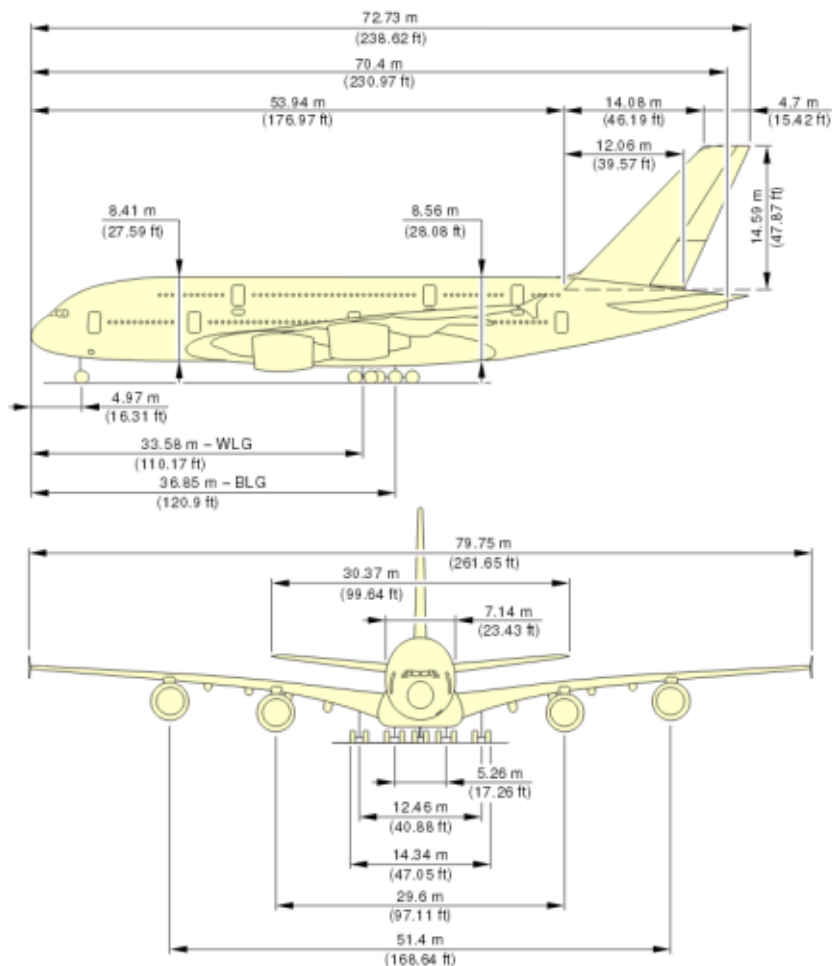
A título ilustrativo as Figuras 7.2 a 7.5 ilustram algumas configurações da aeronave Airbus A380-800, utilizada no dimensionamento do pavimento deste estudo, conforme informações do fabricante.

Figura 7.2 - Dimensões da aeronave Airbus A-380-800.



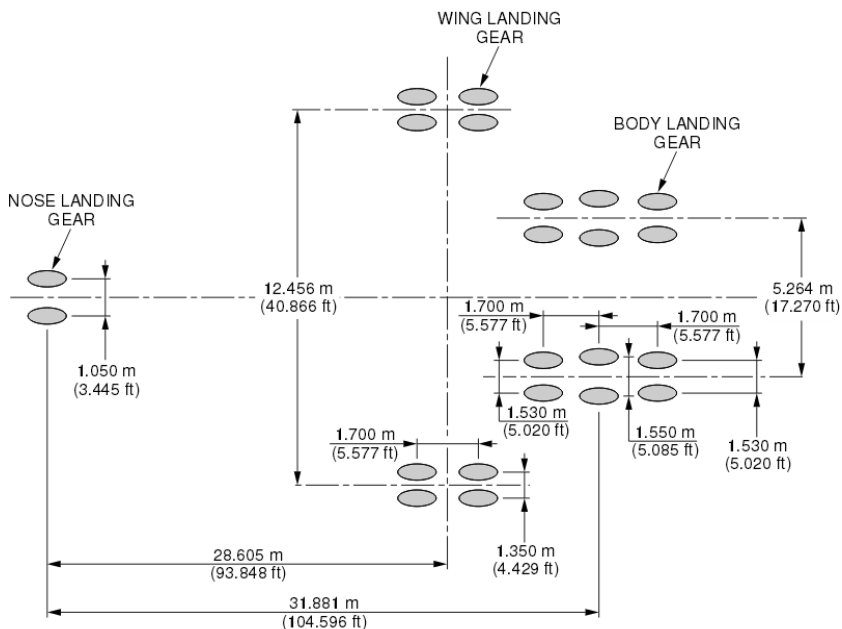
Fonte: AIRBUS, 2016.

Figura 7.3 - Dimensões da aeronave Airbus A-380-800.



Fonte: AIRBUS, 2016.

Figura 7.4 - Geometria dos trens de pouso da aeronave Airbus A-380-800.



Fonte: AIRBUS, 2016.

Figura 7.5 - Trens de pouso do Airbus A380-800.



Fonte: AIRBUS, 2016.

Em função da utilização da ferramenta de cálculo *Viscoroute* ao invés da utilização do *Alizé Aéronautique*, foi necessário realizar alguns ajustes na malha das aeronaves.

O *Alizé Aéronautique* considera o lançamento de todas as rodas da aeronave na malha tridimensional e realiza medições em intervalos de 5,0cm, já o *Viscoroute* não é capaz fazer uma leitura considerando distâncias tão grandes como as de uma aeronave e o intervalo de medições é de 19,6cm.

Sendo assim, à título de conferência de dados quanto aos resultados do lançamento da estrutura e trens de pouso no *Alizé Aéronautique* e no *Viscoroute*, foi realizado o cálculo de tensões e deformações ilustrado no exemplo da norma de dimensionamento de pavimentos aeroportuários, que foi realizado com a utilização do software *Alizé Aéronautique*. Os dados foram lançados e calculados no *Viscoroute* com as seguintes adaptações:

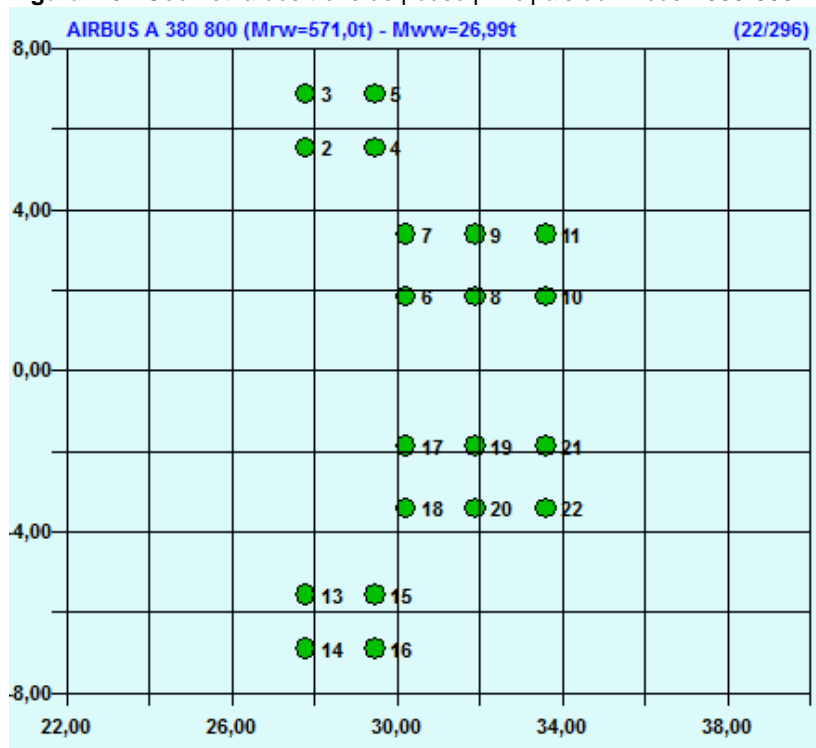
- Criação de um novo eixo, chamado de x' e y' , onde $x' = 0$ e $y' = 0$ são coincidentes com uma das rodas do trem de pouso principal;
- Cálculo de tensões e deformações em intervalos de 19,6 cm ao invés de 5,0 cm.

Os resultados de deformação da estrutura do exemplo da norma, calculados no *Viscoroute* apresentaram uma variação muito pequena, o que valida à utilização da referida ferramenta de cálculo.

7.2.2 Airbus A380-800

A aeronave Airbus A380-800 possui as configurações de trens de pouso expostas na Figura 7.6 e Tabelas 7.3 e 7.4, conforme informações coletadas nos manuais dos fabricantes e na biblioteca do *Alizé Aéronautique*.

Figura 7.6 - Geometria dos trens de pouso principais do Airbus A380-800.



Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016.

Tabela 7.3 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 01 do Airbus A380-800.

Roda	Carga (tf)	Carga (N)	Pressão	Área (m ²)	Raio (a,b)
2	26,99	264.663,94	1,5 MPa	0,176	0,237 m
3	26,99	264.663,94	1,5 MPa	0,176	0,237 m
4	26,99	264.663,94	1,5 MPa	0,176	0,237 m
5	26,99	264.663,94	1,5 MPa	0,176	0,237 m

Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Tabela 7.4 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 02 do Airbus A380-800.

Roda	Carga (tf)	Carga (N)	Pressão	Área (m ²)	Raio (a,b)
6	26,95	264.271,70	1,5 MPa	0,1762	0,2368 m
7	26,95	264.271,70	1,5 MPa	0,1762	0,2368 m
8	26,95	264.271,70	1,5 MPa	0,1762	0,2368 m
9	26,95	264.271,70	1,5 MPa	0,1762	0,2368 m
10	26,95	264.271,70	1,5 MPa	0,1762	0,2368 m
11	26,95	264.271,70	1,5 MPa	0,1762	0,2368 m

Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

As Tabelas 7.5 e 7.6, assim como as Figuras 7.7 à 7.9 mostram as coordenadas das rodas da aeronave no novo eixo (considerado no cálculo) em relação as coordenadas das rodas no eixo real.

Tabela 7.5 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 01 do Airbus A380-800.

Roda	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	x' (m)	y' (m)
2	27,756	5,553	27,756	5,553	0,000	0,000
3	27,756	6,903	27,756	5,553	0,000	1,350
4	29,456	5,553	27,756	5,553	1,700	0,000
5	29,456	6,903	27,756	5,553	1,700	1,350

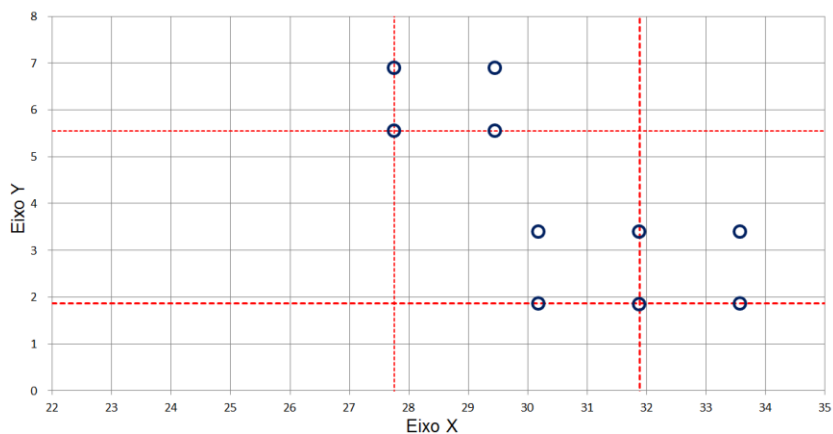
Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Tabela 7.6 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 02 do Airbus A380-800.

Roda	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	x' (m)	y' (m)
6	30,182	1,867	31,882	1,857	-1,700	0,010
7	30,182	3,397	31,882	1,857	-1,700	1,540
8	31,882	1,857	31,882	1,857	0,000	0,000
9	31,882	3,407	31,882	1,857	0,000	1,550
10	33,582	1,867	31,882	1,857	1,700	0,010
11	33,582	3,397	31,882	1,857	1,700	1,540

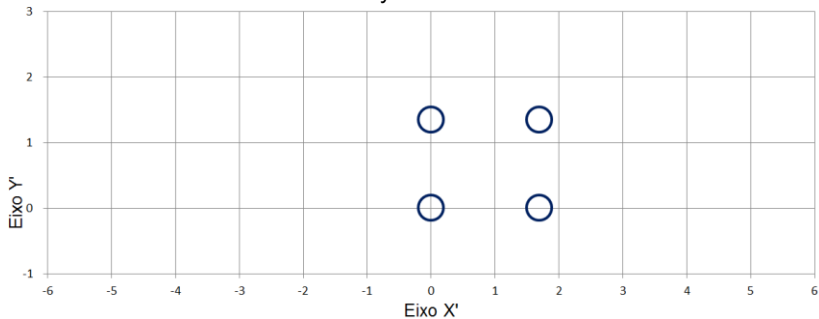
Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Figura 7.7 - Deslocamento das coordenadas das rodas dos dois trens de pouso principais da aeronave Airbus A380-800.



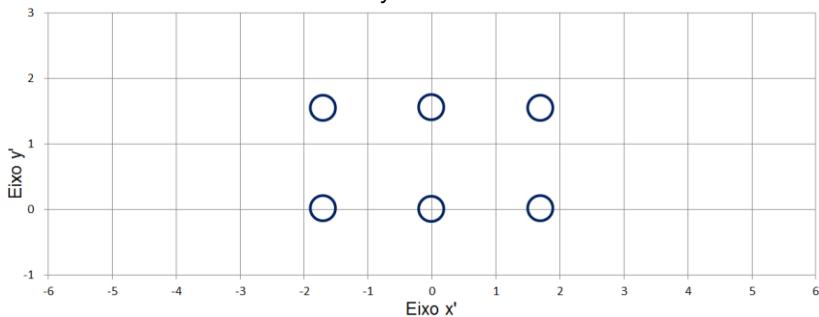
Fonte: O autor.

Figura 7.8 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal 01 do Airbus A380-800 no novo eixo x' e y' .



Fonte: O autor.

Figura 7.9 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal 02 do Airbus A380-800 no novo eixo x' e y' .

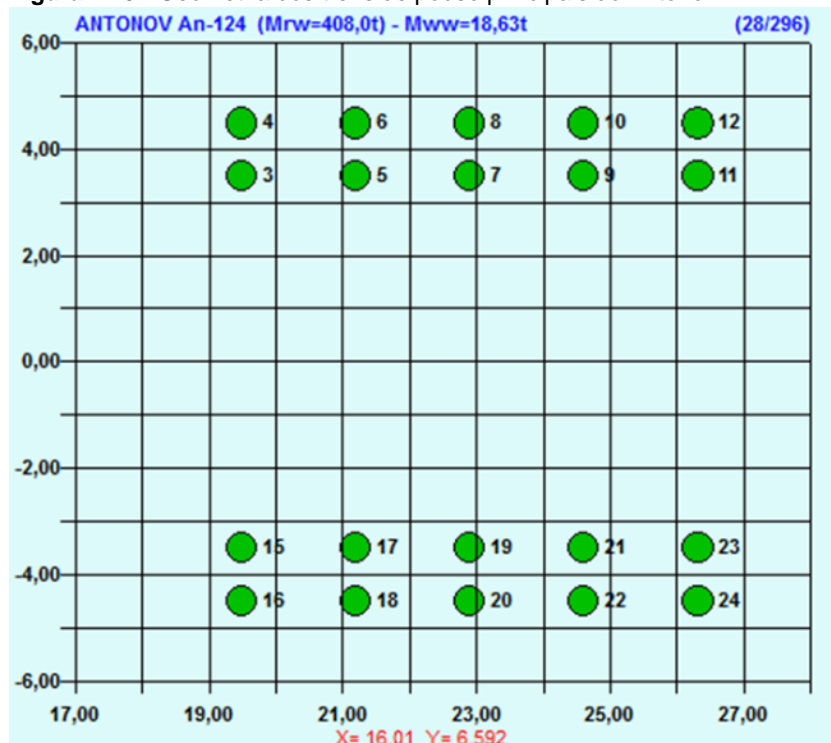


Fonte: O autor.

7.2.3 Antonov An-124

A aeronave Antonov An-124 possui as configurações de trens de pouso expostas na Figura 7.10 e Tabela 7.7, conforme informações coletadas nos manuais dos fabricantes e na biblioteca do *Alizé Aéronautique*.

Figura 7.10 - Geometria dos trens de pouso principais do Antonov An-124.



Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016.

Tabela 7.7 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-124.

Roda	Carga (tf)	Carga (N)	Pressão	Área (m ²)	Raio (a,b)
3	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
4	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
5	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
6	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
7	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
8	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
9	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
10	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
11	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222
12	18,63	182.685,78	1,18 MPa	0,155	0,222

Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

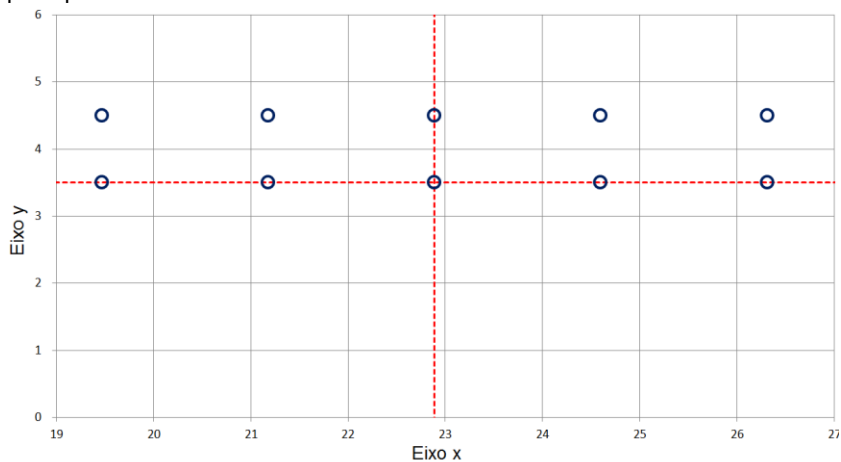
A Tabela 7.8, assim como as Figuras 7.11 e 7.12 mostram as coordenadas das rodas da aeronave no novo eixo (considerado no cálculo) em relação às coordenadas das rodas no eixo real.

Tabela 7.8 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-124.

Roda	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	x' (m)	y' (m)
3	19,469	3,503	22,889	3,503	-3,420	0,000
4	19,469	4,498	22,889	3,503	-3,420	0,995
5	21,179	3,503	22,889	3,503	-1,710	0,000
6	21,179	4,498	22,889	3,503	-1,710	0,995
7	22,889	3,503	22,889	3,503	0,000	0,000
8	22,889	4,498	22,889	3,503	0,000	0,995
9	24,599	3,503	22,889	3,503	1,710	0,000
10	24,599	4,498	22,889	3,503	1,710	0,995
11	26,309	3,503	22,889	3,503	3,420	0,000
12	26,309	4,498	22,889	3,503	3,420	0,995

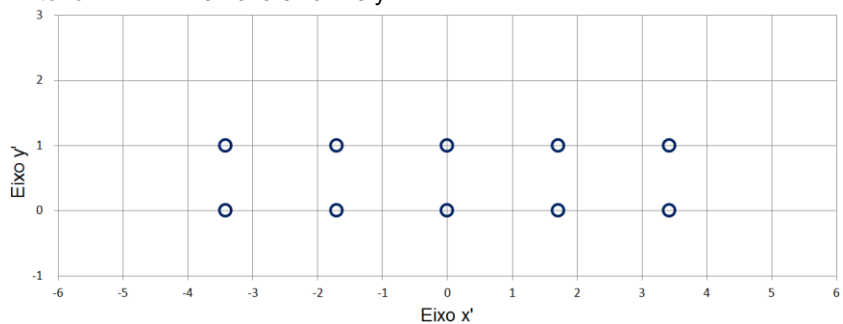
Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Figura 7.11 - Deslocamento das coordenadas das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-124.



Fonte: O autor.

Figura 7.12 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal do Antonov An-124 no novo eixo x' e y' .

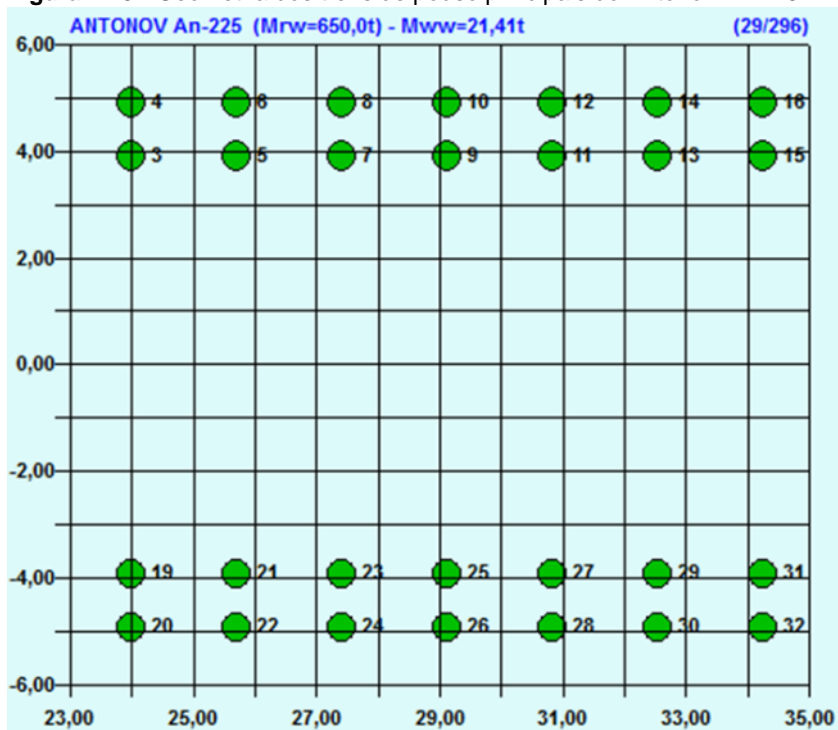


Fonte: O autor.

7.2.4 Antonov An-225

A aeronave Antonov An-225 possui as configurações de trens de pouso expostas na Figura 7.13 e Tabela 7.9 conforme informações coletadas nos manuais dos fabricantes e na biblioteca do *Alizé-Aéronautique*.

Figura 7.13 - Geometria dos trens de pouso principais do Antonov An-225.



Fonte: *Alizé-Aéronautique*, LCPC, 2016.

Tabela 7.9 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-225.

Roda	Carga (tf)	Carga (N)	Pressão	Área (m ²)	Raio (a,b)
3	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
4	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
5	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
6	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
7	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
8	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
9	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
10	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
11	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
12	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
13	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
14	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
15	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233
16	21,41	209946,46	1,23 MPa	0,171	0,233

Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

A Tabela 7.10, assim como as Figuras 7.14 e 7.15 mostram as coordenadas das rodas da aeronave no novo eixo (considerado no cálculo) em relação as coordenadas das rodas no eixo real.

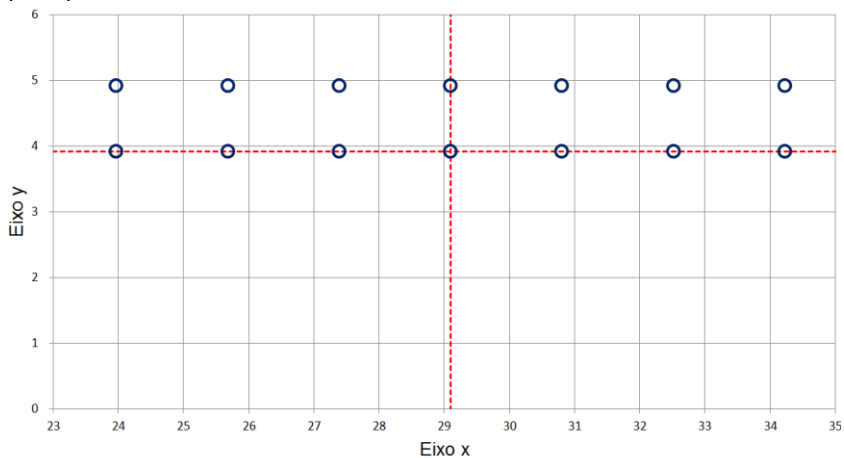
Tabela 7.10 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal do Antonov An-225.

Roda	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	x' (m)	y' (m)
3	23,970	3,920	29,100	3,920	-5,130	0,000
4	23,970	4,920	29,100	3,920	-5,130	1,000
5	25,680	3,920	29,100	3,920	-3,420	0,000
6	25,680	4,920	29,100	3,920	-3,420	1,000
7	27,390	3,920	29,100	3,920	-1,710	0,000
8	27,390	4,920	29,100	3,920	-1,710	1,000
9	29,100	3,920	29,100	3,920	0,000	0,000
10	29,100	4,920	29,100	3,920	0,000	1,000

Roda	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	x' (m)	y' (m)
11	30,810	3,920	29,100	3,920	1,710	0,000
12	30,810	4,920	29,100	3,920	1,710	1,000
13	32,520	3,920	29,100	3,920	3,420	0,000
14	32,520	4,920	29,100	3,920	3,420	1,000
15	34,230	3,920	29,100	3,920	5,130	0,000
16	34,230	4,920	29,100	3,920	5,130	1,000

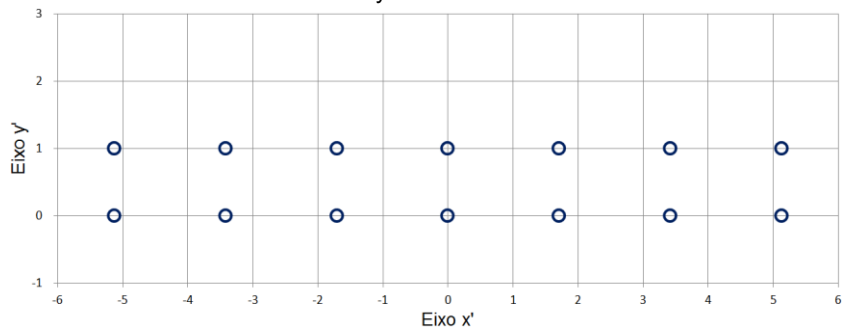
Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Figura 7.14 - Deslocamento das coordenadas das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-225.



Fonte: O autor.

Figura 7.15 - Coordenadas das rodas do trem de pouso principal do Antonov An-225 no novo eixo x' e y' .

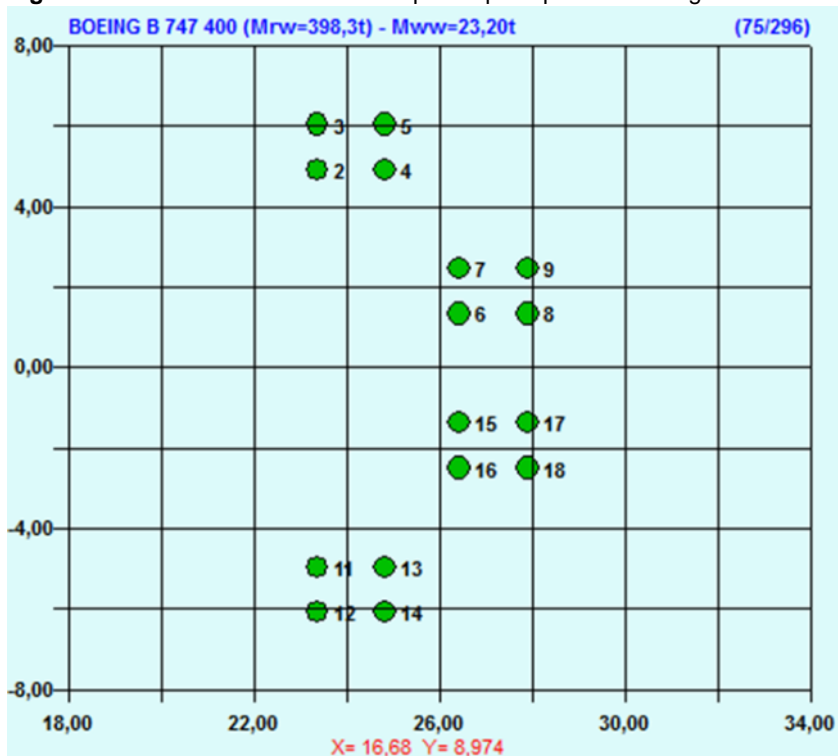


Fonte: O autor.

7.2.5 Boeing 747-400

A aeronave Airbus A380-800 possui as configurações de trens de pouso expostas na Figura 7.16 e Tabelas 7.11 e 7.12, conforme informações coletadas nos manuais dos fabricantes e na biblioteca do *Alizé-Aéronautique*.

Figura 7.16 - Geometria dos trens de pouso principais do Boeing 747-400



Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016.

Tabela 7.11 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 01 do Boeing 747-400.

Roda	Carga (tf)	Carga (N)	Pressão	Área (m ²)	Raio (a,b)
2	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229
3	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229
4	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229
5	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229

Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Tabela 7.12 - Carga, pressão e área de contato dos pneus do trem de pouso principal 02 do Boeing 747-400.

Roda	Carga (tf)	Carga (N)	Pressão	Área (m ²)	Raio (a,b)
6	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229
7	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229
8	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229
9	23,20	227499,20	1,38 MPa	0,165	0,229

Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

As Tabelas 7.13 e 7.14, assim como as Figuras 7.17 e 7.18 mostram as coordenadas das rodas da aeronave no novo eixo (considerado no cálculo) em relação as coordenadas das rodas no eixo real.

Tabela 7.13 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 01 do Boeing 747-400.

Roda	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	x' (m)	y' (m)
2	23,335	4,940	23,335	4,940	0,000	0,000
3	23,335	6,060	23,335	4,940	0,000	1,120
4	24,805	4,940	23,335	4,940	1,470	0,000
5	24,805	6,060	23,335	4,940	1,470	1,120

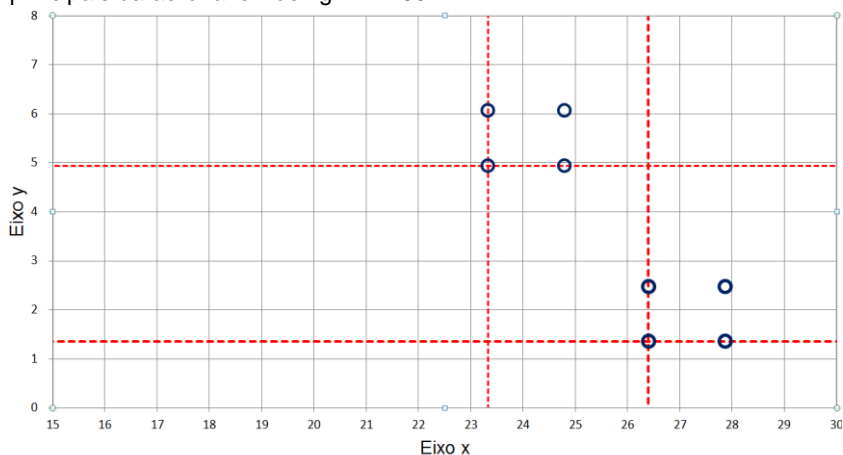
Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Tabela 7.14 - Posicionamento geométrico dos pneus do trem de pouso principal 02 do Boeing 747-400.

Roda	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	x' (m)	y' (m)
6	26,405	1,360	26,405	1,360	0,000	0,000
7	26,405	2,480	26,405	1,360	0,000	1,120
8	27,875	1,360	26,405	1,360	1,470	0,000
9	27,875	2,480	26,405	1,360	1,470	1,120

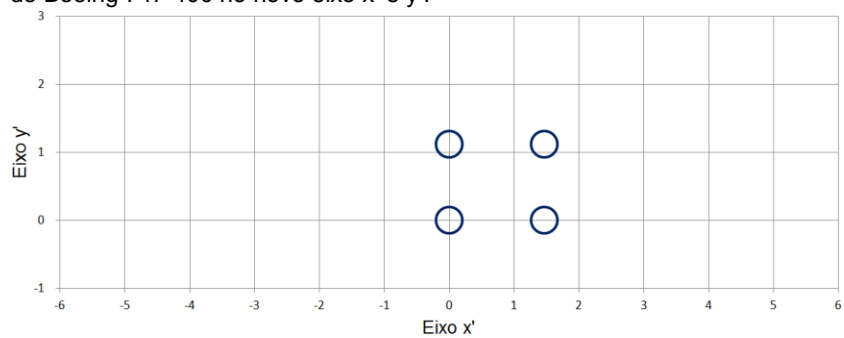
Fonte: *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR, 2016 (adaptado pelo autor).

Figura 7.17 - Deslocamento das coordenadas das rodas dos trens de pouso principais da aeronave Boeing 747-400.



Fonte: O autor.

Figura 7.18 - Coordenadas das rodas dos trens de pouso principais 01 e 02 do Boeing 747-400 no novo eixo x' e y' .



Fonte: O autor.

7.3 CÁLCULO DA VARREDURA TRANSVERSAL

Considerando a variação no posicionamento transversal das aeronaves durante a passagem na pista de pousos e decolagens o cálculo dos danos acumulados leva em conta esta característica, fato descrito em maiores detalhes nos capítulos anteriores.

A distribuição das porcentagens de probabilidade da passagem do rodado das aeronaves em cada ponto da seção transversal considerada para o cálculo é realizado através de distribuição estatística normal centralizada *gaussiana*, calculada através da integral definida ilustrada na equação 7.1.

$$(P_j)_b \left((y_j)_b \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y_1}^{y_2} e^{-y^2/2} dy \quad (7.1)$$

Onde:

- $(P_j)_b$ = Porcentagem de probabilidade da passagem da aeronave no intervalo delimitado para o y da varredura transversal;
- $(y_j)_b$ = posição no eixo y da varredura transversal para o $y'=j$.

Os limitantes da integral definida são calculados conforme as equações 7.2 e 7.3.

$$y_1 = \frac{(y_j)_b - \Delta y/2}{S_{bal}} \quad (7.2)$$

$$y_2 = \frac{(y_j)_b + \Delta y/2}{S_{bal}} \quad (7.3)$$

Onde:

- y_1 = limite inferior da integral definida;
- y_2 = limite superior da integral definida.
- Δy = intervalo das leituras, onde a norma francesa recomenda a utilização de intervalo de 5,0cm, porém conforme comentado no tópico 7.1 o intervalo utilizado neste dimensionamento é de 19,6cm;
- S_{bal} = desvio padrão determinado conforme o tipo de seção transversal de projeto (ver tópico 5.4.7), para este

dimensionamento como se trata da pista principal onde a velocidade para efeitos de cálculo é 100km/h o desvio padrão é de 0,75.

O cálculo dos danos acumulados foi realizado como mostra a Tabela 7.15, que exemplifica uma das situações de cálculo. Devido ao volume de dados calculados, para a visualização completa de todos os cálculos de danos considerando a variação do posicionamento transversal, consultar o apêndice deste trabalho.

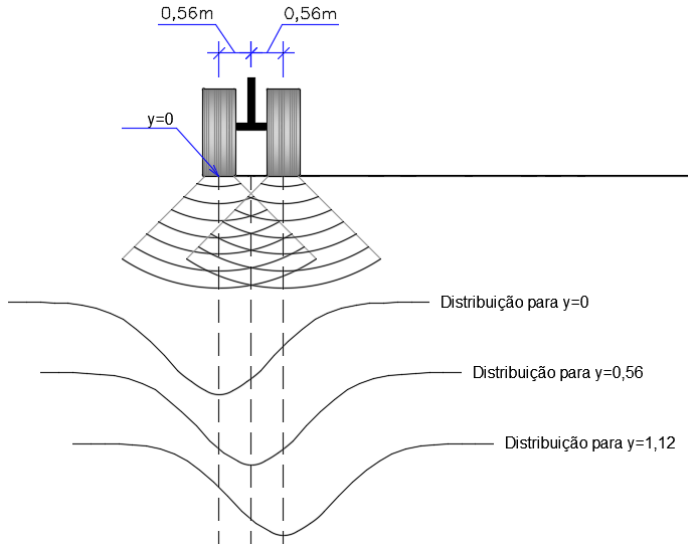
Tabela 7.15 - Exemplificação do Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando a variação transversal.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,02E-04	1,20E-06
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,57E-05	6,98E-07
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,50E-06	1,07E-07
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,10E-07	1,38E-08
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,23E-07	7,41E-09
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,59E-07	1,99E-08
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,61E-06	2,37E-07
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	3,00E-05	3,02E-06
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	9,98E-05	1,04E-05
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	2,89E-05	2,91E-06
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	1,40E-06	1,27E-07
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	4,60E-08	3,53E-09
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	1,23E-11	3,76E-13
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	1,26E-12	2,46E-14
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	1,85E-13	2,17E-15

Fonte: O autor.

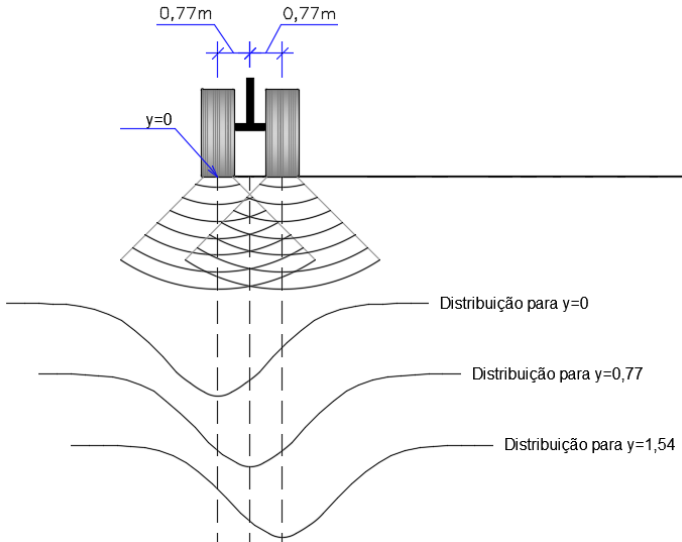
As Figuras 7.19 a 7.22 mostram as considerações para o cálculo dos danos considerando a variação no posicionamento transversal das quatro aeronaves utilizadas no dimensionamento.

Figura 7.19 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Boeing 447-400.



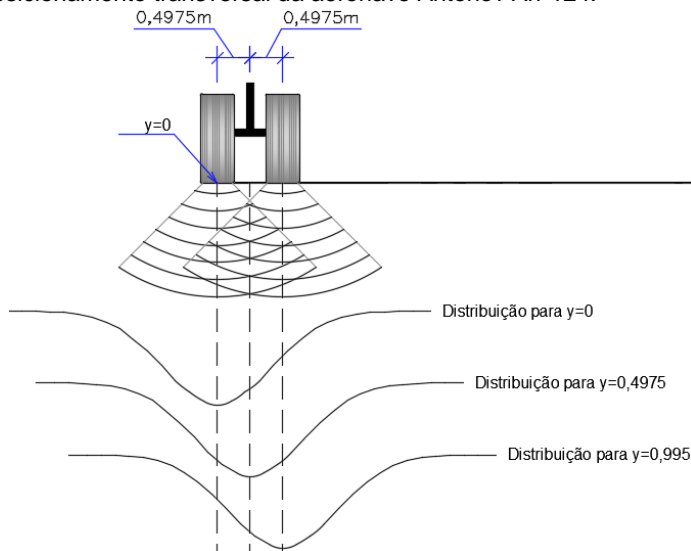
Fonte: O autor.

Figura 7.20 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Airbus A380-800.



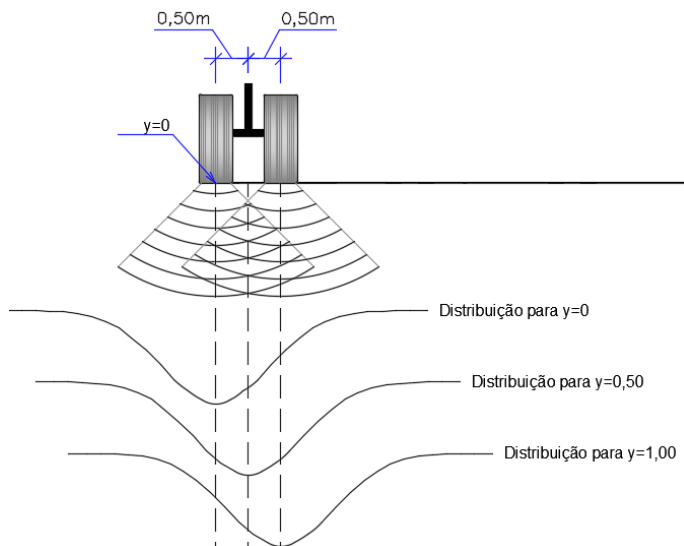
Fonte: O autor.

Figura 7.21 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Antonov An-124.



Fonte: O autor.

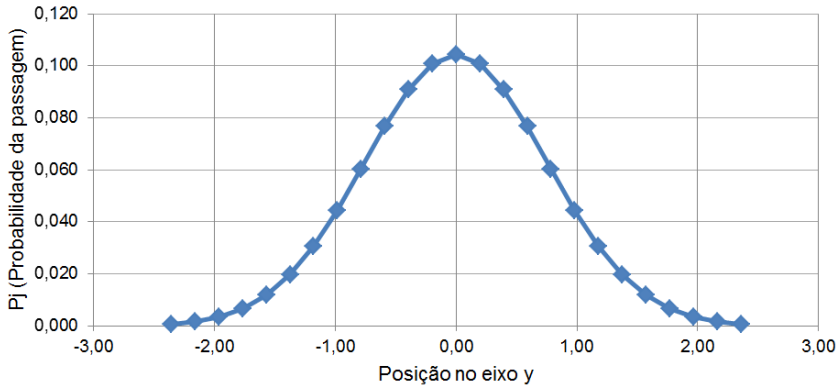
Figura 7.22 - Esquema da distribuição dos danos considerando a variação no posicionamento transversal da aeronave Antonov An-224.



Fonte: O autor.

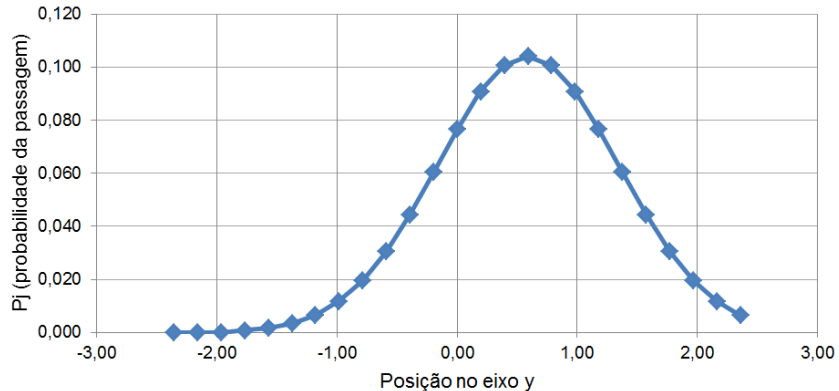
Com forma de ilustrar o emprego da metodologia utilizada no dimensionamento, as Figuras 7.23 e 7.24 mostram o cálculo das distribuições normais centralizadas calculadas a partir da integral definida da Equação 7.1 para as duas principais variações de posicionamento transversal da aeronave Boeing 747-400.

Figura 7.23 - Distribuição normal centralizada calculada pela integral definida para o posicionamento no $y' = 0,00\text{m}$ (Boeing 747-400).



Fonte: O autor.

Figura 7.24 - Distribuição normal centralizada calculada pela integral definida para o posicionamento no $y' = 0,56\text{m}$ (Boeing 747-400).



Fonte: O autor.

7.4 SIMULAÇÃO ELÁSTICA

7.4.1 Parâmetros de Entrada

Para o dimensionamento alguns parâmetros relacionados aos materiais e ao método de dimensionamento foram utilizados.

Conforme já mencionado, o revestimento asfáltico será composto de camada de *Béton Bitumeneux Aeronautique* BBA de classe 2, que de acordo com a biblioteca de dados do *Alizé-Aéronautique* possui os seguintes parâmetros:

- Módulo de rigidez = 2.492 MPa (25°C e 10 Hz);
- Coeficiente de *poisson* = 0,35 conforme exemplos de utilização do DGAC (2016).

A camada de ligação será composta de *Béton Bitumineux à Module Elevé* BBME e serão utilizados os dados:

- Módulo de rigidez = 15.210 MPa (25°C e 10 Hz);
- Coeficiente de *poisson* = 0,35.

Para a camada de base, será utilizado o mesmo material da camada de ligação, porém com função de base, sendo assim denominado de *Enrobé à Module Elevé* EME, onde serão utilizadas as seguintes informações:

- Módulo de rigidez = 15.210 MPa (25°C e 10 Hz);
- Coeficiente de *poisson* = 0,35.

Cabe ressaltar, que conforme os estudos realizados pelo GDPPav (2015) as mesmas misturas asfálticas ensaiadas no Brasil, incluindo a mistura asfáltica enquadrada com mistura de módulo elevado utilizada neste dimensionamento, foram novamente ensaiadas nos laboratórios da França, onde os resultados apresentados foram semelhantes, o que caracteriza a fidelização dos resultados.

Para a camada de transição, que neste dimensionamento tem a função de melhorar a capacidade de suporte da plataforma de fundação, o material utilizado é *Grave Non Traitée* GNT sendo os dados utilizados:

- Módulo do GNT = 540 MPa;
- Coeficiente de *poisson* = 0,35.

Conforme descrito na caracterização do subleito, para a camada de solo tratado serão utilizados os dados:

- Módulo = 180 MPa;
- Coeficiente de *poisson* = 0,35.

E para a camada de subleito (natural):

- Módulo = 65 MPa;
- Coeficiente de *Poisson* = 0,35.

O coeficiente de *Poisson* utilizado neste dimensionamento segue conforme o recomendado pelo STAC (2016) em suas apresentações de simulação de utilização do método de dimensionamento.

Para a utilização da ferramenta de cálculo Viscoroute é necessário determinar a velocidade de operação, que neste caso é de 100,00 km/h, ou seja, 27,78 m/s, por se tratar da seção principal da pista aeroportuária. No apêndice deste trabalho é apresentada uma proposta de implantação geométrica da pista aeroportuária à título ilustrativo, indicando as seções de pista utilizadas nos dimensionamentos e a seção especificamente utilizada nesta pesquisa.

Conforme a relação entre velocidade e frequência, detalhada no capítulo 5, foi calculada a frequência, sendo neste caso:

- $F = 10,0 \text{ Hz}$

O desvio padrão relacionado a variação do posicionamento transversal da aeronave, conforme já descrito no trabalho é de:

- $S_{bal} = 0,75 \text{ m}$.

Conforme recomendação do DGAC (2016) sendo o tráfego superior à CT3 o risco aplicado ao dimensionamento é de 2,5%. A temperatura equivalente conforme cálculo realizado e apresentado no capítulo 6 é de 25,0°C.

Conforme STAC (2016) e mencionado no capítulo 6 o processo para determinação da roda equivalente racional (RseR) é iterativo, onde como parâmetro de partida para o início do dimensionamento se estima um valor de RseR. O processo iterativo de dimensionamento do pavimento e cálculo da RseR é repetido inúmeras vezes.

Devido a complexidade para a realização deste cálculo manualmente e em função de não se ter obtido acesso à ferramenta de cálculo *Alizé-Aéronautique* que faz esse processo iterativo através de software, esta pesquisa adotou como parâmetro de partida uma roda equivalente racional sendo a média ponderada entre a carga das rodas e número de repetições previstas de todas as aeronaves de dimensionamento, portanto, sendo adotado:

- Roda equivalente racional (RseR) = 25,0 tf.

7.4.1.1 Coeficiente de correção da dispersão de resultados.

Para o cálculo do coeficiente de correção em função da dispersão dos resultados dos ensaios (k_r) se utiliza a equação 7.4.

$$k_r = 10^{-\mu \cdot b \cdot \delta} \quad (7.4)$$

Onde:

- μ = conforme a função do risco o STAC (2016) estabelece uma relação entre o risco o valor de μ , sendo neste caso o risco de 2,5%, obtém-se $\mu = -1,960$;
- $\delta = 0,461$, calculado conforme a equação 7.5.

$$\delta = \sqrt{S_N^2 + \left(\frac{cS_h}{b}\right)^2} \quad (7.5)$$

Onde:

- S_N = desvio padrão dos resíduos, que conforme o gráfico dos resultados do ensaio de fadiga, realizado à temperatura 30°C e frequência de 25 Hz apontaram o valor = 0,4415;
- $c = 2$ (fixado pela norma francesa);
- S_h = coeficiente em função da espessura da base, que neste caso sendo superior a 10,0cm a norma fixa o valor = 0,01m;
- $b = -0,152$, calculado conforme a equação 7.6.

$$b = \frac{-1}{\beta} \quad (7.6)$$

Onde:

- $\beta = 6,57$ (expoente da equação de fadiga).

Sendo assim, obtém-se:

- $k_r = 0,7288$.

7.4.1.2 Transposição da Temperatura e Frequência.

Os ensaios de fadiga e módulo completo foram realizados em laboratório nas seguintes condições:

- Temperatura de 10°C e frequência de 25Hz;
- Temperatura de 30°C e frequência de 25Hz.

A temperatura de 30°C é a que mais se aproxima da condição existente em campo, que neste caso é de 25°C. Sendo esta escolhida para a realização da transposição de resultados entre laboratório e campo.

O coeficiente de correção de temperatura e frequência $k_{\theta f}$ é calculado conforme a equação 7.7.

$$k_{\theta f} = \sqrt{\frac{E(30^{\circ}\text{C}, 25\text{Hz})}{E(\theta_{eq}, f)}} \quad (7.7)$$

Onde:

- $E(30^{\circ}\text{C}, 25\text{Hz}) = 14.553 \text{ MPa}$;
- $E(25^{\circ}\text{C}, 10\text{Hz}) = 15.210 \text{ MPa}$ (calculado por interpolação dos valores dos resultados dos módulos complexos).

Sendo assim:

- $k_{\theta f} = 0,978$

7.4.1.3 Parâmetro K da Lei de Dano

O parâmetro K da lei de danos é calculado conforme mostra a equação 7.8.

$$K = 10^{6/\beta} k_{\theta f} k_s k_r k_c \bar{\epsilon}_6 \quad (7.8)$$

Onde:

- $k_{\theta f} = 0,978$;
- $k_s = 1,0$ (conforme recomendação da metodologia, onde se relacionam dos valores deste coeficiente em relação às condições de suporte da plataforma de fundação, neste caso, tendo a plataforma um módulo superior à 120MPa o coeficiente é igual a 1,0);
- $k_r = 0,7288$;
- $k_c = 1,5$ (coeficiente calculado conforme citado no capítulo 6 onde se relaciona da roda equivalente racional em

função do tipo de material de base, neste caso, com a roda equivalente racional de 25,0tf e o material de base sendo mistura asfáltica de módulo elevado se obtém o coeficiente igual a 1,5);

- $\epsilon_6 = 109 \times 10^{-6} \mu$ (deformação obtida no ensaio de fadiga, após 1 milhão de ciclos, neste caso da mistura asfáltica ensaiada a 30°C e frequência de 25Hz);
- $\beta = 6,57$ (expoente da equação de fadiga).

Sendo assim:

- $K = 954,445$.

7.4.1.4 Dano Individual e Acumulado

O dano individual foi calculado conforme a equação 7.9, que mostra um exemplo de dano para o caso de uma aeronave com 3 rodas alinhadas, como é o caso do Airbus A380-800 e Boeing 747-400.

$$\Delta D(y, z_k) = \frac{1}{K^\beta} \left(\epsilon_{t1}^\beta - \epsilon_{t1,2}^\beta + \epsilon_{t2}^\beta - \epsilon_{t2,3}^\beta + \epsilon_{t3}^\beta \right) \quad (7.9)$$

Onde:

- $t1$ = primeira roda no alinhamento horizontal (pico);
- $t1,2$ = metade da distância entre a roda 1 e roda 2 (cavidade);
- $t2$ = segunda roda no alinhamento horizontal (pico);
- $t2,3$ = metade da distância entre a roda 2 e roda 3 (cavidade);
- $t3$ = terceira roda no alinhamento horizontal (pico);
- ϵ_t = deformação de tração máxima calculada conforme a equação 7.10.

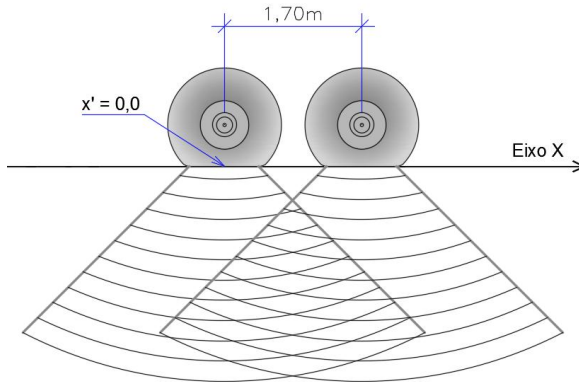
$$\epsilon_{t,max} = \frac{\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \sqrt{(\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy})^2 + 4\epsilon_{xy}^2}}{2} \quad (7.10)$$

Onde:

- ϵ_{xx} = deformação de tração no plano x,x;
- ϵ_{yy} = deformação de tração no plano y,y;
- ϵ_{xy} = deformação de tração no plano x,y.

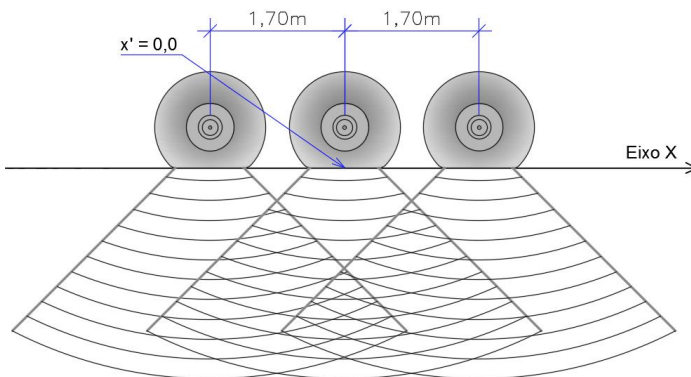
As Figuras 7.25 a 7.29 mostram o posicionamento longitudinal das rodas das aeronaves deste dimensionamento.

Figura 7.25 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal 01 da aeronave Airbus A380-800.



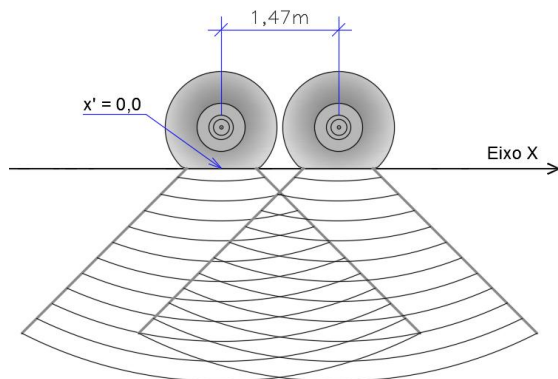
Fonte: O autor.

Figura 7.26 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal 02 da aeronave Airbus A380-800.



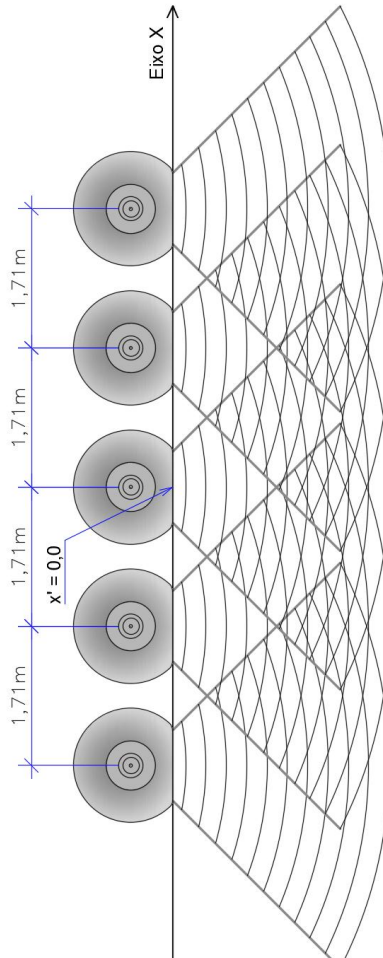
Fonte: O autor.

Figura 7.27 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal 01 e 02 da aeronave Boeing 747-400.



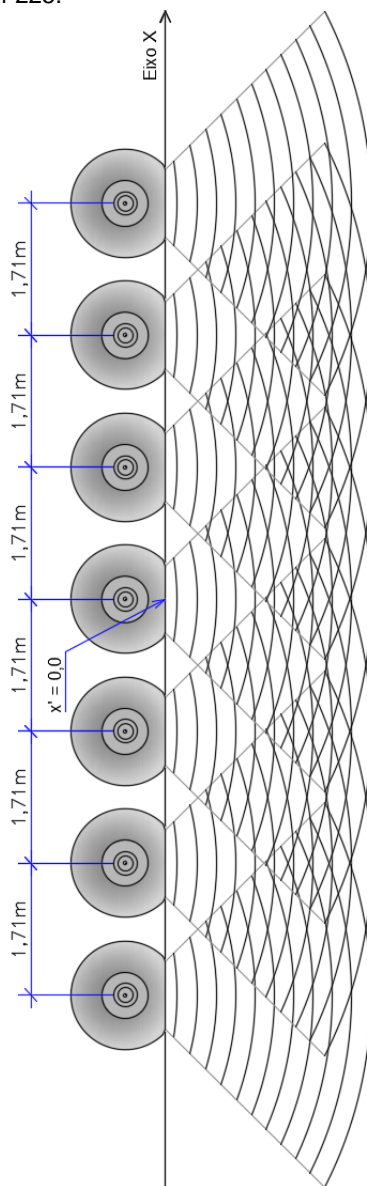
Fonte: O autor.

Figura 7.28 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-124.



Fonte: O autor.

Figura 7.29 - Vista longitudinal das rodas do trem de pouso principal da aeronave Antonov An-225.



Fonte: O autor.

Considerando o $S_{bal} = 0,75m$ e a malha de análise tridimensional, conforme mencionado no capítulo 6, obtemos como malha mínima para análise dos resultados da simulação uma cobertura de 2,25m para cada lado do eixo x na análise do eixo y.

Os dados para o dimensionamento, assim como as espessuras das estruturas simuladas foram lançadas na ferramenta de cálculo *Viscoroute*, cujo intervalo de resultados é de 19,6cm.

Para cada ponto no eixo y e para cada situação alinhamento de roda e meia distância entre rodas foram calculados os danos individuais. Todos os dados dos cálculos dos danos individuais são apresentados no apêndice deste trabalho.

Para calcular o dano acumulado, o dano individual é multiplicado pelo número de passagens da aeronave. Neste caso têm-se os seguintes números de passagens:

- Airbus A380-800 = 21.150 passagens;
- Antonov An-124 = 10.575 passagens;
- Antonov An-225 = 10.575 passagens;
- Boeing 747-400 = 21.150 passagens.

Na sequência são apresentados os gráficos com os resultados dos danos acumulados no perfil transversal (y) de cada situação analisada no dimensionamento, sendo:

- Danos acumulados na fibra inferior da base sem influência da varredura transversal (variação no posicionamento transversal da aeronave durante as operações de pouso e decolagens) conforme equação 7.9 já apresentada;
- Danos acumulados na fibra inferior da base considerando a varredura transversal;
- Danos acumulados na superfície da plataforma de fundação sem influência da varredura transversal, conforme equação 7.9 já apresentada;
- Danos acumulados na superfície da plataforma de fundação considerando a influência da varredura transversal.

7.4.2 Estrutura 01

A Figura 7.30 mostra a configuração da simulação da estrutura e os gráficos das Figuras 7.31 a 7.50 os danos acumulados. A Tabela 7.16 mostra o resultado do cálculo dos danos acumulados para a estrutura 01.

Figura 7.30 - Configuração da estrutura 01 simulada.

Revestimento	Revestimento	EB10-BBA-D Classe 2	E (25°C, 10Hz) 2.492 Mpa	μ 0,35	4 cm
	Ligação	EB14-BBME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	7 cm
Base	Base	EB14-EME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	11 cm
Plataforma de fundação	Transição	GNT-1	GNT-1 540 Mpa	μ 0,35	25 cm
	Solo tratado	Solo com calcário	PF-3 180 Mpa	μ 0,35	100 cm
	Solo natural	Solo in natura	PF-3 65 Mpa	μ 0,35	H total = 147 cm

Fonte: O autor.

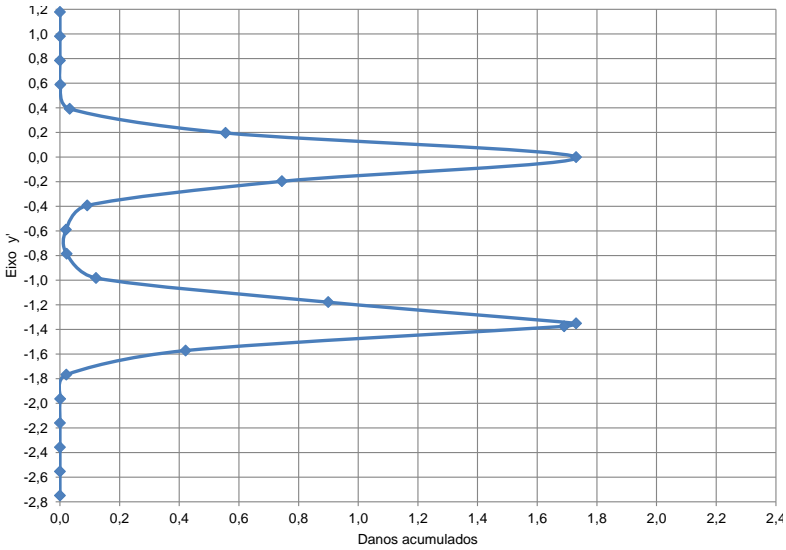
Tabela 7.16 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 01.

Local	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
Base (1)	2,159214	0,199648	0,762422	1,317000	4,438284
Base (2)	0,399750	0,052857	0,183786	0,340000	0,976393
Fundação (3)	0,000234	0,000049	0,000206	0,025000	0,025489
Fundação (4)	0,000040	0,000010	0,000023	0,000996	0,001070

- (1) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (sem varredura);
- (2) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (com varredura);
- (3) Dano no topo da plataforma de fundação (sem varredura);
- (4) Dano no topo da plataforma de fundação (com varredura).

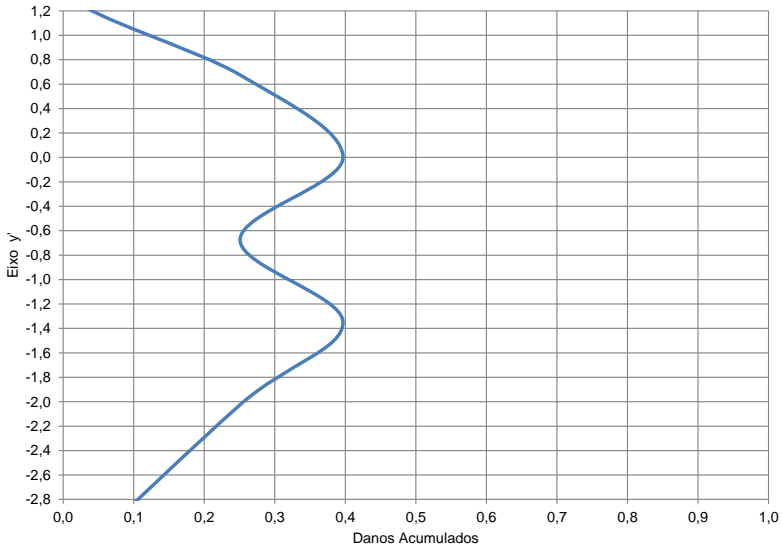
Fonte: O autor.

Figura 7.31 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na camada de base.



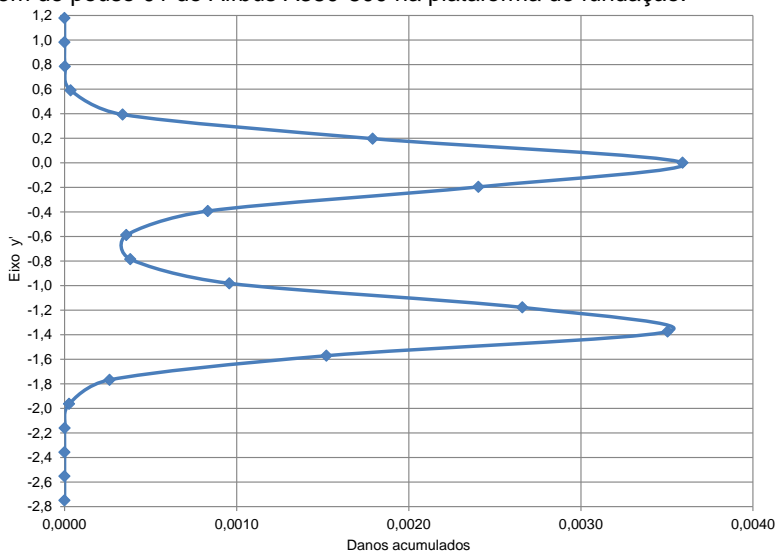
Fonte: O autor.

Figura 7.32 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na camada de base.



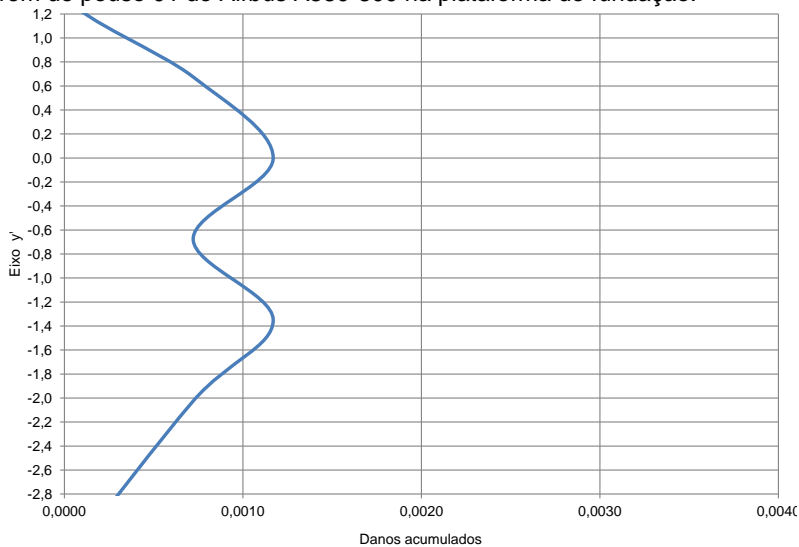
Fonte: O autor.

Figura 7.33 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.



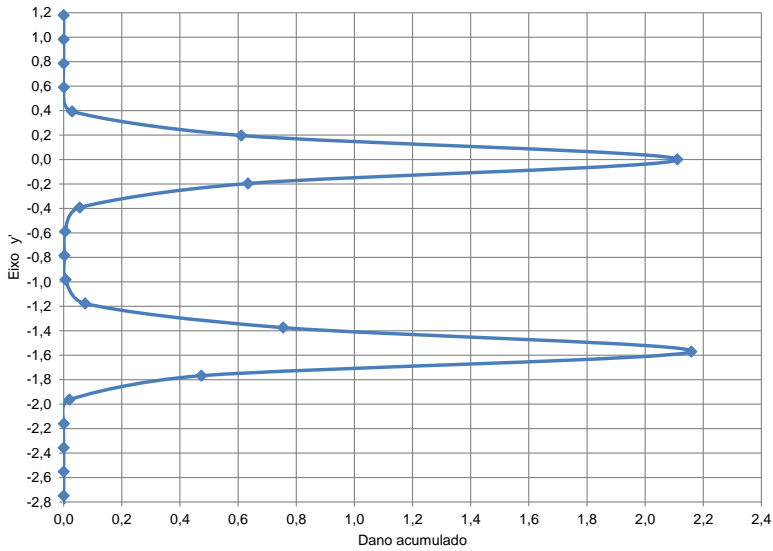
Fonte: O autor.

Figura 7.34 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 01 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.



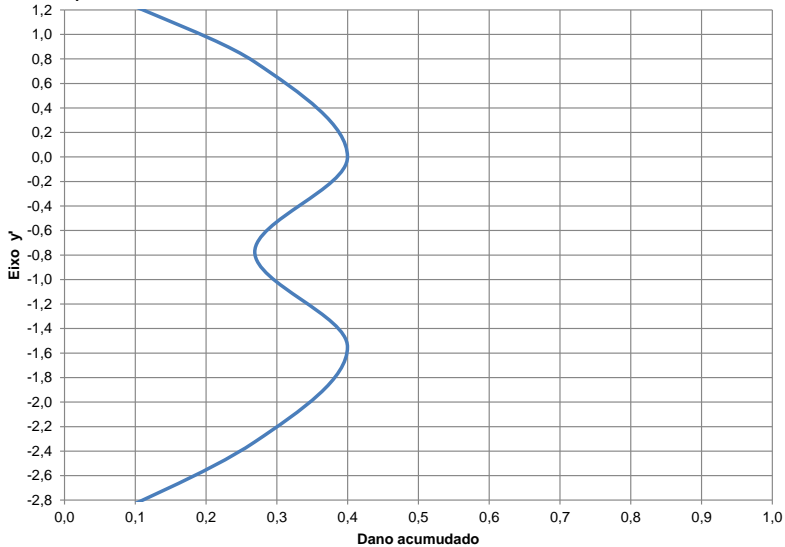
Fonte: O autor.

Figura 7.35 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.



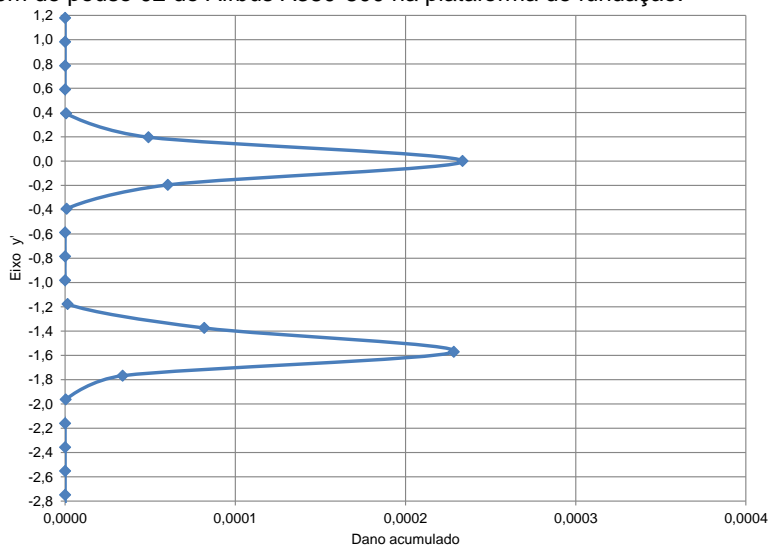
Fonte: O autor.

Figura 7.36 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.



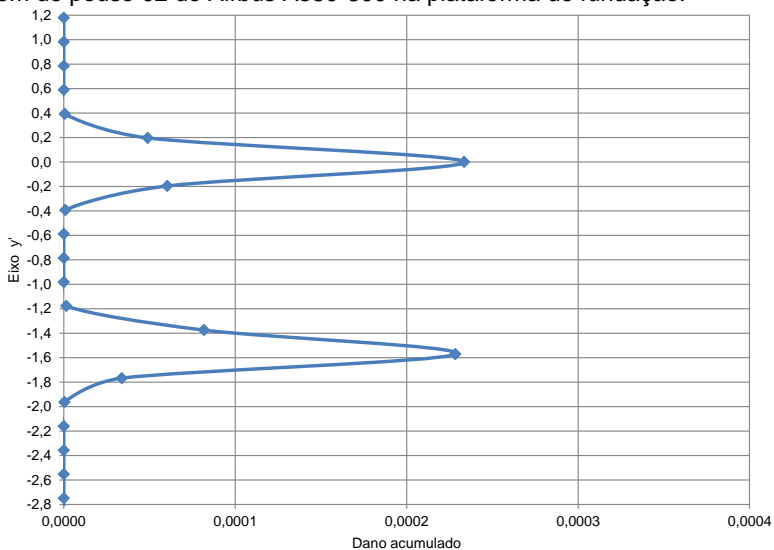
Fonte: O autor.

Figura 7.37 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.



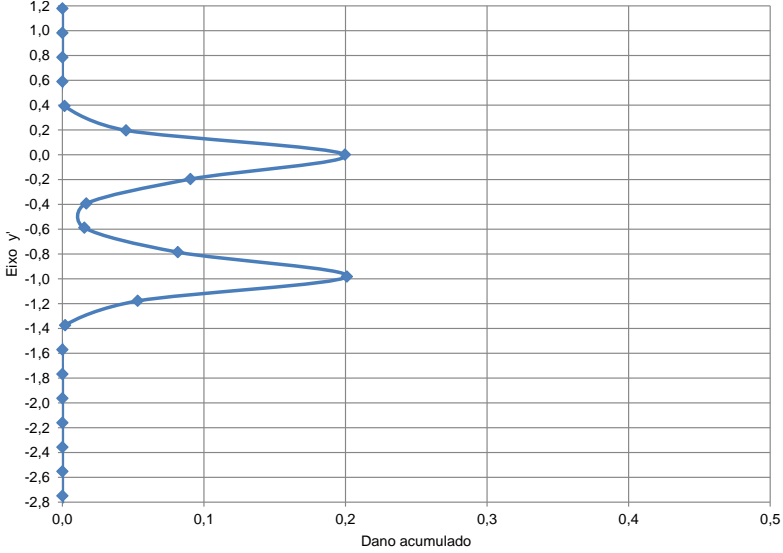
Fonte: O autor.

Figura 7.38 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.



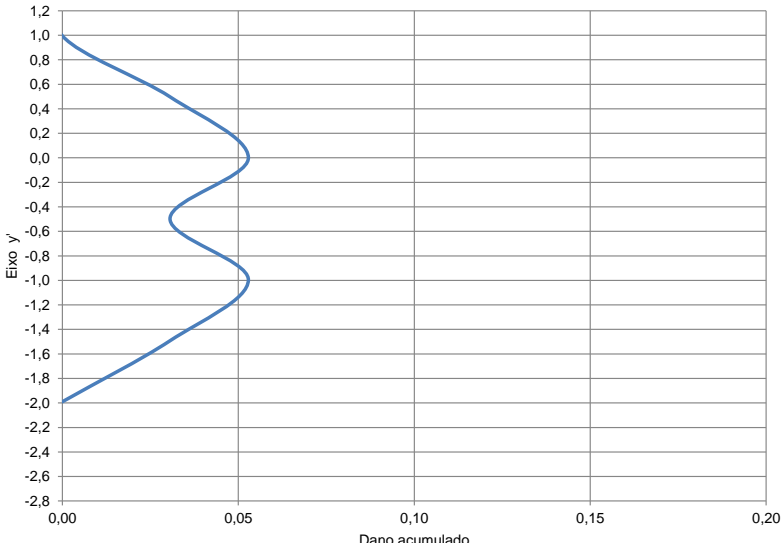
Fonte: O autor.

Figura 7.39 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.



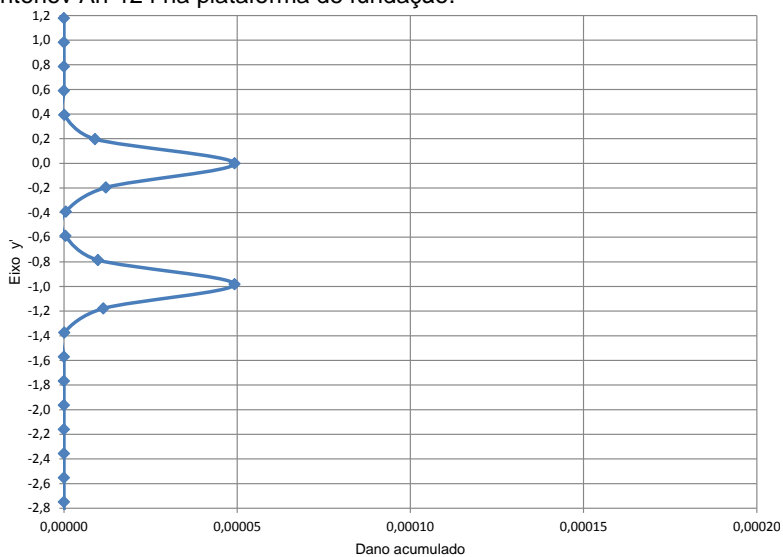
Fonte: O autor.

Figura 7.40 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.



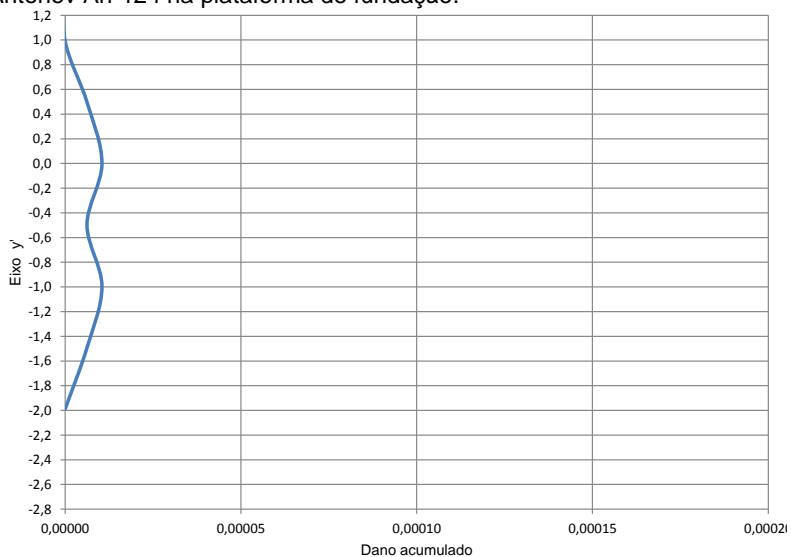
Fonte: O autor.

Figura 7.41 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.



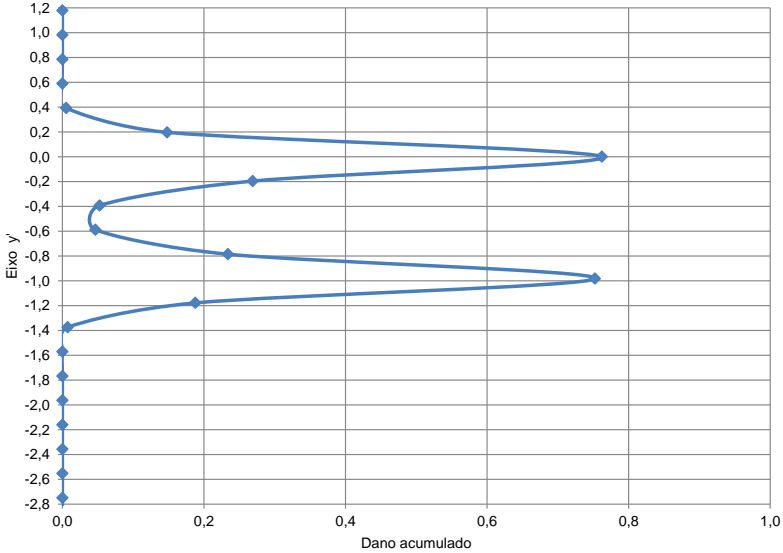
Fonte: O autor.

Figura 7.42 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.



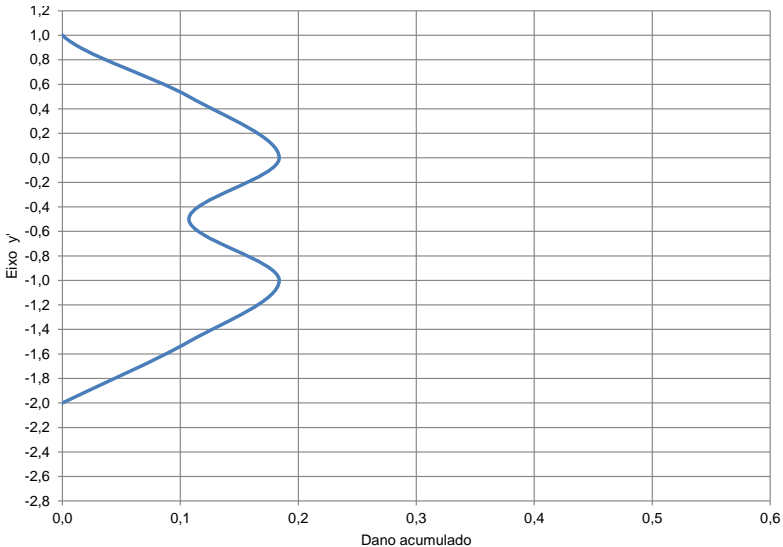
Fonte: O autor.

Figura 7.43 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.



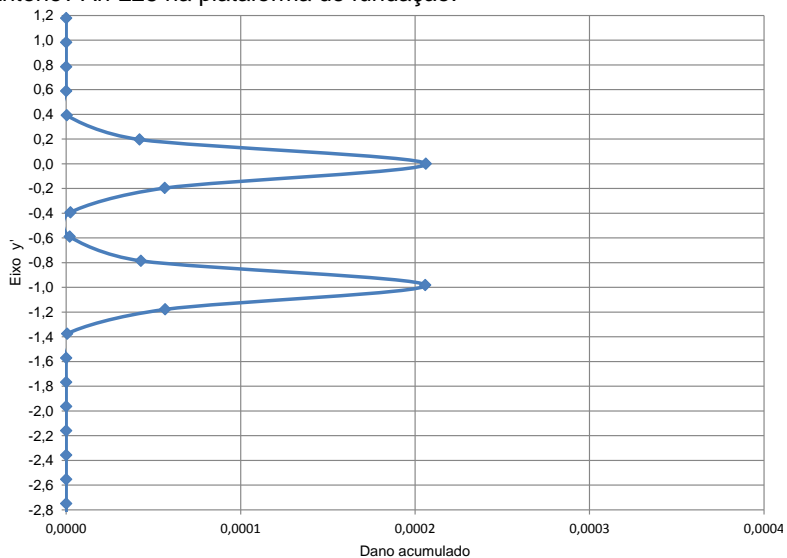
Fonte: O autor.

Figura 7.44 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.



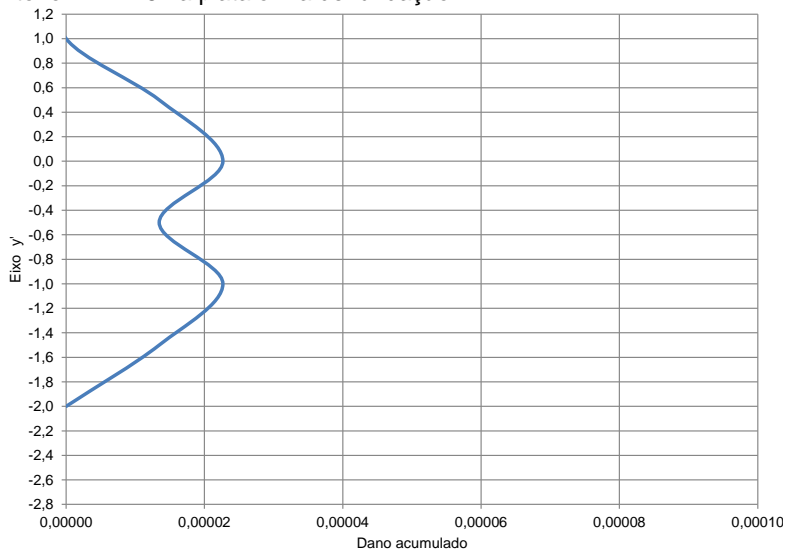
Fonte: O autor.

Figura 7.45 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.



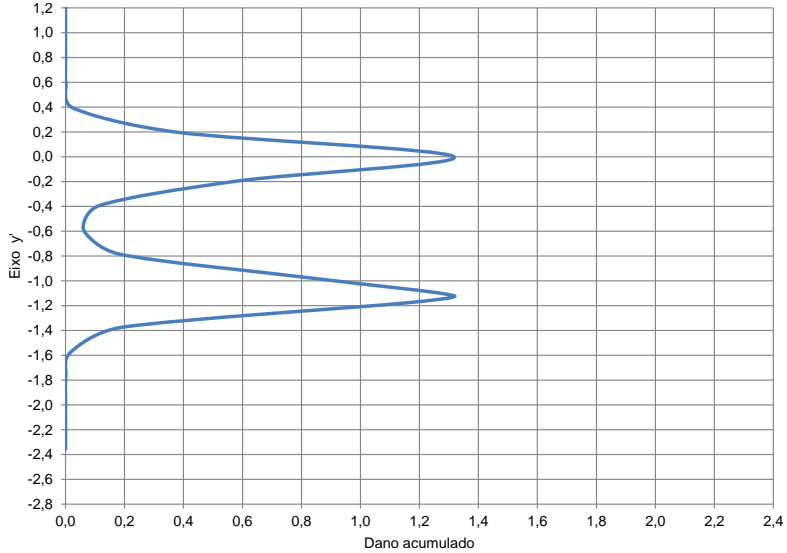
Fonte: O autor.

Figura 7.46 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.



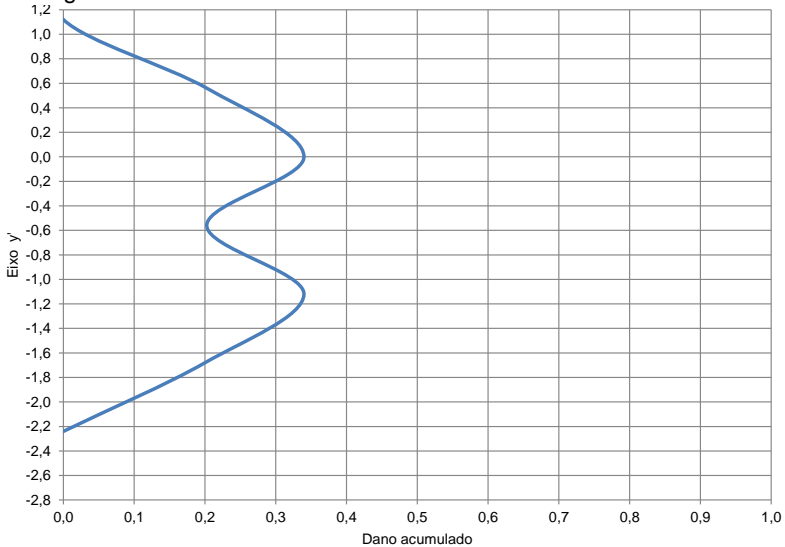
Fonte: O autor.

Figura 7.47 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.



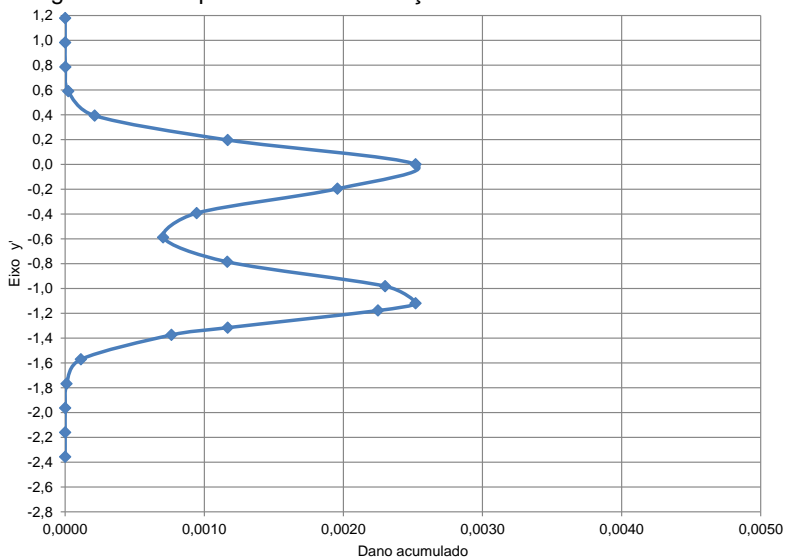
Fonte: O autor.

Figura 7.48 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.



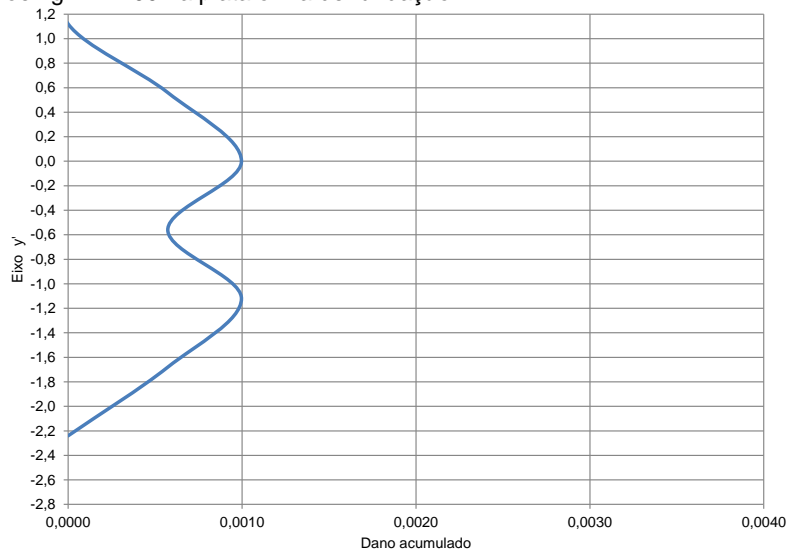
Fonte: O autor.

Figura 7.49 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.



Fonte: O autor.

Figura 7.50 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.



Fonte: O autor.

7.4.3 Estrutura 02

A Figura 7.51 mostra a configuração da simulação da estrutura de pavimento aeroportuário calculado. A Tabela 7.17 mostra o resultado do cálculo dos danos acumulados para a estrutura 02.

Figura 7.51 - Configuração da estrutura 02 simulada.

Revestimento	Revestimento	EB10-BBA-D Classe 2	E (25°C, 10Hz) 2.492 Mpa	μ 0,35	4 cm
	Ligação	EB14-BBME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	6 cm
Base	Base	EB14-EME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	11 cm
Plataforma de fundação	Transição	GNT-1	GNT-1 540 Mpa	μ 0,35	25 cm
	Solo tratado	Solo com calcário	PF-3 180 Mpa	μ 0,35	100 cm
	Solo natural	Solo in natura	PF-3 65 Mpa	μ 0,35	H total = 146 cm

Fonte: O autor.

Tabela 7.17 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 02.

Local	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
Base (1)	2,344906	0,216818	0,827990	1,430262	4,819976
Base (2)	0,434129	0,057402	0,199592	0,369240	1,060363
Fundação (3)	0,000254	0,000053	0,000224	0,027150	0,027681
Fundação (4)	0,000044	0,000011	0,000025	0,001082	0,001162

(1) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (sem varredura);

(2) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (com varredura);

(3) Dano no topo da plataforma de fundação (sem varredura);

(4) Dano no topo da plataforma de fundação (com varredura).

Fonte: O autor.

7.5 SIMULAÇÃO VISCOELÁSTICA

7.5.1 Parâmetros de Entrada

Para o lançamento das estruturas considerando o comportamento viscoelástico, além dos parâmetros de entrada já mencionados neste trabalho, foram utilizados os dados extraídos do Viscoanalyze, para a parametrização do material asfáltico de módulo elevado, sendo eles:

- $E_0 = 245$ MPa;
- $E_{inf} = 33.550$ MPa;
- Δ (delta) = 1,82;
- $k = 0,22$;
- $h = 0,72$;
- $A_0 = 5,12205$ (coeficiente escalar);
- $A_1 = -0,357309$ (coeficiente escalar);
- $A_2 = 0,0019601$ (coeficiente escalar).

7.5.2 Estrutura 03

A Figura 7.52 mostra a configuração da simulação da estrutura. A Tabela 7.18 mostra o resultado do cálculo dos danos acumulados para a estrutura 03.

Figura 7.52 - Configuração da estrutura 03 simulada.

Revestimento	Revestimento	EB10-BBA-D Classe 2	E (25°C, 10Hz) 2.492 Mpa	μ 0,35	4 cm
	Ligação	EB14-BBME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	
Base	Base	EB14-EME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	11 cm
Plataforma de fundação	Transição	GNT-1	GNT-1 540 Mpa	μ 0,35	25 cm
	Solo tratado	Solo com calcário	PF-3 180 Mpa	μ 0,35	100 cm
	Solo natural	Solo in natura	PF-3 65 Mpa	μ 0,35	
					H total = 147 cm

Fonte: O autor.

Tabela 7.18 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 03.

Local	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
Base (1)	3,876262	0,254421	1,226140	0,837541	6,194364
Base (2)	0,586544	0,058093	0,248535	0,217759	1,110931
Fundação (3)	0,000332	0,000064	0,000274	0,000128	0,000798
Fundação (4)	0,000054	0,000012	0,000027	0,000025	0,000118

(1) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (sem varredura);

(2) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (com varredura);

(3) Dano no topo da plataforma de fundação (sem varredura);

(4) Dano no topo da plataforma de fundação (com varredura).

Fonte: O autor.

7.5.3 Estrutura 04

A Figura 7.53 mostra a configuração da simulação da estrutura. A Tabela 7.19 mostra o resultado do cálculo dos danos acumulados para a estrutura 04.

Figura 7.53 - Configuração da estrutura 04 simulada.

Revestimento	Revestimento	EB10-BBA-D Classe 2	E (25°C, 10Hz) 2.492 Mpa	μ 0,35	4 cm
	Ligação	EB14-BBME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	
Base	Base	EB14-EME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	12 cm
Plataforma de fundação	Transição	GNT-1	GNT-1 540 Mpa	μ 0,35	25 cm
	Solo tratado	Solo com calcário	PF-3 180 Mpa	μ 0,35	100 cm
	Solo natural	Solo in natura	PF-3 65 Mpa	μ 0,35	H total = 149 cm

Fonte: O autor.

Tabela 7.19 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 04.

Local	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
Base (1)	2,331177	0,171078	0,764052	0,636570	3,902877
Base (2)	0,336185	0,036015	0,151628	0,147012	0,670839
Fundação (3)	0,000221	0,000044	0,000191	0,000092	0,000549
Fundação (4)	0,000037	0,000009	0,000019	0,000019	0,000084

(1) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (sem varredura);

(2) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (com varredura);

(3) Dano no topo da plataforma de fundação (sem varredura);

(4) Dano no topo da plataforma de fundação (com varredura).

Fonte: O autor.

7.5.4 Estrutura 05

A Figura 7.54 mostra a configuração da simulação da estrutura e os gráficos das Figuras 7.55 a 7.70 os danos acumulados. A Tabela 7.20 mostra o resultado do cálculo dos danos acumulados para a estrutura 05.

Figura 7.54 - Configuração da estrutura 05 simulada.

Revestimento	Revestimento	EB10-BBA-D Classe 2	E (25°C, 10Hz) 2.492 Mpa	μ 0,35	4 cm
	Ligação	EB14-BBME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	8 cm
Base	Base	EB14-EME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	11 cm
Plataforma de fundação	Transição	GNT-1	GNT-1 540 Mpa	μ 0,35	25 cm
	Solo tratado	Solo com calcário	PF-3 180 Mpa	μ 0,35	100 cm
	Solo natural	Solo in natura	PF-3 65 Mpa	μ 0,35	H total = 148 cm

Fonte: O autor.

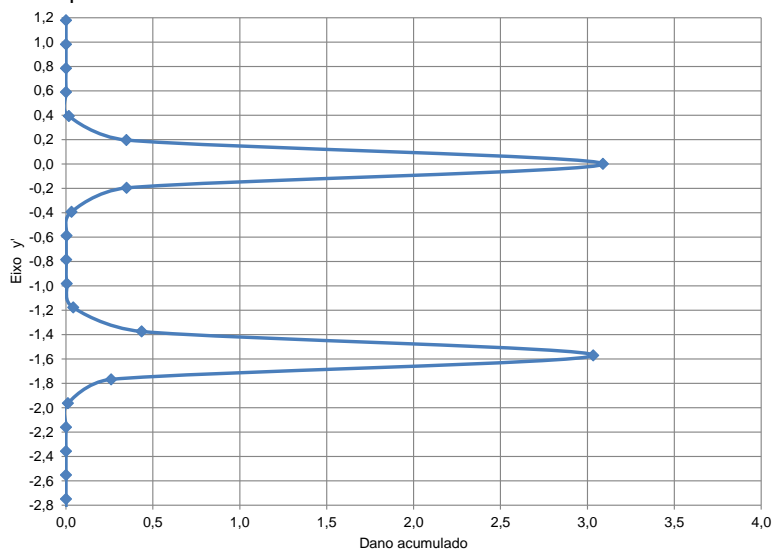
Tabela 7.20 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 05.

Local	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
Base (1)	3,089992	0,239911	0,959807	0,799661	5,089370
Base (2)	0,444507	0,050018	0,189292	0,183895	0,867713
Fundação (3)	0,013118	0,003489	0,015988	0,006275	0,038870
Fundação (4)	0,002318	0,000770	0,001789	0,001375	0,006252

- (1) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (sem varredura);
- (2) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (com varredura);
- (3) Dano no topo da plataforma de fundação (sem varredura);
- (4) Dano no topo da plataforma de fundação (com varredura).

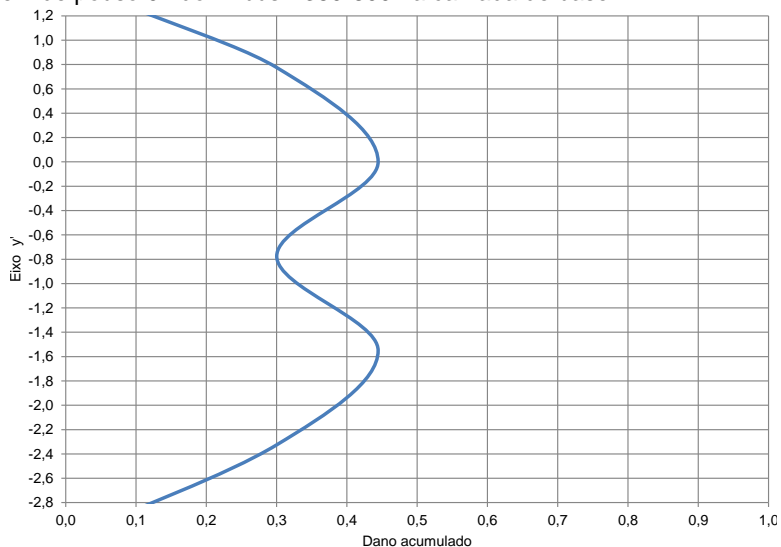
Fonte: O autor.

Figura 7.55 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.



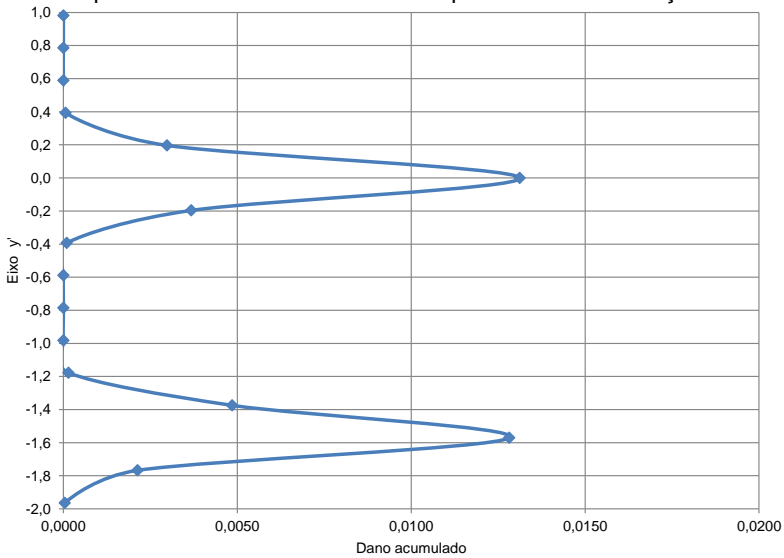
Fonte: O autor.

Figura 7.56 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na camada de base.



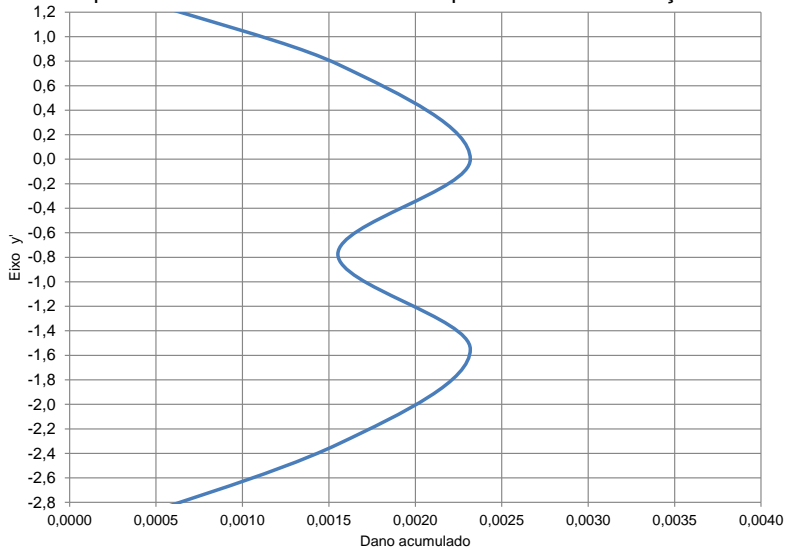
Fonte: O autor.

Figura 7.57 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.



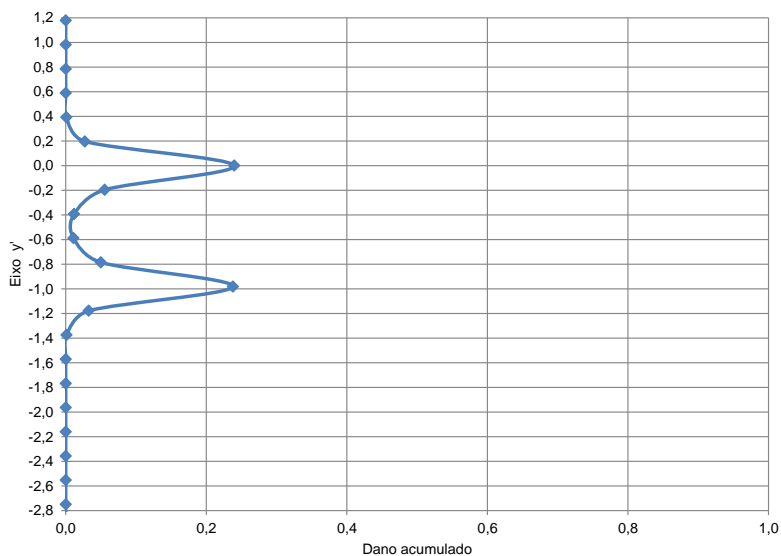
Fonte: O autor.

Figura 7.58 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o trem de pouso 02 do Airbus A380-800 na plataforma de fundação.



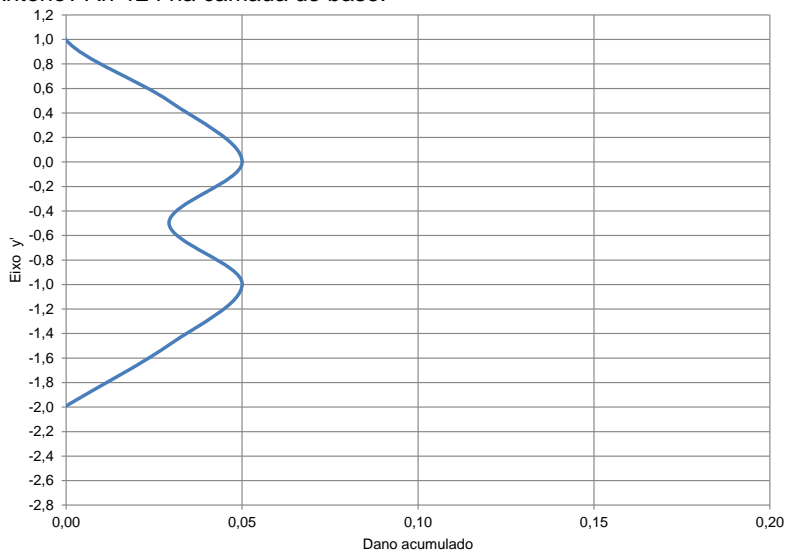
Fonte: O autor.

Figura 7.59 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.



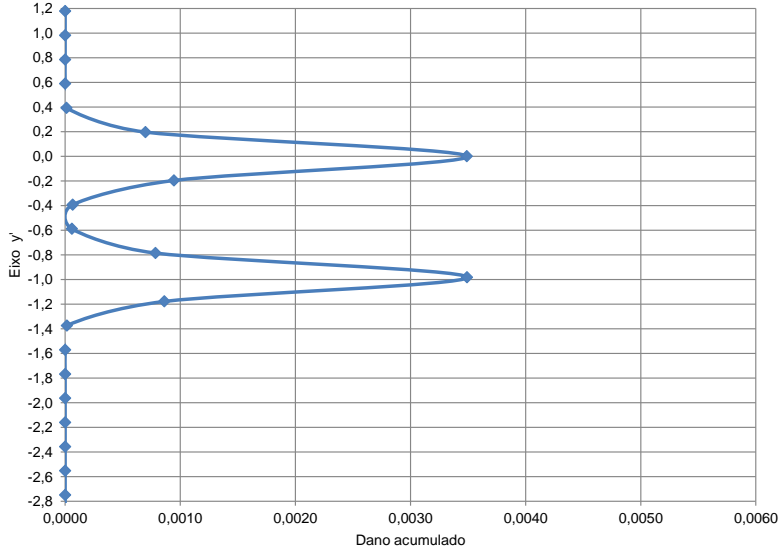
Fonte: O autor.

Figura 7.60 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na camada de base.



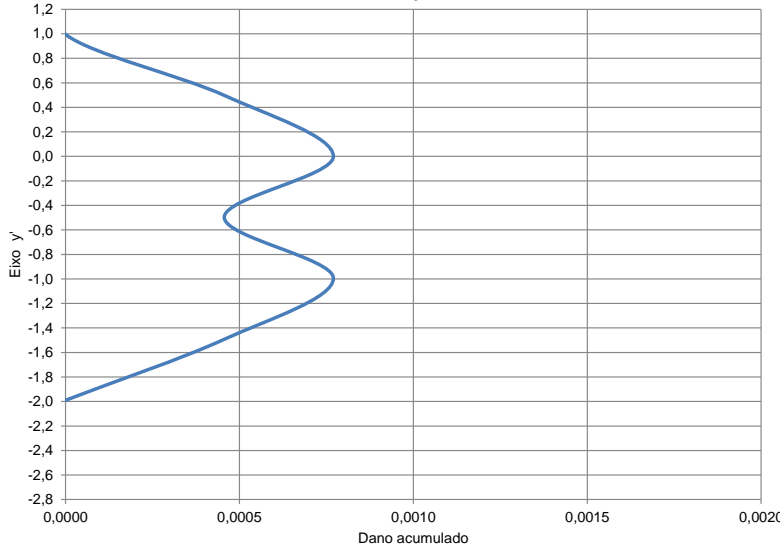
Fonte: O autor.

Figura 7.61 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.



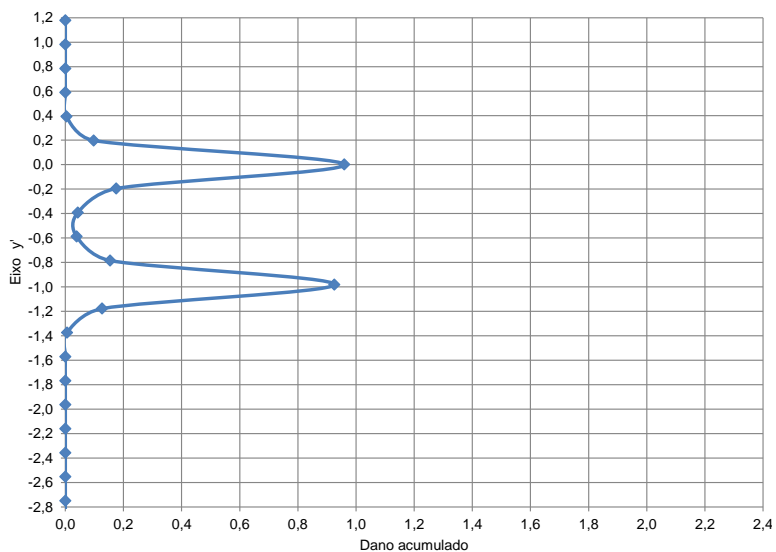
Fonte: O autor.

Figura 7.62 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-124 na plataforma de fundação.



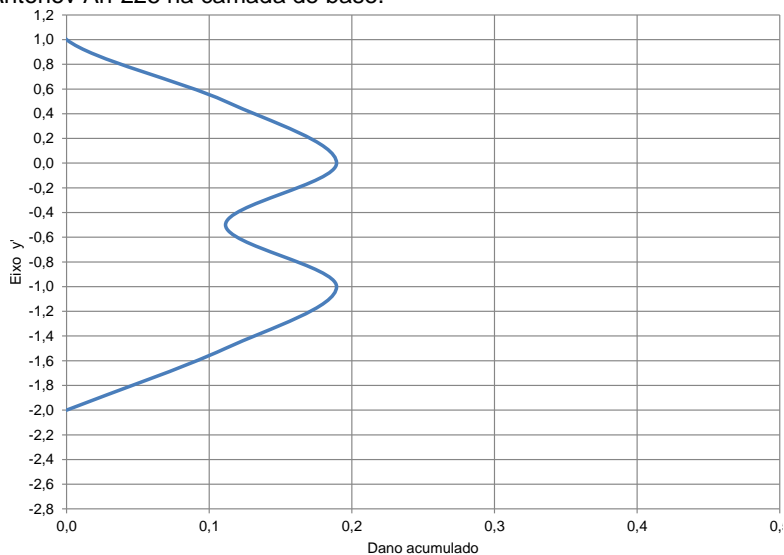
Fonte: O autor.

Figura 7.63 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.



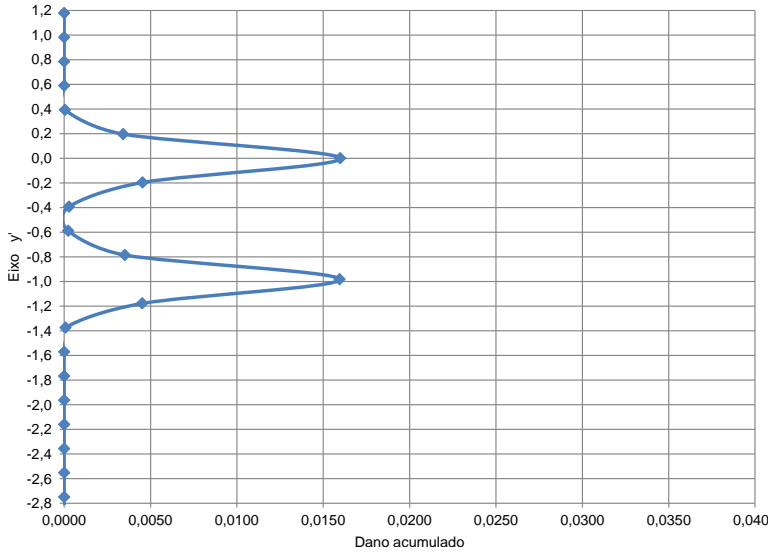
Fonte: O autor.

Figura 7.64 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na camada de base.



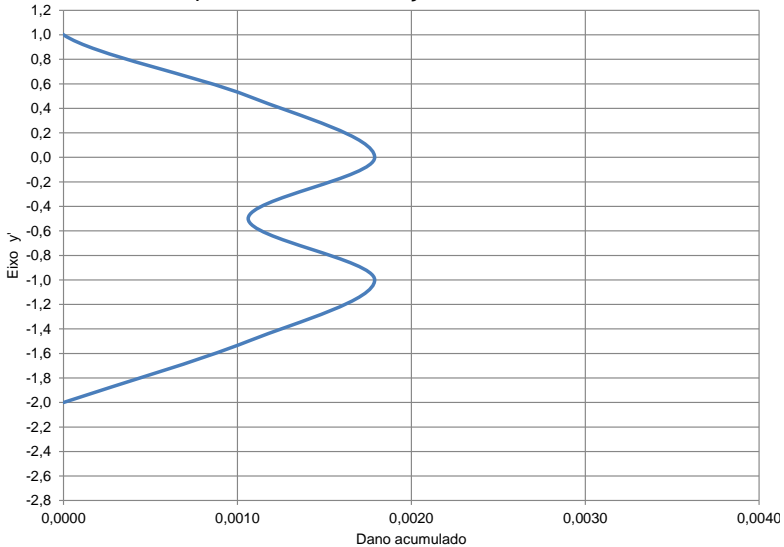
Fonte: O autor.

Figura 7.65 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.



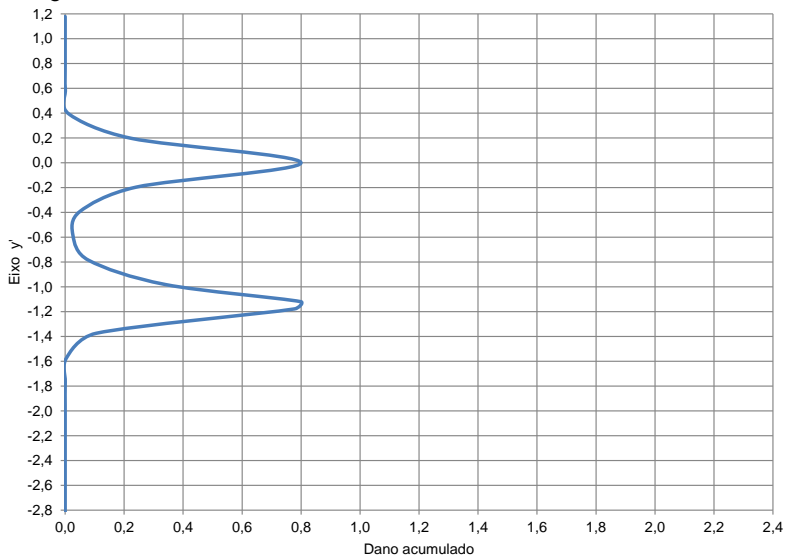
Fonte: O autor.

Figura 7.66 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Antonov An-225 na plataforma de fundação.



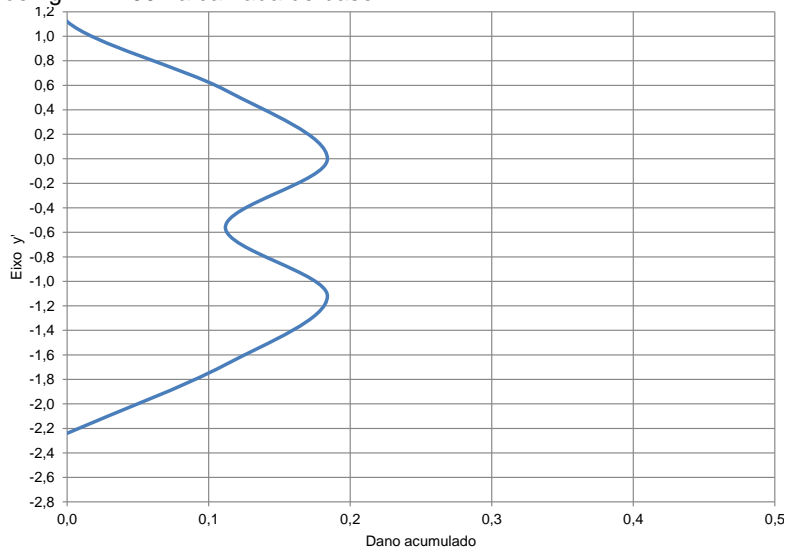
Fonte: O autor.

Figura 7.67 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.



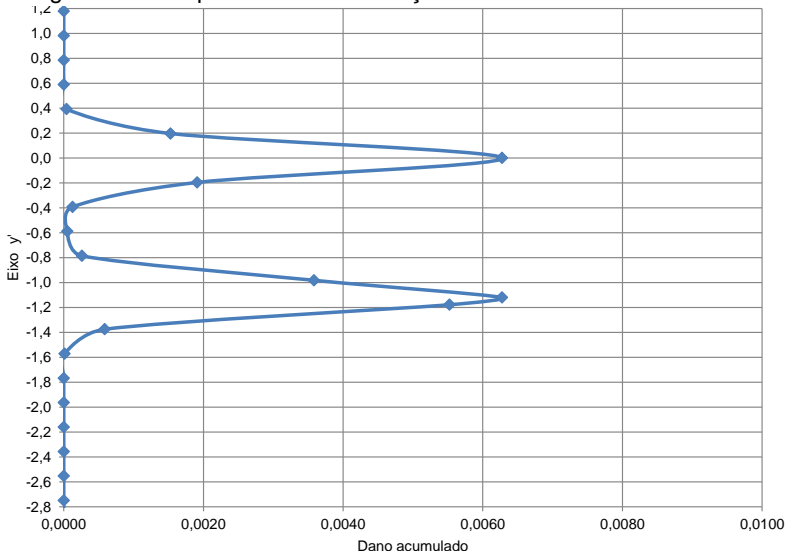
Fonte: O autor.

Figura 7.68 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na camada de base.



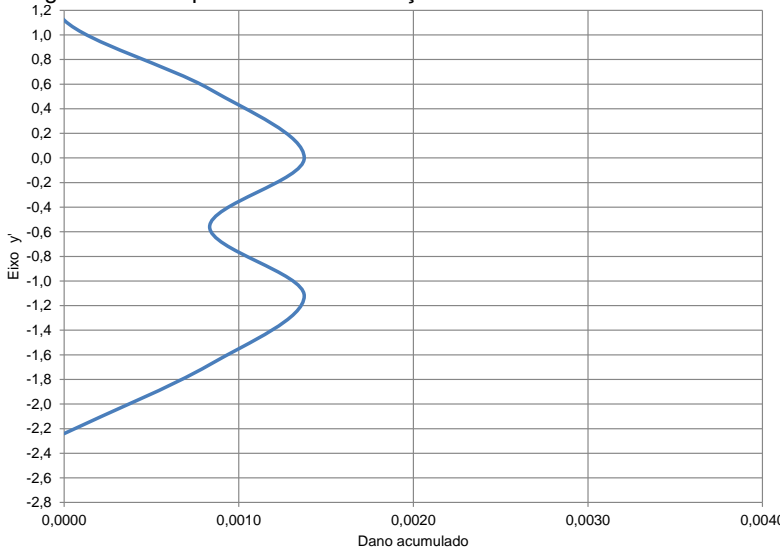
Fonte: O autor.

Figura 7.69 - Perfil de danos acumulados sem varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.



Fonte: O autor.

Figura 7.70 - Perfil de danos acumulados com varredura transversal para o Boeing 747-400 na plataforma de fundação.



Fonte: O autor.

7.5.5 Estrutura 06

A Figura 7.71 mostra a configuração da simulação da estrutura. A Tabela 7.21 mostra o resultado do cálculo dos danos acumulados para a estrutura 06.

Figura 7.71 - Configuração da estrutura 06 simulada.

Revestimento	Revestimento	EB10-BBA-D Classe 2	E (25°C, 10Hz) 2.492 Mpa	μ 0,35	4 cm
	Ligação	EB14-BBME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	8 cm
Base	Base	EB14-EME Classe 1	E (25°C, 10Hz) 15.210 Mpa	μ 0,35	10,5 cm
Plataforma de fundação	Transição	GNT-1	GNT-1 540 Mpa	μ 0,35	25 cm
	Solo tratado	Solo com calcário	PF-3 180 Mpa	μ 0,35	100 cm
	Solo natural	Solo in natura	PF-3 65 Mpa	μ 0,35	H total = 147,5 cm

Fonte: O autor.

Tabela 7.21 - Resumo dos danos acumulados para a estrutura 06.

Local	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
Base (1)	3,554587	0,263810	1,125879	0,899436	5,843712
Base (2)	0,531581	0,055950	0,220321	0,206440	1,014292
Fundação (3)	0,016017	0,003966	0,018109	0,007159	0,045251
Fundação (4)	0,002824	0,000866	0,002005	0,001552	0,007246

(1) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (sem varredura);

(2) Dano na fibra inferior da camada asfáltica (com varredura);

(3) Dano no topo da plataforma de fundação (sem varredura);

(4) Dano no topo da plataforma de fundação (com varredura).

Fonte: O autor.

8 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Para um projeto eficiente de pavimentação de uma pista aeroportuária é de fundamental importância o conhecimento do comportamento mecânico dos materiais que compõe a estrutura do pavimento, além do tráfego previsto.

Foram realizadas visitas ao terreno para conferência das coordenadas geográficas (local de implantação) e sequencialmente foram realizados as primeiras sondagens à trado, em locais estrategicamente escolhidos, de forma a caracterizar o real subleito da pista aeroportuária. Depois foi realizada coleta de solo do subleito para ensaio em laboratório e também sondagens a percussão. Um resumo do perfil geotécnico é apresentando no apêndice deste trabalho.

As sondagens e ensaios mostraram que o subleito é constituído de material denominado: areia fina siltosa de cor preta, em um primeiro momento julgou-se que o material teria um módulo de rigidez baixo, paralelamente foram selecionadas alternativas para o tratamento do solo para melhorar as condições de suporte. A solução proposta foi a utilização de calcário calcítico para o tratamento do último metro da camada de subleito. O calcário foi coletado em Botuverá/SC e conduzido ao laboratório para realização do ensaio para determinação do módulo de resiliência da mistura de solo com calcário calcítico.

Segundo as premissas da metodologia DGAC (2016) conforme for o posicionamento (profundidade) do substrato rígido (rocha firme) há um tratamento diferenciado para o dimensionamento do pavimento. As sondagens a percussão mostram que após 7,45 m e 6,45 m de profundidade, nas sondagens SP-01 e SP-02, não foi encontrado o substrato rígido, sendo assim o cálculo seguiu a recomendação para substrato em profundidades superiores a 6,00 m.

As amostras de solo do subleito foram preparadas e enviadas ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo (USP), cujos resultados foram:

- $M_r = 65,0$ MPa (solo natural);
- $M_r = 180,0$ MPa (solo tratado com calcário).

Para compor a movimentação de aeronaves previstas no aeroporto do complexo intermodal foram seguidas como premissas as informações do relatório da SCPAr (2010) quanto ao comportamento das movimentações de cargas configurando o

tráfego gerado e também foi prevista a inclusão de uma parcela da movimentação dos aeroportos da região como tráfego desviado.

Sendo assim foi possível definir a lista de aeronaves que irão operar e também a lista reduzida de aeronaves utilizadas no dimensionamento, conforme DGAC (2014 e 2016). Com estas informações, foi definida a classe de tráfego, como sendo CT4. As aeronaves utilizadas no dimensionamento foram: Airbus A-380-800, Boeing 747-400, Antonov An-124 e Antonov An-225.

Como parte da metodologia também é necessário o conhecimento das temperaturas regionais dos meses mais quentes e dos meses mais frios, para o cálculo do tipo de clima e da temperatura equivalente, que para este caso ficou definido como clima tropical e temperatura equivalente de 25°C. De posse da classe de tráfego e do tipo de clima se determina o nível de solicitação, que neste cenário é NS4.

Como forma de proporcionar uma plataforma de fundação com melhor capacidade, foi proposta a utilização de uma camada de transição de granular não tratado (GNT). O material foi coletado na pedreira Rudnick Minérios em Joinville/SC e ensaiado no Laboratório de Pavimentação da UFSC, campus Joinville/SC.

De forma a atender o requisito para uma GNT a ser utilizada em camada de transição onde o nível de solicitação é NS4 o material foi enquadrado na granulometria 0/63 para GNT do tipo 1.

Demais ensaios, como adesividade, abrasão Los Angeles, teor de finos e compactação foram realizados para confirmar a possibilidade de utilização deste material para a camada pretendida. Seguindo as recomendações de progressão modular a camada de transição possui módulo de rigidez de 540,0 MPa, sendo assim a plataforma de fundação é enquadrada como PF4.

Para a camada de base e camada de ligação entre base e revestimento foram utilizados materiais asfálticos provenientes de fontes nacionais de exploração e comercialização, sendo as suas dosagens e granulometrias definidas de acordo com ensaios laboratoriais realizados de acordo com a metodologia francesa.

A metodologia francesa recomenda a utilização de grave betume (GB) ou mistura de módulo elevado (EME) para compor a camada de base de pavimentos com nível de solicitação NS4.

A mistura asfáltica escolhida foi dosada e ensaiada pelo Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação GDPPav da UFSC através de um estudo desenvolvido com o apoio da Petrobrás sob a coordenação do Prof. Dr. Leto Momm e do Prof. Dr. Breno Salgado Barra. Conforme GDPPav (2015) estas misturas

foram posteriormente ensaiadas nos laboratórios da França, onde os resultados apresentados foram semelhantes, o que caracteriza a fidelização dos resultados. A mistura selecionada foi:

- Mistura asfáltica CAP 10/20 Convencional 15,9mm de módulo elevado.

Foram realizados ensaios de módulo de rigidez complexo a diversas frequências e temperaturas. O ensaio de fadiga foi realizado a temperatura de 10°C (conforme a temperatura equivalente da França) e também a 30°C (temperatura mais próxima à realidade brasileira). O módulo utilizado no dimensionamento foi obtido através de interpolação para uma temperatura de 25°C na frequência de 10 Hz. Os parâmetros relacionados à fadiga do material foram calculados tomando como base os resultados dos ensaios realizados a 30°C com frequência de 25 Hz. Sendo assim, para a camada de base e ligação foi utilizado:

- Módulo de rigidez = 15.210 MPa (25°C e 10 Hz).

O tipo de revestimento asfáltico utilizado no dimensionamento segue o indicado na norma francesa, que em função no nível de solicitação e seção de pista é sugerida a utilização do Concreto asfáltico Aeronáutico (BBA). Os módulos foram extraídos da biblioteca do *Alizé-Aéronautique*, IFSTTAR (2016), sendo:

- Módulo de rigidez = 2.492 MPa (25°C e 10 Hz).

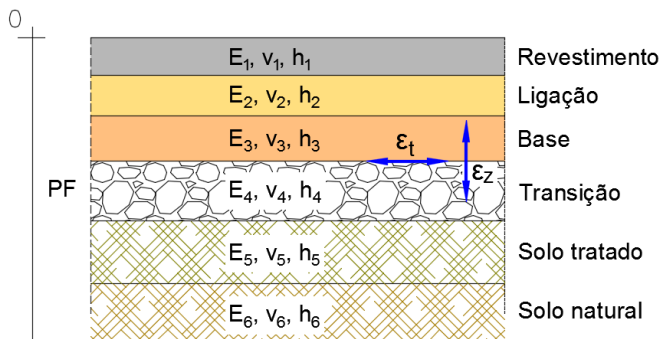
A ferramenta de cálculo *Alizé-Aéronautique* publicada em 2016 é comercializada a um alto valor em euros e não é fornecida gratuitamente, porém foi disponibilizada pelo IFSTTAR uma versão demonstrativa onde é possível ter acesso às informações da biblioteca de aeronaves e de misturas asfálticas.

A ferramenta de cálculo *Viscoroute* é distribuída gratuitamente e realiza cálculos de tensão e deformação para um sistema de multicamadas considerando um comportamento elástico e/ou viscoelástico dos materiais.

O dimensionamento foi realizado com apoio do “*Viscoroute*” onde foi realizada uma adequação no formato de carregamento conforme os trens de pouso de aeronaves, para possibilitar a análise tridimensional em grelha de dados, a geometria das aeronaves são apresentadas no apêndice deste trabalho.

Conforme já descrito os danos foram calculados na fibra interior da camada de base e no topo da plataforma de fundação conforme mostra a Figura 8.1, primeiramente sem a consideração de variação no posicionamento transversal da aeronave durante as operações de pousos e decolagens, chamado de forma simplificada de varredura.

Figura 8.1 - Danos avaliados no cálculo da estrutura do pavimento para este estudo.



Fonte: O autor.

Os danos individuais e acumulados são calculados sem varredura de forma a obter o valor individual de dano em cada posicionamento do perfil do eixo y . Após o cálculo do dano sem varredura se realiza o cálculo do dano com varredura, que por sua vez utiliza os dados do cálculo anterior e faz a distribuição estatística dos resultados, calculando cada dano individual e depois o acumulado.

Por critério do projetista o parâmetro de partida para definir a estrutura ideal pode não considerar a varredura (a favor da segurança), porém de acordo com as recomendações do DGAC (2016) o critério limite ideal a ser utilizado é o que leva em consideração a varredura transversal (a favor da economia).

Para esta dissertação o valor limite utilizado como referência nas simulações foram os que consideraram a varredura, tanto na fibra inferior da base quanto na fibra superior da plataforma. Sendo esta premissa tomada, foram realizadas 14 simulações numéricas de estruturas para atender os parâmetros do projeto, porém devido à extensa malha de informações das simulações, neste trabalho são apresentadas as seis simulações que mais se aproximam das condições requeridas. Os dados resumidos dos cálculos das principais simulações realizadas são apresentados nas Tabelas 8.1 à 8.4, lembrando que as estruturas 01 e 02 foram simuladas no domínio da elasticidade linear e as estruturas 03 a 06 no domínio da viscoelasticidade linear.

Tabela 8.1 - Danos na fibra da camada inferior da camada betuminosa sem considerar a variação da transversal.

Estrutura	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
1	2,159214	0,199648	0,762422	1,317000	4,438284
2	2,344906	0,216818	0,827990	1,430262	4,819976
3	3,876262	0,254421	1,226140	0,837541	6,194364
4	2,331177	0,171078	0,764052	0,636570	3,902877
5	3,089992	0,239911	0,959807	0,799661	5,089370
6	3,554587	0,263810	1,125879	0,899436	5,843712

Fonte: O autor.

Tabela 8.2 - Danos na fibra da camada inferior da camada betuminosa considerando a variação da transversal.

Estrutura	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
1	0,399750	0,052857	0,183786	0,340000	0,976393
2	0,434129	0,057402	0,199592	0,369240	1,060363
3	0,586544	0,058093	0,248535	0,217759	1,110931
4	0,336185	0,036015	0,151628	0,147012	0,670839
5	0,444507	0,050018	0,189292	0,183895	0,867713
6	0,531581	0,055950	0,220321	0,206440	1,014292

Fonte: O autor.

Tabela 8.3 - Danos no topo da plataforma de fundação sem considerar a variação da transversal.

Estrutura	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
1	0,000234	0,000049	0,000206	0,025000	0,025489
2	0,000254	0,000053	0,000224	0,027150	0,027681
3	0,000332	0,000064	0,000274	0,000128	0,000798
4	0,000221	0,000044	0,000191	0,000092	0,000549
5	0,013118	0,003489	0,015988	0,006275	0,038870
6	0,016017	0,003966	0,018109	0,007159	0,045251

Fonte: O autor.

Tabela 8.4 - Danos no topo da plataforma de fundação considerando a variação da transversal.

Estrutura	Airbus A380-800	Antonov An-124	Antonov An-225	Boeing 747-400	Dano acumulado
1	0,000040	0,000010	0,000023	0,000996	0,001070
2	0,000044	0,000011	0,000025	0,001082	0,001162
3	0,000054	0,000012	0,000027	0,000025	0,000118
4	0,000037	0,000009	0,000019	0,000019	0,000084
5	0,002318	0,000770	0,001789	0,001375	0,006252
6	0,002824	0,000866	0,002005	0,001552	0,007246

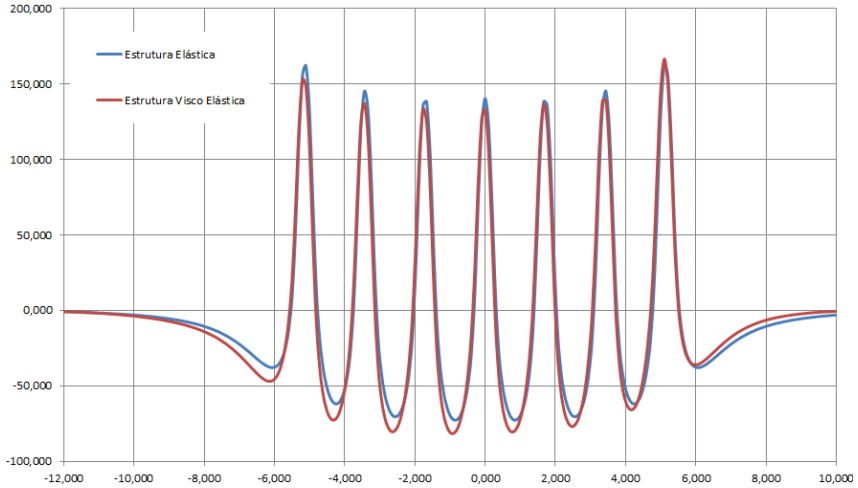
Fonte: O autor.

Entre as duas estruturas simuladas considerando o princípio da elasticidade linear (estruturas 01 e 02) a estrutura 01 apresentou o melhor resultado no quesito de segurança e economia, como se pode observar nos resultados das simulações do desempenho das estruturas de pavimentação detalhadas no capítulo anterior. Já entre as quatro estruturas simuladas considerando o princípio da viscoelasticidade linear (estruturas 03 a 06) a estrutura 05 apresentou o melhor resultado. Onde para ambos os casos o dano acumulado total na fibra inferior da última camada asfáltica foi menor e próximo a 1,0.

Porém observa-se que os resultados obtidos para as duas considerações: elástica e viscoelástica apresentam resultados levemente diferentes, devido à presença do fenômeno de fluência e relaxação dos materiais quando submetidos a carregamento dinâmico.

A Figura 8.2 mostra um comparativo entre as deformações horizontais da mesma estrutura, porém uma delas considerando a elasticidade e outra considerando a viscoelasticidade.

Figura 8.2 - Variação da deformação para uma mesma estrutura (cálculo elástico e cálculo viscoelástico).



Fonte: O autor.

A estrutura elástica possui um comportamento simétrico em relação às deformações de cada roda, que neste caso é o trem de pouso da aeronave Antonov-An225. A estrutura viscoelástica apresenta um comportamento assimétrico, o que indica a presença de fluência e relaxação.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo realizado buscou mostrar a aplicabilidade de tecnologias de ponta para o dimensionamento de uma estrutura de pavimentação para uma pista de pousos e decolagens em um cenário real. O local escolhido para este estudo de caso é o complexo intermodal pretendido em Santa Catarina e a tecnologia foi à utilizada hoje na França.

O desenvolvimento e aplicação de tecnologias na área da engenharia aeroportuária para ampliação da capacidade e qualidade dos nossos aeroportos é um assunto importante que merece destaque. As aeronaves estão ficando cada vez mais modernas, eficientes, seguras e mais pesadas.

O dimensionamento foi calculado de duas formas diferentes, a primeira (estruturas 01 e 02) levou em conta somente os parâmetros de elasticidade linear e a segunda (estruturas 03 a 06) levou em conta parâmetros que consideram as propriedades viscoelásticas dos materiais asfálticos. Nesta segunda situação, as propriedades foram extraídas dos resultados dos ensaios realizados pelo GDPPav (2015), o qual utilizou a ferramenta de cálculo *Viscoanalyze*.

O lançamento das estruturas no *Viscoroute*, após as adaptações para o uso, gerou uma malha tridimensional de deformações, tanto do eixo x quanto no y nas profundidades selecionadas para cada caso. Estes dados foram extraídos e organizados em tabelas de forma a serem utilizados para gerarem os cálculos de danos individuais em cada posicionamento transversal da seção de projeto para cada aeronave. Tanto para as análises das deformações na fibra inferior da base quanto no topo da plataforma de fundação.

Estes dados permitiram o cálculo através de distribuição normal centralizada com integral definida, dos danos acumulados considerando a variação transversal do posicionamento das aeronaves (varredura transversal). Gerando assim os gráficos de danos acumulados em função deste efeito também, para cada aeronave em cada simulação de estrutura.

O dimensionamento levou em conta as propriedades mecânicas das misturas asfálticas no quesito da amplitude de deformação em função da temperatura e da frequência de solicitação. Também foi levada em conta a definição da temperatura equivalente no dimensionamento.

No caso das simulações 03 a 06 foram considerados carregamentos dinâmicos ao invés de estacionários. Todas as simulações levaram em conta a varredura transversal.

As estruturas simuladas mostram o somatório de danos acumulados referente ao número total de passagens das aeronaves previstas. Conforme prevê a metodologia o dano acumulado total considerando a varredura transversal deve ser menor e próximo a 1,0, sendo assim a estrutura 01 (análise elástica) e estrutura 5 (análise viscoelástica) apresentam os melhores resultados.

Como resultado foi observado que a estrutura 05 necessitou de 1,0cm a mais de espessura de camada asfáltica, quando comparada à estrutura 01, para manter o dano acumulado inferior a 1,0, mostrando que a análise viscoelástica é importante.

Foi observado durante o processamento das informações que a no perfil do eixo x, em trens de pouso com rodas simétricas, os gráficos de deformação são simétricos também para os casos de análise elástica e que são assimétricos nos casos de análise viscoelástica. Este fenômeno é explicado em função da fluência e relaxação dos materiais quando expostos às solicitações dinâmicas.

Outro ponto percebido é que na simulação viscoelástica as deformações são levemente atenuadas na plataforma de fundação e mais concentradas na superfície e base, quando comparadas as simulações realizadas na condição puramente elástica.

Constatou-se também que a aeronave mais pesada não é necessariamente a que confere maior dano no pavimento. O tráfego previsto para o Airbus A380-800 (571,0tf) é o dobro do previsto para o Antonov-225 (650,0tf). Em uma situação onde hipoteticamente o número de passagens fosse o mesmo, o Airbus causaria maior dano ao pavimento, mesmo tendo o Antonov o maior peso total. Isso se deve à geometria do posicionamento das rodas dos trens de pouso da aeronave e distribuição do carregamento.

Durante as simulações e cálculos dos danos no pavimento, foi observado, que diferentemente do que acontece nos pavimentos rodoviários, o maior dano acontece embaixo de uma das rodas do trem de pouso e não na meia distância entre as duas rodas. Conclui-se que esta situação é função da distância entre as rodas dos trens de pouso, que no caso aeroportuário é na ordem de 1,00 m a 1,50 m, enquanto que no rodoviário é na ordem de 0,32 m.

Para este dimensionamento, conforme as recomendações do DGAC, o ponto crítico no dimensionamento foi a deformação de tração na flexão da fibra inferior da camada asfáltica, sendo este parâmetro do indicador da melhor solução de pavimentação.

Também foi percebido que a tecnologia de dimensionamento de pavimentos, utilizada neste estudo, faz um tratamento diferenciado no cálculo quando o substrato rígido (rocha firme) está em profundidades menores que 6,00 m.

A metodologia francesa de concepção de pavimentos asfálticos foi aplicada a uma realidade brasileira. Todos os fatores, condições e elementos necessários para o dimensionamento de pavimento asfáltico aeroportuário através do método racional, foram analisados.

Como sugestão de estudos futuros tem-se a necessidade de um estudo aprofundado sobre movimentação aeroportuária para um estudo de tráfego apurado que considere todos os fatores e ferramentas necessárias para prever as movimentações aeroportuárias, principalmente em se falando de uma situação onde há a implantação de um aeroporto pioneiro.

Existe a necessidade de maiores estudos relacionadas ao revestimento asfáltico aeronáutico BBA, principalmente nos quesitos de segurança, como drenagem e aderência pneu-pavimento.

Um tópico importante que deve ser estudado é o efeito de diferentes formatos de representação da área de contato entre o pneu da aeronave e o pavimento. As recomendações do DGAC (2016) citam o formato circular, porém este assunto pode ser mais discutido em estudos futuros.

Em função das dimensões dos agregados britados e grande dificuldade de se realizar um ensaio triaxial para determinação do módulo de rigidez do material granular não tratado (GNT), que neste estudo foi utilizado como camada de transição, sugere-se um estudo detalhado e específico para este tipo de material, abordando a determinação do módulo de rigidez do mesmo.

Também é assunto que merece ser abordado em estudo futuro, uma análise comparativa para uma mesma simulação, entre as metodologias de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da *Federal Aviation Administration* (FAA) e da *Direction Générale de L'Aviation Civile* (DGAC), metodologias americana e francesa respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR, Association Française de Normalisation. **NF Norme Française EN 13285 Graves non traitées** - Spécifications. France, 2004.
- AIRBUS, Airbus Société par Actions Simplifiée. **A330 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning**. Technical Data Support and Services. Blagnac Cedex, France, 2016.
- AIRBUS, Airbus Société par Actions Simplifiée. **A380 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning**. Technical Data Support and Services. Blagnac Cedex, France, 2016.
- ALVES, Claudio Jorge Pinto. Aeroportos. **Notas de aula da disciplina de Projeto de Aeroporto**. Departamento de Transportes Aéreos, ITA - Instituto tecnológico de aeronáutica. São José dos Campos, 2007.
- ANAC, **Agência Nacional de Aviação Civil**. Disponível em <<http://www.anac.gov.br>>. Acesso em agosto de 2012.
- AZIMUTE, Consultoria e Projetos de Engenharia. **Relatório de Campo de Sondagens à Trado**. Sondagens realizadas em junho de 2016. Joinville, 2016.
- BARRA, Breno Salgado. **Avaliação da Água no Módulo Complexo e na Fadiga de Misturas Asfálticas Densas**. Tese de Doutorado. Florianópolis: UFSC Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, 2009.
- BARRA, Breno; HORNYCH, Pierre; BROSSEAUD, Yves; MOMM Leto, SOARES, Jorge. **Metodologia Francesa para o dimensionamento de estruturas de pavimentos de concreto asfáltico**. Artigo técnico: Revista Pavimentação. Ano V, Nº 18. ABPV (Associação Brasileira de Pavimentação), 2010.

- BARRA, Breno; MOMM, Leto; BROSSEAUD, Yves; HORNYCH, Pierre. **Diretrizes para a formulação e avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas.** Artigo técnico: Revista Pavimentação. Ano V, Nº 17. ABPV (Associação Brasileira de Pavimentação), 2010.
- BERNUCCI, L. B., MOTTA L. G., CERATTI, J. P., SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro. PETROBRAS: ABEDA, 2008.
- BOEING, Commercial Airplanes. **747 400 Airplane Characteristics for Airport Planning.** Washington, United States of America, 2015.
- BOEING, Commercial Airplanes. **777 200 Airplane Characteristics for Airport Planning.** Washington, United States of America, 2015.
- DE LA ROCHE, C. **Module de Rigidité et Comportement em Fatigue des Enrobés Bitumineux.** Tese (Doutorado). École Central de Paris. France, 1996.
- DGAC, Direction Générale de l'Aviation Civile. **Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussés aéronautiques souples.** Guide technique, première édition, V1 2/01/2014. France, 2014.
- DGAC, Direction Générale de l'Aviation Civile. **Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussés aéronautiques souples.** Guide technique, deuxième édition, V2 Octobre 2016. France, 2016.
- DGAC, French Civil Aviation Authority. **Rational design method for flexible airfield pavements.** Technical guide. 2nd edition V1.2 October 2016. English version. France, 2016.
- DIRENG, Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. **Especificações Gerais para Obras de Infraestrutura Aeroportuária.** 04.05.610: Concreto Betuminoso Usinado à Quente. Rio de Janeiro; 2002.

- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Estudos de Tráfego**. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006.
- DONGMO-ENGELAND, B-J. **Caracterisation des Deformations d'Orniérage des Chaussées Bitumineuses**. Tese (doutorado) Ingénieur. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. France, 2005.
- FAA, Federal Aviation Administration. **Airport pavement design and evaluation**. Advisory circular number 150/5320-6D. USA Department of Transportation. AASAC, 1995.
- FAA, Federal Aviation Administration. **Airport pavement design and evaluation**. Advisory circular number 150/5320-6E. USA Department of Transportation. AASAC, 2009.
- FIESC, Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina. **Relatório Santa Catarina em Dados**. Florianópolis, 2015.
- FORTES, Rita Moura. **Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Rígidos - Método FAA (Federal Aviation Administration)**. Notas de aula da disciplina de Aeroportos, São Paulo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007.
- FUNDACE, Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia. **Boletim de Movimento Aeroportuário**. Ano III, Ago/2015. Prof. Dr. Sérgio Naruhiko Sakurai e Jenifer Barbosa. Ribeirão Preto, 2015.
- GDPPav, Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação. **Caracterização do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Segundo Metodologias Francesas**. Relatório Final do Plano de Atividades do Projeto. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis, 2015.

- GEOFORMA, Engenharia Ltda. **Relatório de Ensaios**. Análise granulométrica, limites de Atterberg e massa específica real dos grãos. Ensaios realizados em agosto de 2016. Joinville, 2016.
- GUIDE TECHNIQUE, **French Design Manual for Pavement Structures - Guide Technique (English Version)**. Published by Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) and Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), 1997.
- HECK, J. V. **Modélisation des déformations réversibles et permanentes des enrobés bitumineux**. Application a l'ornièrage des chaussées. Tese (Doutorado). Université de Nantes. France, 2001.
- HENIA, Mehdi Ould. **Modélisation et prédiction du comportement rhéologique des mélanges bitume caouthouc**. Tese (Doutorado), École Polytechnique Fédérale de Lausanne, France, 2005.
- HUET, C. **Étude par une méthode d'impédance du comportement viscoélastique des matériaux hydrocarbonés**. Tese (Doutorado). Faculté des Sciences de l'Université de Paris. France, 1963.
- IAC, Instituto de Aviação Civil. **Manual de Implementação de Aeroportos**. Rio de Janeiro: Comando da Aeronáutica, Departamento da Aviação Civil, 2007.
- ICAO, International Civil Aviation Organization. **Annex 14 Aerodrome Design and Operations: The Convention of International Civil Aviation**. Fourth edition. Chicago, 2004.
- IFSTTAR, Institut Francais Des Sciences Et Technologies Des Transports, De L'amenagement Et Des Reseaux. **Logiciel Alizé-Aéronautique**. Version demo pour Dimensionnement des chaussées neuves aéronautiques, souples et bitumineuses. Alize-LCPC. France, 2016.

INFRAERO, **Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária**. Disponível em <<http://www.infraero.gov.br>>. Acesso em setembro de 2015.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Boletim agroclimatológico**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em dezembro de 2016.

LCPC, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. **Logiciel ViscoRoute 2.0**. Analyse viscoélastique semi-analytique des chaussées sous passage de charges roulantes. ViscoRoute-LCPC-ENPC. France, 2009.

MANUEL LPC. **Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés. Groupe de Travail RST "Formulation des enrobés"**. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris, France, 2007.

MEDINA, Jaques de. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.

MELO, João Victor Staub de. **Desenvolvimento e estudo do comportamento reológico e desempenho mecânico de concretos asfálticos modificados com nanocompósitos**. Tese de doutorado. UFSC Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2014.

PÉREZ, Yader Alfonso Guerrero. **Avaliação do Desempenho Mecânico e Reológico de Misturas Asfálticas Mornas**. Tese de doutorado. UFSC Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2013.

MINHOTO, Manuel Joaquim da Costa. **Consideração da temperatura no comportamento à reflexão de fendas dos reforços de pavimentos rodoviários flexíveis**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2005.

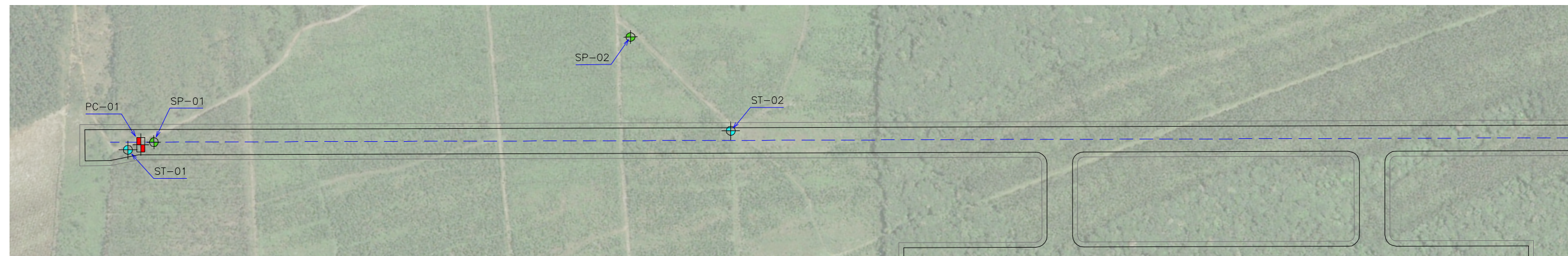
- MOMM, Leto. **Estudo dos Efeitos da Granulometria sobre a Macrot textura Superficial do Concreto Asfáltico e seu Comportamento Mecânico**. Tese de Doutorado. São Paulo: Escola Politécnica da USP Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, 1998.
- PRONK, A. C. **The Huet-Sayegh model: a simple and excellent rheological model for master curves of asphaltic mixes**. ASCE, Louisiana. 2005.
- RIVIÈRE, N. **Comportement en Fatigue des Enrobés Bitumineux**, Tese (Doutorado), Université de Bordeaux I. France, 1996.
- SCPar, Grupo SC Parcerias. **Complexo Intermodal**. Relatório do Projeto, revisão 02. Governo de Santa Catarina, SC. Florianópolis, 2010.
- SILVA JUNIOR, Francisco Alves da; *et al.* **Aplicação do cone de penetração dinâmica no dimensionamento de pavimentação de aeroportos**. Artigo da jornada luso-brasileira de pavimentos. Recife, 2006.
- SHINOHARA, Keyla Junko. **Estudo do Comportamento do Concreto Asfáltico Modificado pelo Polímero EVA no Módulo Complexo e na Fadiga**. Dissertação de Mestrado. UFSC Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2012.
- SÓRIA, Manuel Henrique Alba. **Comprimento de Pista**. Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, USP Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- STAC, Service Technique de l'Aviation Civile. **Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques**. Guide d'application des normes. 2e édition Avril 2009. France, 2009.

- STAC, Service Technique de l'Aviation Civile. **Seminaire du Lancement du Module Alizé Aéronautique De Dimensionnement Des Chaussées Aéronautiques Souples.** Présentation du logiciel et demonstration. France, 2016.
- TERRAFORTE, Sondagens e Engenharia Geotécnica. **Relatório de Campo de Sondagens à Percussão.** Sondagens realizadas em agosto de 2016. Joinville, 2016.
- USP, Universidade de São Paulo. **Resultados dos Ensaio Triaxiais para determinação do módulo de resiliência de amostras de solos.** Ensaio realizados em dezembro de 2016. Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.
- WOLDEKIDAN, M. F. **Response modelling of bitumen, bituminous mastic and mortar.** Dissertação (Mestrado). Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology. The Netherlands, 2011.

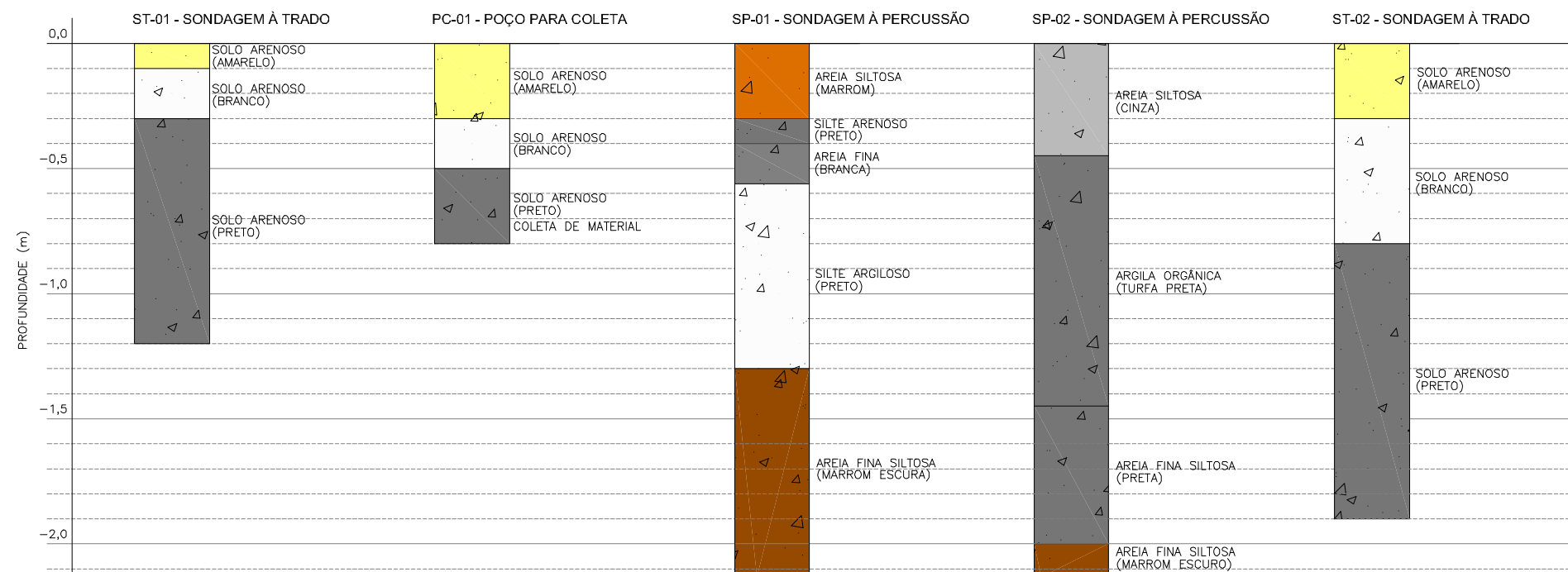
APÊNDICE A - Desenhos

- Perfil Geotécnico da Área de Estudo;
- Geometria Prevista e Seção de Estudo;
- Proposta para a Estrutura de Pavimentação;
- Geometria dos Trens de Pouso - Airbus A380-800;
- Geometria dos Trens de Pouso - Antonov An-124;
- Geometria dos Trens de Pouso - Antonov An-225;
- Geometria dos Trens de Pouso - Boeing 747-400.

POSICIONAMENTO DAS SONDAGENS E COLETAS DE AMOSTRAS
 ESCALA 1/7.500



RESUMO DOS RESULTADOS DAS SONDAGENS



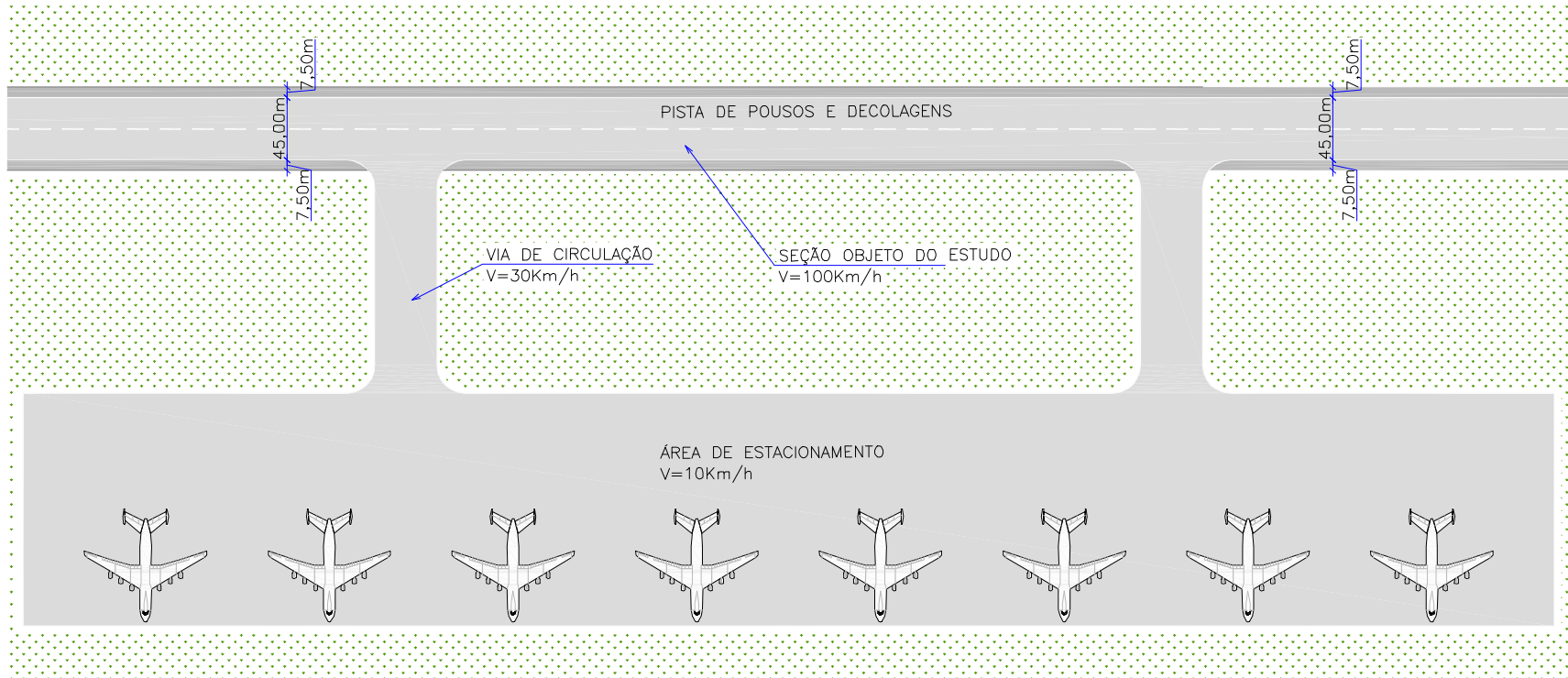
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - UFSC
 ACADÊMICO: GLAUCIANO NECKEL
 ORIENTADOR: BRENO BARRA

PERFIL GEOTÉCNICO DA ÁREA DE ESTUDO

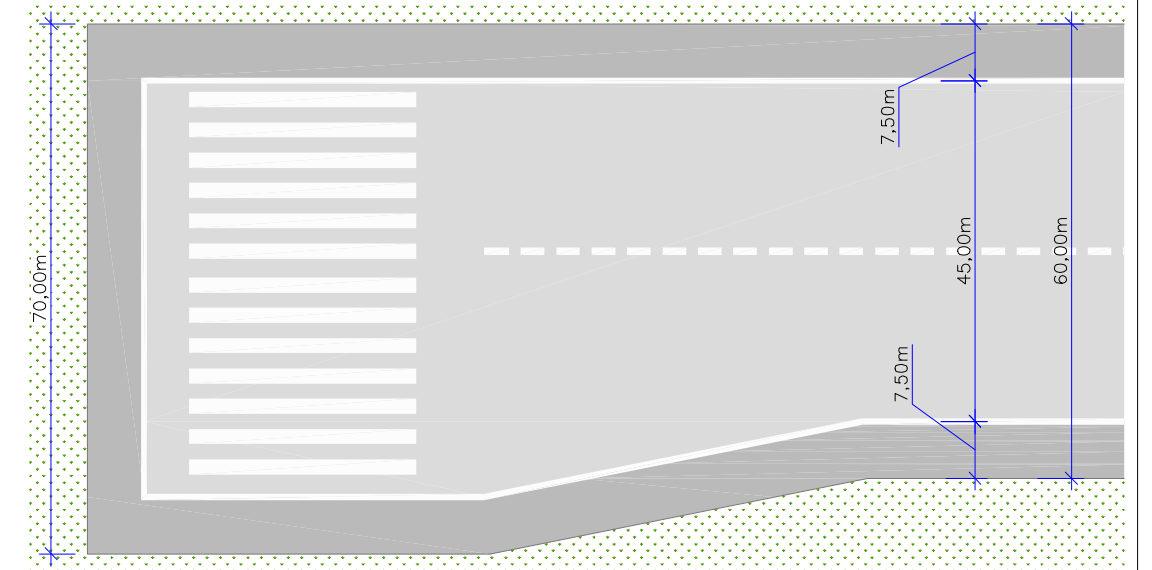
PLANTA BAIXA
ESCALA 1/10.000



DETALHE 02
ESCALA 1/5.000



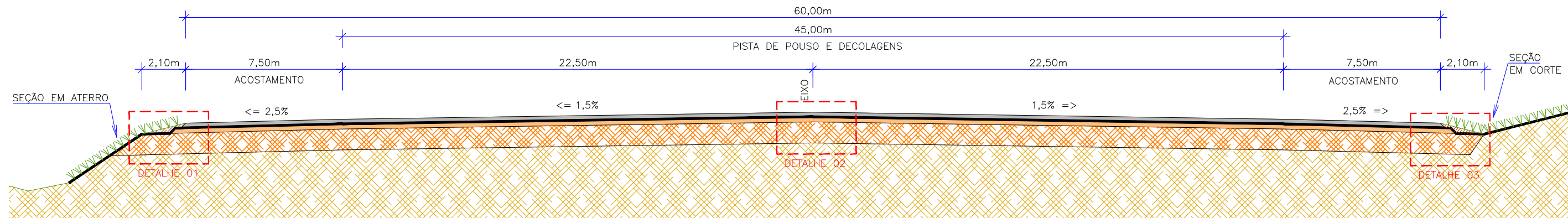
DETALHE 01
ESCALA 1/1.000



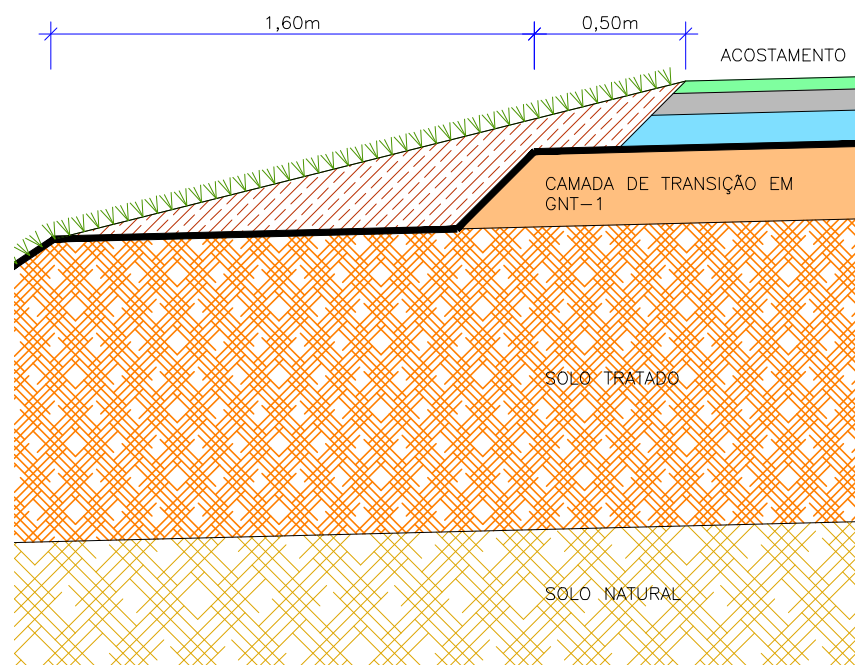
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - UFSC
ACADÊMICO: GLAUCIANO NECKEL
ORIENTADOR: BRENO BARRA

GEOMETRIA PREVISTA E SEÇÃO DE ESTUDO

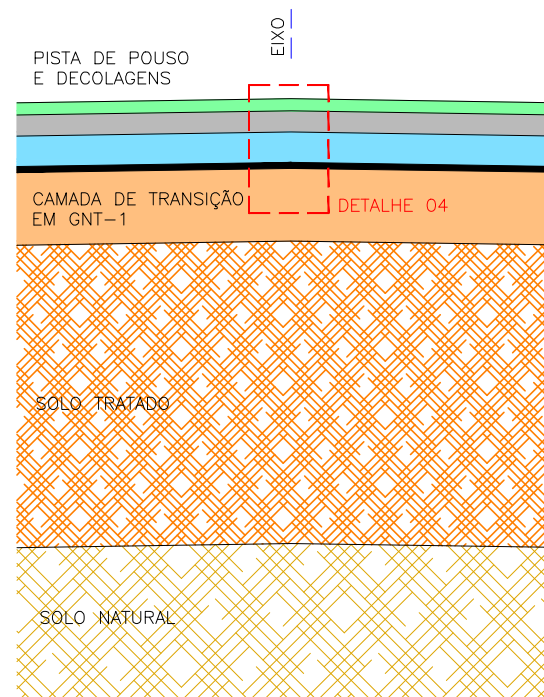
SEÇÃO TRANSVERSAL DE PAVIMENTAÇÃO



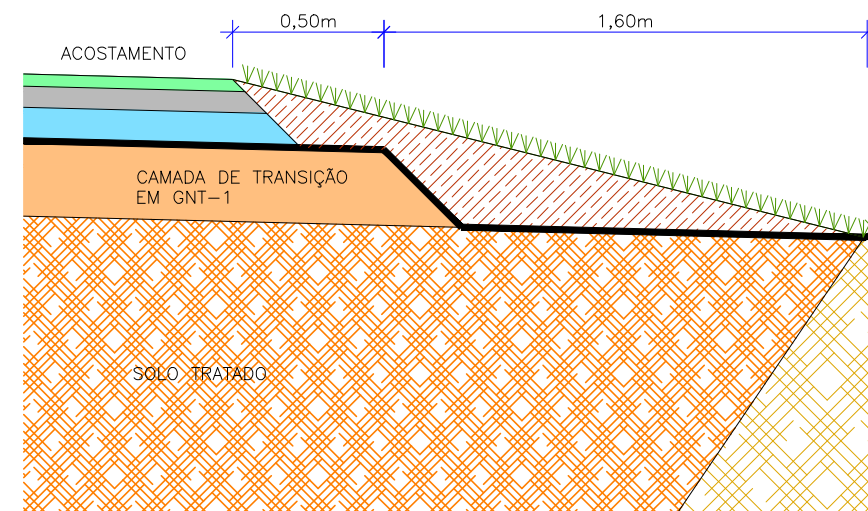
DETALHE 01



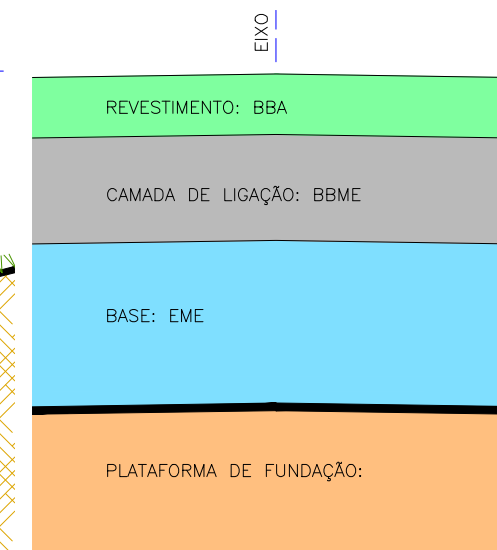
DETALHE 02



DETALHE 03

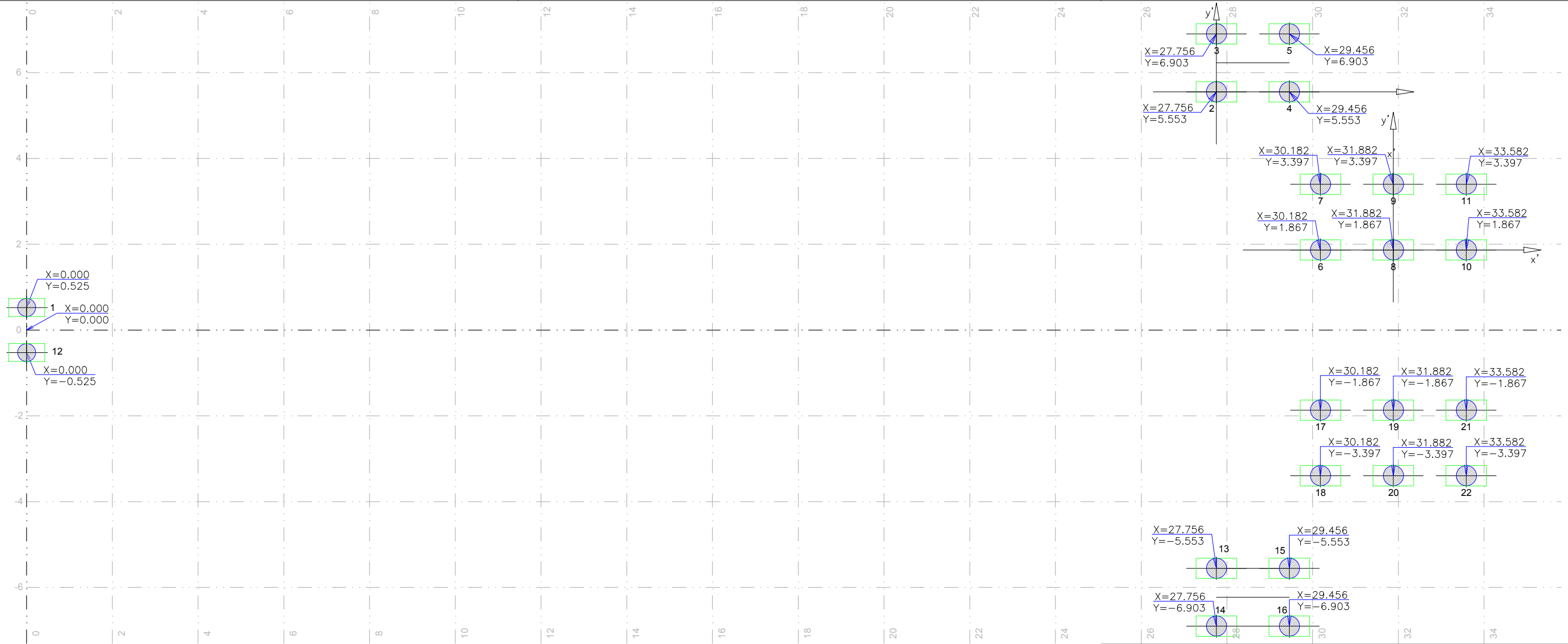


DETALHE 04



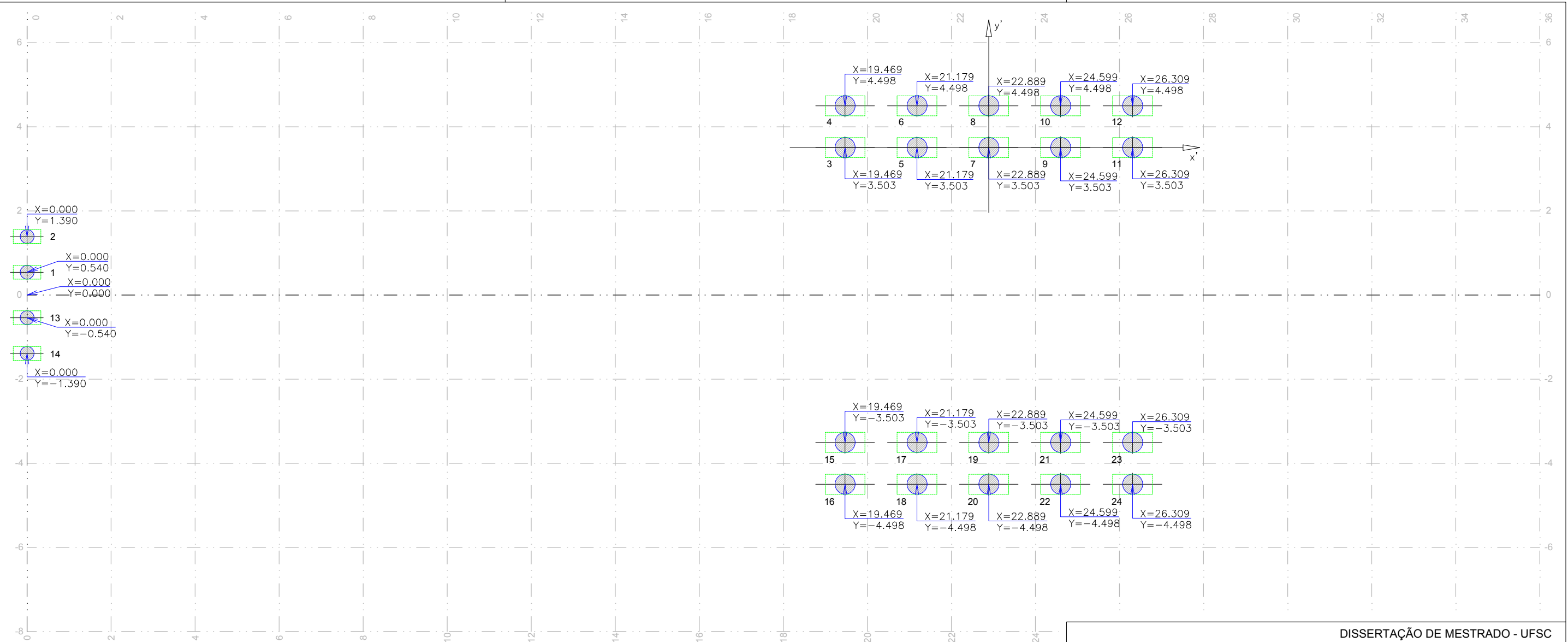
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - UFSC
 ACADÊMICO: GLAUCIANO NECKEL
 ORIENTADOR: BRENO BARRA

PROPOSTA PARA ESTRUTURA DE PAVIMENTAÇÃO



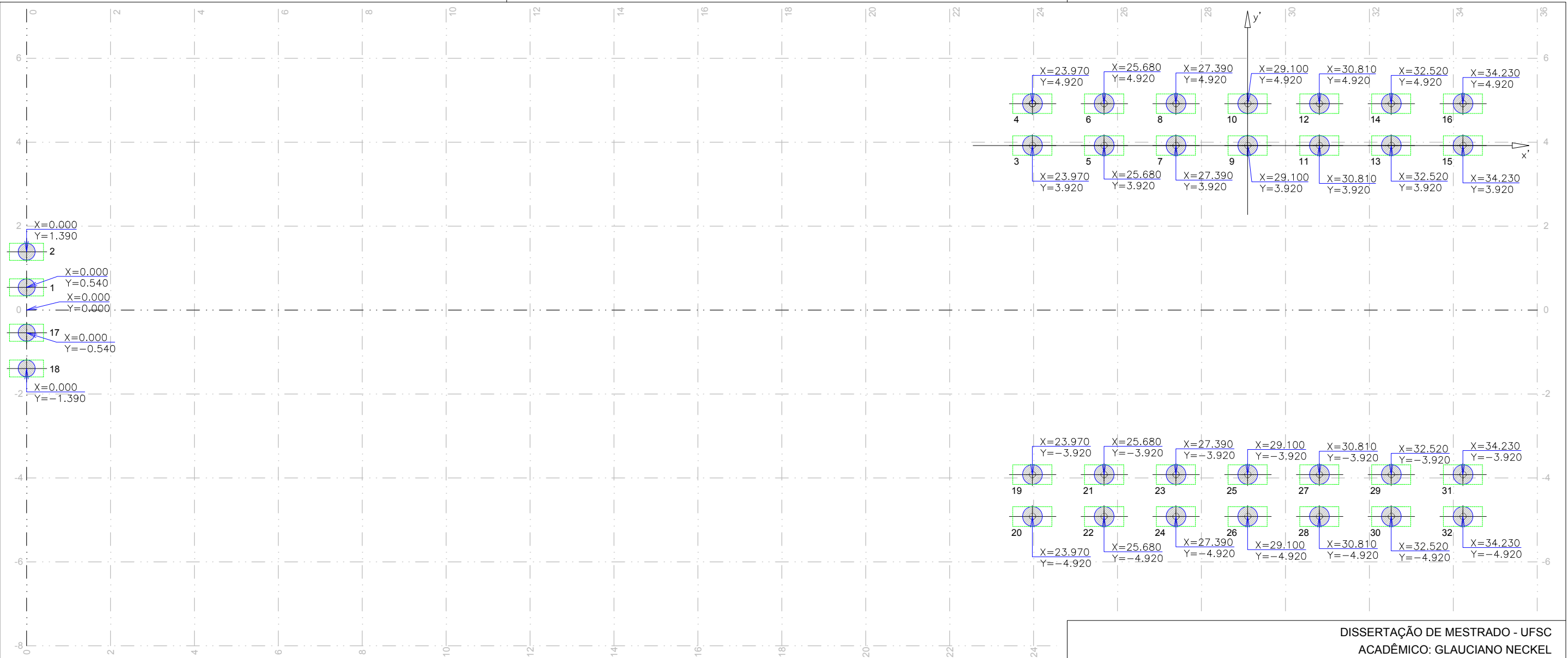
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - UFSC
 ACADÊMICO: GLAUCIANO NECKEL
 ORIENTADOR: BRENO BARRA

GEOMETRIA DOS TRENS DE POUSO
AERONAVE: AIRBUS A380-800



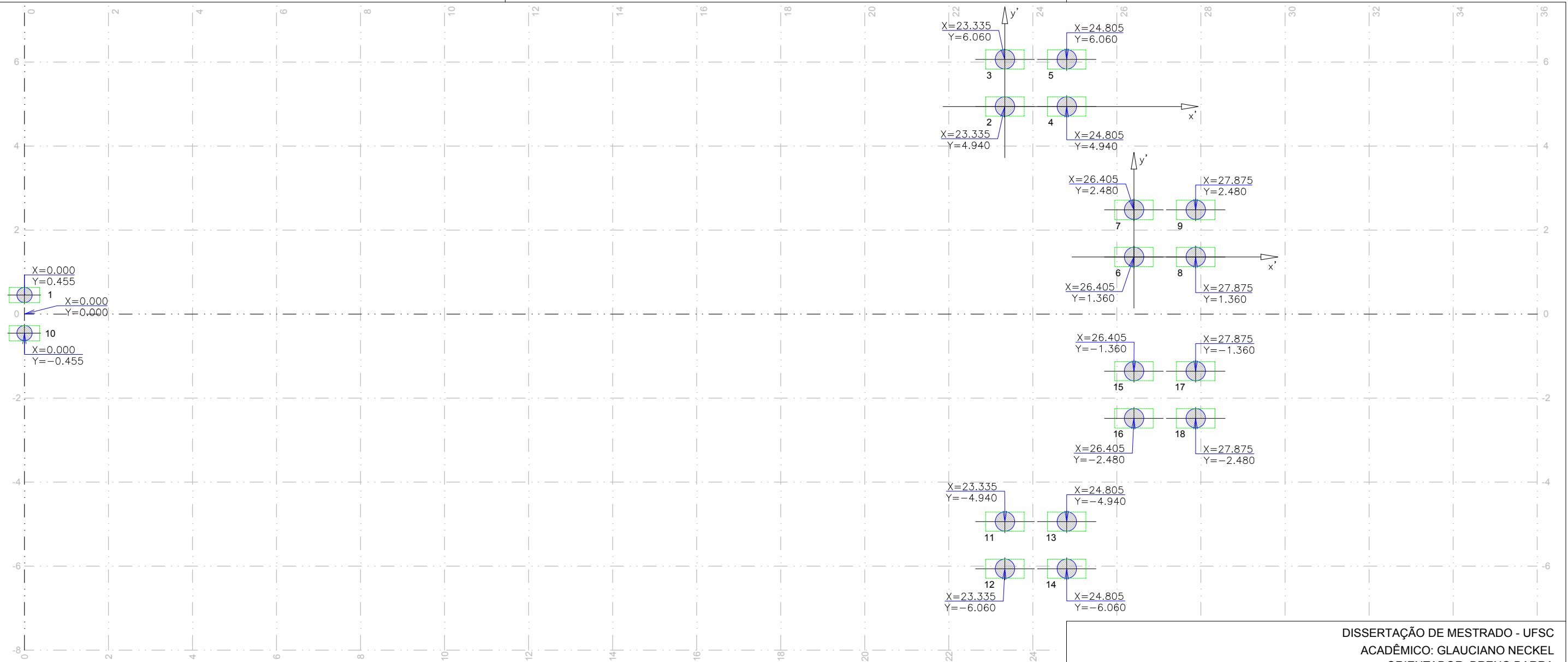
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - UFSC
 ACADÊMICO: GLAUCIANO NECKEL
 ORIENTADOR: BRENO BARRA

GEOMETRIA DOS TRENS DE POUSO
AERONAVE: ANTONOV AN-124



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - UFSC
 ACADÊMICO: GLAUCIANO NECKEL
 ORIENTADOR: BRENO BARRA

GEOMETRIA DOS TRENS DE POUSO
AERONAVE: ANTONOV AN-225



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - UFSC
 ACADÊMICO: GLAUCIANO NECKEL
 ORIENTADOR: BRENO BARRA

GEOMETRIA DOS TRENS DE POUSO
AERONAVE: BOEING 747-400

APÊNDICE B - Cálculo da Estrutura 01

A - CÁLCULO DA ESTRUTURA 01 PARA O AIRBUS A380-800 T1

A.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.1 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-1,70m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{i \text{ max}}$
2,804	-2,749	13,91	-29,46	9,08	15,73
3,000	-2,553	19,18	-33,76	10,21	21,08
3,197	-2,356	27,68	-37,65	11,15	29,53
3,393	-2,160	41,25	-39,45	11,69	42,91
3,590	-1,964	64,39	-34,64	11,64	65,74
3,786	-1,767	104,36	-8,77	10,87	105,39
3,982	-1,571	164,17	93,55	9,36	165,39
4,179	-1,374	200,93	188,66	7,29	204,32
4,375	-1,178	185,19	124,19	5,10	185,61
4,571	-0,982	136,76	-4,69	2,93	136,82
4,768	-0,785	105,90	-44,01	1,01	105,91
4,964	-0,589	104,45	-45,73	-0,79	104,46
5,160	-0,393	131,07	-13,25	-2,68	131,12
5,357	-0,196	180,03	105,80	-4,80	180,34
5,553	0,000	201,85	189,46	-7,06	205,04
5,749	0,196	171,11	111,96	-9,10	172,48
5,946	0,393	111,16	-2,14	-10,72	112,17
6,142	0,589	68,14	-33,14	-11,59	69,45
6,338	0,785	43,57	-39,41	-11,72	45,19
6,535	0,982	28,98	-38,07	-11,24	30,81
6,731	1,178	20,07	-34,31	-10,34	21,97
6,927	1,374	14,43	-30,01	-9,22	16,27
7,124	1,571	10,67	-25,91	-8,04	12,36
7,320	1,767	8,11	-22,25	-6,89	9,60
7,517	1,964	6,24	-19,10	-5,84	7,52
7,713	2,160	4,88	-16,43	-4,91	5,96
7,909	2,356	3,80	-14,19	-4,12	4,70
8,106	2,553	2,99	-12,31	-3,44	3,73
8,302	2,749	2,30	-10,75	-2,87	2,90

Tabela H.2 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-0,85m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{i \text{ max}}$
2,804	-2,749	8,93	-26,82	0,24	8,93
3,000	-2,553	8,33	-26,74	-0,22	8,33
3,197	-2,356	5,64	-23,22	-1,10	5,68
3,393	-2,160	-0,60	-14,01	-2,52	0,00
3,590	-1,964	-11,92	3,00	-4,33	4,17
3,786	-1,767	-28,31	27,42	-5,59	27,98
3,982	-1,571	-45,51	52,67	-4,80	52,90
4,179	-1,374	-54,74	65,59	-0,82	65,60
4,375	-1,178	-50,46	59,09	3,81	59,22
4,571	-0,982	-37,69	39,93	4,36	40,18
4,768	-0,785	-27,33	24,44	2,03	24,52
4,964	-0,589	-26,64	23,41	-1,60	23,46
5,160	-0,393	-36,06	37,50	-4,22	37,74
5,357	-0,196	-49,12	57,08	-4,05	57,24
5,553	0,000	-54,95	65,85	0,08	65,85
5,749	0,196	-47,29	55,23	4,55	55,43

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
5,946	0,393	-30,56	30,73	5,62	31,24
6,142	0,589	-13,72	5,70	4,55	6,71
6,338	0,785	-1,71	-12,35	2,74	0,00
6,535	0,982	5,09	-22,44	1,25	5,15
6,731	1,178	8,13	-26,53	0,31	8,13
6,927	1,374	8,93	-26,93	-0,20	8,93
7,124	1,571	8,56	-25,38	-0,44	8,56
7,320	1,767	7,66	-22,97	-0,51	7,67
7,517	1,964	6,60	-20,34	-0,51	6,61
7,713	2,160	5,54	-17,81	-0,48	5,55
7,909	2,356	4,56	-15,53	-0,43	4,57
8,106	2,553	3,70	-13,52	-0,37	3,71
8,302	2,749	2,96	-11,80	-0,32	2,97

Tabela H.3 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,00m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,804	-2,749	13,91	-29,46	9,08	15,73
3,000	-2,553	19,18	-33,76	10,21	21,08
3,197	-2,356	27,68	-37,65	11,15	29,53
3,393	-2,160	41,25	-39,45	11,69	42,91
3,590	-1,964	64,39	-34,64	11,64	65,74
3,786	-1,767	104,36	-8,77	10,87	105,39
3,982	-1,571	164,17	93,55	9,36	165,39
4,179	-1,374	200,93	188,66	7,29	204,32
4,375	-1,178	185,19	124,19	5,10	185,61
4,571	-0,982	136,76	-4,69	2,93	136,82
4,768	-0,785	105,90	-44,01	1,01	105,91
4,964	-0,589	104,45	-45,73	-0,79	104,46
5,160	-0,393	131,07	-13,25	-2,68	131,12
5,357	-0,196	180,03	105,80	-4,80	180,34
5,553	0,000	201,85	189,46	-7,06	205,04
5,749	0,196	171,11	111,96	-9,10	172,48
5,946	0,393	111,16	-2,14	-10,72	112,17
6,142	0,589	68,14	-33,14	-11,59	69,45
6,338	0,785	43,57	-39,41	-11,72	45,19
6,535	0,982	28,98	-38,07	-11,24	30,81
6,731	1,178	20,07	-34,31	-10,34	21,97
6,927	1,374	14,43	-30,01	-9,22	16,27
7,124	1,571	10,67	-25,91	-8,04	12,36
7,320	1,767	8,11	-22,25	-6,89	9,60
7,517	1,964	6,24	-19,10	-5,84	7,52
7,713	2,160	4,88	-16,43	-4,91	5,96
7,909	2,356	3,80	-14,19	-4,12	4,70
8,106	2,553	2,99	-12,31	-3,44	3,73
8,302	2,749	2,30	-10,75	-2,87	2,90

Tabela H.4 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,85m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,804	-2,749	8,93	-26,82	0,24	8,93
3,000	-2,553	8,33	-26,74	-0,22	8,33
3,197	-2,356	5,64	-23,22	-1,10	5,68
3,393	-2,160	-0,60	-14,01	-2,52	0,00
3,590	-1,964	-11,92	3,00	-4,33	4,17
3,786	-1,767	-28,31	27,42	-5,59	27,98
3,982	-1,571	-45,51	52,67	-4,80	52,90
4,179	-1,374	-54,74	65,59	-0,82	65,60

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
4,375	-1,178	-50,46	59,09	3,81	59,22
4,571	-0,982	-37,69	39,93	4,36	40,18
4,768	-0,785	-27,33	24,44	2,03	24,52
4,964	-0,589	-26,64	23,41	-1,60	23,46
5,160	-0,393	-36,06	37,50	-4,22	37,74
5,357	-0,196	-49,12	57,08	-4,05	57,24
5,553	0,000	-54,95	65,85	0,08	65,85
5,749	0,196	-47,29	55,23	4,55	55,43
5,946	0,393	-30,56	30,73	5,62	31,24
6,142	0,589	-13,72	5,70	4,55	6,71
6,338	0,785	-1,71	-12,35	2,74	0,00
6,535	0,982	5,09	-22,44	1,25	5,15
6,731	1,178	8,13	-26,53	0,31	8,13
6,927	1,374	8,93	-26,93	-0,20	8,93
7,124	1,571	8,56	-25,38	-0,44	8,56
7,320	1,767	7,66	-22,97	-0,51	7,67
7,517	1,964	6,60	-20,34	-0,51	6,61
7,713	2,160	5,54	-17,81	-0,48	5,55
7,909	2,356	4,56	-15,53	-0,43	4,57
8,106	2,553	3,70	-13,52	-0,37	3,71
8,302	2,749	2,96	-11,80	-0,32	2,97
2,804	-2,749	8,93	-26,82	0,24	8,93

Tabela H.5 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=1,70m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,804	-2,749	13,91	-29,46	9,08	15,73
3,000	-2,553	19,18	-33,76	10,21	21,08
3,197	-2,356	27,68	-37,65	11,15	29,53
3,393	-2,160	41,25	-39,45	11,69	42,91
3,590	-1,964	64,39	-34,64	11,64	65,74
3,786	-1,767	104,36	-8,77	10,87	105,39
3,982	-1,571	164,17	93,55	9,36	165,39
4,179	-1,374	200,93	188,66	7,29	204,32
4,375	-1,178	185,19	124,19	5,10	185,61
4,571	-0,982	136,76	-4,69	2,93	136,82
4,768	-0,785	105,90	-44,01	1,01	105,91
4,964	-0,589	104,45	-45,73	-0,79	104,46
5,160	-0,393	131,07	-13,25	-2,68	131,12
5,357	-0,196	180,03	105,80	-4,80	180,34
5,553	0,000	201,85	189,46	-7,06	205,04
5,749	0,196	171,11	111,96	-9,10	172,48
5,946	0,393	111,16	-2,14	-10,72	112,17
6,142	0,589	68,14	-33,14	-11,59	69,45
6,338	0,785	43,57	-39,41	-11,72	45,19
6,535	0,982	28,98	-38,07	-11,24	30,81
6,731	1,178	20,07	-34,31	-10,34	21,97
6,927	1,374	14,43	-30,01	-9,22	16,27
7,124	1,571	10,67	-25,91	-8,04	12,36
7,320	1,767	8,11	-22,25	-6,89	9,60
7,517	1,964	6,24	-19,10	-5,84	7,52
7,713	2,160	4,88	-16,43	-4,91	5,96
7,909	2,356	3,80	-14,19	-4,12	4,70
8,106	2,553	2,99	-12,31	-3,44	3,73
8,302	2,749	2,30	-10,75	-2,87	2,90

Tabela H.6 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,22m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
--------	------------	-----------------------	----------------------

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
2,804	-2,749	3,818E-12	0,000
3,000	-2,553	2,642E-11	0,000
3,197	-2,356	2,417E-10	0,000
3,393	-2,160	2,818E-09	0,000
3,590	-1,964	4,647E-08	0,001
3,786	-1,767	1,032E-06	0,022
3,982	-1,571	1,993E-05	0,422
4,179	-1,374	7,993E-05	1,691
4,375	-1,178	4,253E-05	0,899
4,571	-0,982	5,735E-06	0,121
4,768	-0,785	1,066E-06	0,023
4,964	-0,589	9,737E-07	0,021
5,160	-0,393	4,335E-06	0,092
5,357	-0,196	3,520E-05	0,744
5,553	0,000	8,180E-05	1,730
5,749	0,196	2,626E-05	0,555
5,946	0,393	1,555E-06	0,033
6,142	0,589	6,663E-08	0,001
6,338	0,785	3,961E-09	0,000
6,535	0,982	3,200E-10	0,000
6,731	1,178	3,462E-11	0,000
6,927	1,374	4,769E-12	0,000
7,124	1,571	7,546E-13	0,000
7,320	1,767	1,337E-13	0,000
7,517	1,964	2,376E-14	0,000
7,713	2,160	4,525E-15	0,000
7,909	2,356	8,007E-16	0,000
8,106	2,553	1,538E-16	0,000
8,302	2,749	2,464E-17	0,000
2,804	-2,749	3,818E-12	0,000

A.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.7 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando a variação transversal $y=0,00m$.

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	P _j	ΔD	ΔD P _j
2,804	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	3,82E-12	5,01E-16
3,000	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	2,64E-11	8,70E-15
3,197	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	2,42E-10	1,86E-13
3,393	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,82E-09	4,75E-12
3,590	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	4,65E-08	1,60E-10
3,786	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,03E-06	6,81E-09
3,982	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,99E-05	2,35E-07
4,179	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	7,99E-05	1,56E-06
4,375	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	4,25E-05	1,30E-06
4,571	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	5,73E-06	2,55E-07
4,768	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,07E-06	6,44E-08
4,964	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	9,74E-07	7,47E-08
5,160	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,34E-06	3,94E-07
5,357	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	3,52E-05	3,55E-06
5,553	0,000	-0,131	0,131	0,104	8,18E-05	8,53E-06
5,749	0,196	0,131	0,393	0,101	2,63E-05	2,65E-06
5,946	0,393	0,393	0,655	0,091	1,55E-06	1,41E-07
6,142	0,589	0,654	0,916	0,077	6,66E-08	5,11E-09
6,338	0,785	0,916	1,178	0,060	3,96E-09	2,39E-10
6,535	0,982	1,178	1,440	0,044	3,20E-10	1,42E-11
6,731	1,178	1,440	1,702	0,031	3,46E-11	1,06E-12

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
6,927	1,374	1,702	1,964	0,020	4,77E-12	9,33E-14
7,124	1,571	1,963	2,225	0,012	7,55E-13	8,89E-15
7,320	1,767	2,225	2,487	0,007	1,34E-13	8,82E-16
7,517	1,964	2,487	2,749	0,003	2,38E-14	8,20E-17
7,713	2,160	2,749	3,011	0,002	4,53E-15	7,63E-18
7,909	2,356	3,011	3,272	0,001	8,01E-16	6,15E-19
8,106	2,553	3,272	3,534	0,000	1,54E-16	5,07E-20
8,302	2,749	3,534	3,796	0,000	2,46E-17	3,23E-21

Tabela H.8 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando a variação transversal $y=0,675m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,804	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	3,82E-12	0,00E+00
3,000	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	2,64E-11	0,00E+00
3,197	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	2,42E-10	0,00E+00
3,393	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	2,82E-09	3,70E-13
3,590	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	4,65E-08	1,53E-11
3,786	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,03E-06	7,93E-10
3,982	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,99E-05	3,36E-08
4,179	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	7,99E-05	2,76E-07
4,375	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	4,25E-05	2,81E-07
4,571	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	5,73E-06	6,76E-08
4,768	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	1,07E-06	2,09E-08
4,964	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	9,74E-07	2,98E-08
5,160	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,34E-06	1,93E-07
5,357	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	3,52E-05	2,13E-06
5,553	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	8,18E-05	6,28E-06
5,749	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,63E-05	2,39E-06
5,946	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,55E-06	1,57E-07
6,142	0,000	-0,131	0,131	0,104	6,66E-08	6,94E-09
6,338	0,196	0,131	0,393	0,101	3,96E-09	3,99E-10
6,535	0,393	0,393	0,655	0,091	3,20E-10	2,91E-11
6,731	0,589	0,655	0,916	0,077	3,46E-11	2,66E-12
6,927	0,785	0,916	1,178	0,060	4,77E-12	2,88E-13
7,124	0,982	1,178	1,440	0,044	7,55E-13	3,36E-14
7,320	1,178	1,440	1,702	0,031	1,34E-13	4,08E-15
7,517	1,374	1,702	1,964	0,020	2,38E-14	4,65E-16
7,713	1,571	1,963	2,225	0,012	4,53E-15	5,33E-17
7,909	1,767	2,225	2,487	0,007	8,01E-16	5,28E-18
8,106	1,963	2,487	2,749	0,003	1,54E-16	5,31E-19
8,302	2,160	2,749	3,011	0,002	2,46E-17	4,16E-20

Tabela H.9 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando a variação transversal $y=1,350m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,804	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	3,82E-12	5,01E-16
3,000	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	2,64E-11	8,70E-15
3,197	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	2,42E-10	1,86E-13
3,393	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,82E-09	4,75E-12
3,590	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	4,65E-08	1,60E-10
3,786	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,03E-06	6,81E-09
3,982	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,99E-05	2,35E-07
4,179	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	7,99E-05	1,56E-06
4,375	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	4,25E-05	1,30E-06
4,571	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	5,73E-06	2,55E-07
4,768	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,07E-06	6,44E-08
4,964	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	9,74E-07	7,47E-08
5,160	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,34E-06	3,94E-07
5,357	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	3,52E-05	3,55E-06

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
5,553	0,000	-0,131	0,131	0,104	8,18E-05	8,53E-06
5,749	0,196	0,131	0,393	0,101	2,63E-05	2,65E-06
5,946	0,393	0,393	0,655	0,091	1,55E-06	1,41E-07
6,142	0,589	0,654	0,916	0,077	6,66E-08	5,11E-09
6,338	0,785	0,916	1,178	0,060	3,96E-09	2,39E-10
6,535	0,982	1,178	1,440	0,044	3,20E-10	1,42E-11
6,731	1,178	1,440	1,702	0,031	3,46E-11	1,06E-12
6,927	1,374	1,702	1,964	0,020	4,77E-12	9,33E-14
7,124	1,571	1,963	2,225	0,012	7,55E-13	8,89E-15
7,320	1,767	2,225	2,487	0,007	1,34E-13	8,82E-16
7,517	1,964	2,487	2,749	0,003	2,38E-14	8,20E-17
7,713	2,160	2,749	3,011	0,002	4,53E-15	7,63E-18
7,909	2,356	3,011	3,272	0,001	8,01E-16	6,15E-19
8,106	2,553	3,272	3,534	0,000	1,54E-16	5,07E-20
8,302	2,749	3,534	3,796	0,000	2,46E-17	3,23E-21

A.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.10 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-1,70$	$x=-0,85$	$x=0,00$	$x=0,85$	$x=1,70$
2,804	-2,749	5,08	2,81	5,08	2,81	5,08
3,000	-2,553	19,14	13,50	19,14	13,50	19,14
3,197	-2,356	43,09	29,72	43,09	29,72	43,09
3,393	-2,160	82,73	52,59	82,73	52,59	82,73
3,590	-1,964	146,16	81,78	146,16	81,78	146,16
3,786	-1,767	240,91	114,14	240,91	114,14	240,91
3,982	-1,571	355,42	143,12	355,42	143,12	355,42
4,179	-1,374	427,59	161,34	427,59	161,34	427,59
4,375	-1,178	402,45	165,67	402,45	165,67	402,45
4,571	-0,982	321,63	160,23	321,63	160,23	321,63
4,768	-0,785	263,71	153,75	263,71	153,75	263,71
4,964	-0,589	260,12	153,28	260,12	153,28	260,12
5,160	-0,393	312,03	159,29	312,03	159,29	312,03
5,357	-0,196	393,62	165,37	393,62	165,37	393,62
5,553	0,000	429,93	162,62	429,93	162,62	429,93
5,749	0,196	368,44	146,10	368,44	146,10	368,44
5,946	0,393	254,81	118,09	254,81	118,09	254,81
6,142	0,589	156,16	85,74	156,16	85,74	156,16
6,338	0,785	89,15	55,91	89,15	55,91	89,15
6,535	0,982	47,03	32,20	47,03	32,20	47,03
6,731	1,178	21,49	15,19	21,49	15,19	21,49
6,927	1,374	6,44	3,89	6,44	3,89	6,44
7,124	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,320	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,517	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,713	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,909	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,106	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,302	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.11 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,22m$ no eixo y .

y_{real}	$y_{relativo}$	$\Delta D_{individual}$	$\Delta D_{acumulado}$
2,804	-2,749	3,480E-16	0,0000
3,000	-2,553	1,271E-13	0,0000
3,197	-2,356	4,947E-12	0,0000
3,393	-2,160	9,612E-11	0,0000

y _{real}	y _{relativo}	$\Delta D_{individual}$	$\Delta D_{acumulado}$
3,590	-1,964	1,282E-09	0,0000
3,786	-1,767	1,240E-08	0,0003
3,982	-1,571	7,197E-08	0,0015
4,179	-1,374	1,657E-07	0,0035
4,375	-1,178	1,258E-07	0,0027
4,571	-0,982	4,530E-08	0,0010
4,768	-0,785	1,811E-08	0,0004
4,964	-0,589	1,699E-08	0,0004
5,160	-0,393	3,942E-08	0,0008
5,357	-0,196	1,137E-07	0,0024
5,553	0,000	1,698E-07	0,0036
5,749	0,196	8,468E-08	0,0018
5,946	0,393	1,598E-08	0,0003
6,142	0,589	1,733E-09	0,0000
6,338	0,785	1,351E-10	0,0000
6,535	0,982	7,356E-12	0,0000
6,731	1,178	2,135E-13	0,0000
6,927	1,374	9,951E-16	0,0000
7,124	1,571	0,000E+00	0,0000
7,320	1,767	0,000E+00	0,0000
7,517	1,964	0,000E+00	0,0000
7,713	2,160	0,000E+00	0,0000
7,909	2,356	0,000E+00	0,0000
8,106	2,553	0,000E+00	0,0000
8,302	2,749	0,000E+00	0,0000

A.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.12 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando a variação transversal $y=0,00m$.

y _{real}	y _{total}	y ₁	y ₂	Pj	ΔD	ΔD_{Pj}
2,804	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	3,48E-16	4,56E-20
3,000	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,27E-13	4,18E-17
3,197	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	4,95E-12	3,80E-15
3,393	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	9,61E-11	1,62E-13
3,590	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,28E-09	4,43E-12
3,786	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,24E-08	8,18E-11
3,982	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	7,20E-08	8,48E-10
4,179	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,66E-07	3,24E-09
4,375	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,26E-07	3,84E-09
4,571	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,53E-08	2,01E-09
4,768	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,81E-08	1,09E-09
4,964	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,70E-08	1,30E-09
5,160	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	3,94E-08	3,58E-09
5,357	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,14E-07	1,15E-08
5,553	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,70E-07	1,77E-08
5,749	0,196	0,131	0,393	0,101	8,47E-08	8,53E-09
5,946	0,393	0,393	0,655	0,091	1,60E-08	1,45E-09
6,142	0,589	0,654	0,916	0,077	1,73E-09	1,33E-10
6,338	0,785	0,916	1,178	0,060	1,35E-10	8,16E-12
6,535	0,982	1,178	1,440	0,044	7,36E-12	3,27E-13
6,731	1,178	1,440	1,702	0,031	2,14E-13	6,52E-15
6,927	1,374	1,702	1,964	0,020	9,95E-16	1,95E-17
7,124	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
7,320	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
7,517	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
7,713	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
7,909	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
8,106	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
8,302	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.13 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando a variação transversal $y'=0,675m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,804	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	3,48E-16	0,00E+00
3,000	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,27E-13	0,00E+00
3,197	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	4,95E-12	0,00E+00
3,393	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	9,61E-11	1,26E-14
3,590	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,28E-09	4,22E-13
3,786	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,24E-08	9,52E-12
3,982	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	7,20E-08	1,21E-10
4,179	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	1,66E-07	5,72E-10
4,375	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,26E-07	8,30E-10
4,571	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,53E-08	5,34E-10
4,768	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	1,81E-08	3,54E-10
4,964	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,70E-08	5,19E-10
5,160	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,94E-08	1,75E-09
5,357	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,14E-07	6,87E-09
5,553	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,70E-07	1,30E-08
5,749	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	8,47E-08	7,70E-09
5,946	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,60E-08	1,61E-09
6,142	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,73E-09	1,81E-10
6,338	0,196	0,131	0,393	0,101	1,35E-10	1,36E-11
6,535	0,393	0,393	0,655	0,091	7,36E-12	6,69E-13
6,731	0,589	0,655	0,916	0,077	2,14E-13	1,64E-14
6,927	0,785	0,916	1,178	0,060	9,95E-16	6,01E-17
7,124	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
7,320	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
7,517	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
7,713	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
7,909	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
8,106	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
8,302	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.14 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando a variação transversal $y'=1,350m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,804	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	3,48E-16	4,56E-20
3,000	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,27E-13	4,18E-17
3,197	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	4,95E-12	3,80E-15
3,393	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	9,61E-11	1,62E-13
3,590	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,28E-09	4,43E-12
3,786	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,24E-08	8,18E-11
3,982	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	7,20E-08	8,48E-10
4,179	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,66E-07	3,24E-09
4,375	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,26E-07	3,84E-09
4,571	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,53E-08	2,01E-09
4,768	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,81E-08	1,09E-09
4,964	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,70E-08	1,30E-09
5,160	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	3,94E-08	3,58E-09
5,357	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,14E-07	1,15E-08
5,553	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,70E-07	1,77E-08
5,749	0,196	0,131	0,393	0,101	8,47E-08	8,53E-09
5,946	0,393	0,393	0,655	0,091	1,60E-08	1,45E-09
6,142	0,589	0,654	0,916	0,077	1,73E-09	1,33E-10
6,338	0,785	0,916	1,178	0,060	1,35E-10	8,16E-12

Y _{real}	Y _{bal}	Y ₁	Y ₂	P _j	ΔD	ΔD P _j
6,535	0,982	1,178	1,440	0,044	7,36E-12	3,27E-13
6,731	1,178	1,440	1,702	0,031	2,14E-13	6,52E-15
6,927	1,374	1,702	1,964	0,020	9,95E-16	1,95E-17
7,124	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
7,320	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
7,517	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
7,713	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
7,909	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
8,106	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
8,302	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00

B - CÁLCULO DA ESTRUTURA 01 PARA O AIRBUS A380-800 T2

B.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.15 - Deformação máxima na fibra inferior da base para z=0,22m e x'=-1,70m no eixo y.

Y _{real}	Y _{relativo}	ε _{xx}	ε _{yy}	ε _{xy}	ε _{t max}
-1,088	-2,945	9,50	-28,00	-11,61	12,80
-0,892	-2,749	14,13	-31,90	-13,68	17,89
-0,696	-2,553	21,83	-35,39	-15,45	25,74
-0,499	-2,356	34,39	-36,84	-18,48	38,90
-0,303	-2,160	56,15	-31,78	-21,73	61,22
-0,107	-1,964	93,91	-6,50	-28,45	101,41
0,090	-1,767	151,51	89,64	-29,35	163,22
0,286	-1,571	188,44	187,07	-11,88	199,66
0,483	-1,374	172,38	128,47	9,62	174,39
0,679	-1,178	122,14	1,59	13,61	123,66
0,875	-0,982	85,81	-41,93	6,05	86,09
1,072	-0,785	74,97	-51,95	0,27	74,97
1,268	-0,589	83,61	-44,00	-5,31	83,83
1,464	-0,393	117,01	-6,16	-12,98	118,36
1,661	-0,196	167,83	113,64	-11,07	170,01
1,857	0,000	189,40	188,49	9,34	198,30
2,053	0,196	157,29	104,81	28,38	169,70
2,250	0,393	99,44	-1,19	29,24	107,32
2,446	0,589	59,09	-30,51	22,19	64,29
2,642	0,785	36,27	-36,76	18,82	40,83
2,839	0,982	22,80	-35,71	15,69	26,74
3,035	1,178	14,84	-32,32	13,90	18,63
3,231	1,374	9,84	-28,42	11,78	13,18
3,428	1,571	6,71	-24,70	10,41	9,85
3,624	1,767	4,58	-21,39	8,76	7,26
3,821	1,964	3,16	-18,55	7,69	5,61
4,017	2,160	2,10	-16,15	6,43	4,13
4,213	2,356	1,36	-14,14	5,62	3,19
4,410	2,553	0,75	-12,45	4,68	2,24
4,606	2,749	0,32	-11,03	4,16	1,68
4,802	2,945	-0,06	-9,83	3,44	1,03

Tabela H.16 - Deformação máxima na fibra inferior da base para z=0,22m e x'=-0,85m no eixo y.

Y _{real}	Y _{relativo}	ε _{xx}	ε _{yy}	ε _{xy}	ε _{t max}
-1,481	-3,338	3,62	-23,18	-3,48	4,07
-1,285	-3,142	3,89	-25,22	-3,90	4,41
-1,088	-2,945	3,60	-26,40	-4,49	0,00
-0,892	-2,749	2,15	-25,70	-5,17	3,08

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,696	-2,553	-1,43	-21,49	-6,25	0,35
-0,499	-2,356	-8,59	-11,57	-7,55	-2,38
-0,303	-2,160	-20,77	6,07	-9,11	8,87
-0,107	-1,964	-37,90	30,89	-9,54	32,19
0,090	-1,767	-55,63	56,11	-7,88	56,66
0,286	-1,571	-65,01	68,17	-2,66	68,22
0,483	-1,374	-60,13	60,10	2,83	60,17
0,679	-1,178	-45,49	37,67	4,28	37,89
0,875	-0,982	-31,55	16,44	2,97	16,62
1,072	-0,785	-25,77	7,58	0,16	7,59
1,268	-0,589	-30,47	14,79	-2,71	14,95
1,464	-0,393	-43,80	35,10	-4,25	35,33
1,661	-0,196	-58,87	58,19	-3,17	58,28
1,857	0,000	-65,18	68,26	1,95	0,00
2,053	0,196	-57,18	58,26	7,54	58,75
2,250	0,393	-39,88	33,73	9,52	34,94
2,446	0,589	-22,38	8,42	9,21	10,96
2,642	0,785	-9,62	-10,09	7,70	-2,15
2,839	0,982	-1,99	-20,75	6,38	-0,03
3,035	1,178	1,90	-25,45	5,27	2,88
3,231	1,374	3,51	-26,44	4,56	4,19
3,428	1,571	3,89	-25,40	3,95	4,42
3,624	1,767	3,67	-23,42	3,52	4,12
3,821	1,964	3,17	-21,12	3,10	3,56
4,017	2,160	2,59	-18,84	2,77	2,94
4,213	2,356	2,02	-16,73	2,41	2,32
4,410	2,553	1,48	-14,84	2,14	1,76
4,606	2,749	1,01	-13,19	1,91	1,26
4,802	2,945	0,59	-11,75	1,67	0,81
4,999	3,142	0,23	-10,51	1,36	0,40
5,195	3,338	-0,08	-9,44	1,17	0,06

Tabela H.17 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,00m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-1,481	-3,338	5,03	-25,02	0,00	5,03
-1,285	-3,142	6,51	-28,21	-0,01	6,51
-1,088	-2,945	8,87	-31,55	-0,01	8,87
-0,892	-2,749	12,52	-34,72	0,00	12,52
-0,696	-2,553	18,90	-37,04	0,00	18,90
-0,499	-2,356	30,07	-36,82	0,00	30,07
-0,303	-2,160	50,48	-29,57	0,00	50,48
-0,107	-1,964	87,87	-0,82	0,00	87,87
0,090	-1,767	144,75	105,13	0,00	144,75
0,286	-1,571	177,93	198,85	0,00	198,85
0,483	-1,374	158,37	132,15	0,00	158,37
0,679	-1,178	106,41	4,12	0,00	106,41
0,875	-0,982	70,44	-36,87	0,00	70,44
1,072	-0,785	59,72	-46,30	0,00	59,72
1,268	-0,589	68,29	-38,82	0,00	68,29
1,464	-0,393	101,25	-3,21	0,00	101,25
1,661	-0,196	153,54	116,48	0,00	153,54
1,857	0,000	178,45	199,46	-0,01	199,46
2,053	0,196	150,25	120,94	0,03	150,25
2,250	0,393	93,42	5,11	0,04	93,42
2,446	0,589	53,30	-28,04	-0,02	53,30
2,642	0,785	31,81	-36,54	-0,01	31,81
2,839	0,982	19,72	-37,21	0,00	19,72

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,035	1,178	13,11	-35,05	0,00	13,11
3,231	1,374	9,11	-31,92	0,00	9,11
3,428	1,571	6,77	-28,58	0,00	6,77
3,624	1,767	5,11	-25,36	0,00	5,11
3,821	1,964	4,01	-22,41	0,00	4,01
4,017	2,160	3,08	-19,78	0,00	3,08
4,213	2,356	2,40	-17,47	-0,01	2,40
4,410	2,553	1,76	-15,46	-0,01	1,76
4,606	2,749	1,28	-13,73	0,05	1,28
4,802	2,945	0,80	-12,23	0,03	0,80
4,999	3,142	0,44	-10,93	-0,04	0,44
5,195	3,338	0,08	-9,82	-0,06	0,08

Tabela H.18 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,85m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-1,481	-3,338	3,62	-23,18	-3,48	4,07
-1,285	-3,142	3,89	-25,22	-3,90	4,41
-1,088	-2,945	3,60	-26,40	-4,49	0,00
-0,892	-2,749	2,15	-25,70	-5,17	3,08
-0,696	-2,553	-1,43	-21,49	-6,25	0,35
-0,499	-2,356	-8,59	-11,57	-7,55	-2,38
-0,303	-2,160	-20,77	6,07	-9,11	8,87
-0,107	-1,964	-37,90	30,89	-9,54	32,19
0,090	-1,767	-55,63	56,11	-7,88	56,66
0,286	-1,571	-65,01	68,17	-2,66	68,22
0,483	-1,374	-60,13	60,10	2,83	60,17
0,679	-1,178	-45,49	37,67	4,28	37,89
0,875	-0,982	-31,55	16,44	2,97	16,62
1,072	-0,785	-25,77	7,58	0,16	7,59
1,268	-0,589	-30,47	14,79	-2,71	14,95
1,464	-0,393	-43,80	35,10	-4,25	35,33
1,661	-0,196	-58,87	58,19	-3,17	58,28
1,857	0,000	-65,18	68,26	1,95	0,00
2,053	0,196	-57,18	58,26	7,54	58,75
2,250	0,393	-39,88	33,73	9,52	34,94
2,446	0,589	-22,38	8,42	9,21	10,96
2,642	0,785	-9,62	-10,09	7,70	-2,15
2,839	0,982	-1,99	-20,75	6,38	-0,03
3,035	1,178	1,90	-25,45	5,27	2,88
3,231	1,374	3,51	-26,44	4,56	4,19
3,428	1,571	3,89	-25,40	3,95	4,42
3,624	1,767	3,67	-23,42	3,52	4,12
3,821	1,964	3,17	-21,12	3,10	3,56
4,017	2,160	2,59	-18,84	2,77	2,94
4,213	2,356	2,02	-16,73	2,41	2,32
4,410	2,553	1,48	-14,84	2,14	1,76
4,606	2,749	1,01	-13,19	1,91	1,26
4,802	2,945	0,59	-11,75	1,67	0,81
4,999	3,142	0,23	-10,51	1,36	0,40
5,195	3,338	-0,08	-9,44	1,17	0,06

Tabela H.19 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=1,70m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-1,481	-3,338	4,45	-21,06	-8,62	7,09
-1,285	-3,142	6,40	-24,32	-10,24	9,50
-1,088	-2,945	9,50	-28,00	-11,61	12,80

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,892	-2,749	14,13	-31,90	-13,68	17,89
-0,696	-2,553	21,83	-35,39	-15,45	25,74
-0,499	-2,356	34,39	-36,84	-18,48	38,90
-0,303	-2,160	56,15	-31,78	-21,73	61,22
-0,107	-1,964	93,91	-6,50	-28,45	101,41
0,090	-1,767	151,51	89,64	-29,35	163,22
0,286	-1,571	188,44	187,07	-11,88	199,66
0,483	-1,374	172,38	128,47	9,62	174,39
0,679	-1,178	122,14	1,59	13,61	123,66
0,875	-0,982	85,81	-41,93	6,05	86,09
1,072	-0,785	74,97	-51,95	0,27	74,97
1,268	-0,589	83,61	-44,00	-5,31	83,83
1,464	-0,393	117,01	-6,16	-12,98	118,36
1,661	-0,196	167,83	113,64	-11,07	170,01
1,857	0,000	189,40	188,49	9,34	198,30
2,053	0,196	157,29	104,81	28,38	169,70
2,250	0,393	99,44	-1,19	29,24	107,32
2,446	0,589	59,09	-30,51	22,19	64,29
2,642	0,785	36,27	-36,76	18,82	40,83
2,839	0,982	22,80	-35,71	15,69	26,74
3,035	1,178	14,84	-32,32	13,90	18,63
3,231	1,374	9,84	-28,42	11,78	13,18
3,428	1,571	6,71	-24,70	10,41	9,85
3,624	1,767	4,58	-21,39	8,76	7,26
3,821	1,964	3,16	-18,55	7,69	5,61
4,017	2,160	2,10	-16,15	6,43	4,13
4,213	2,356	1,36	-14,14	5,62	3,19
4,410	2,553	0,75	-12,45	4,68	2,24
4,606	2,749	0,32	-11,03	4,16	1,68
4,802	2,945	-0,06	-9,83	3,44	1,03
4,999	3,142	-0,33	-8,81	2,95	0,60
5,195	3,338	-0,59	-7,95	2,41	0,13

Tabela H.20 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,22m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
-1,481	-3,338	2,102E-14	0,000
-1,285	-3,142	1,456E-13	0,000
-1,088	-2,945	1,042E-12	0,000
-0,892	-2,749	9,419E-12	0,000
-0,696	-2,553	1,045E-10	0,000
-0,499	-2,356	0,000E+00	0,000
-0,303	-2,160	3,321E-08	0,001
-0,107	-1,964	9,578E-07	0,020
0,090	-1,767	2,241E-05	0,474
0,286	-1,571	1,021E-04	2,159
0,483	-1,374	3,572E-05	0,755
0,679	-1,178	3,500E-06	0,074
0,875	-0,982	3,100E-07	0,007
1,072	-0,785	1,225E-07	0,003
1,268	-0,589	2,593E-07	0,005
1,464	-0,393	2,610E-06	0,055
1,661	-0,196	2,998E-05	0,634
1,857	0,000	9,980E-05	2,111
2,053	0,196	2,889E-05	0,611
2,250	0,393	1,396E-06	0,030
2,446	0,589	4,599E-08	0,001
2,642	0,785	0,000E+00	0,000

y _{real}	y _{relativo}	$\Delta D_{individual}$	$\Delta D_{acumulado}$
2,839	0,982	0,000E+00	0,000
3,035	1,178	1,232E-11	0,000
3,231	1,374	1,258E-12	0,000
3,428	1,571	1,846E-13	0,000
3,624	1,767	2,454E-14	0,000
3,821	1,964	4,434E-15	0,000
4,017	2,160	5,737E-16	0,000
4,213	2,356	1,023E-16	0,000
4,410	2,553	9,667E-18	0,000
4,606	2,749	1,522E-18	0,000
4,802	2,945	5,761E-20	0,000
4,999	3,142	1,759E-21	0,000
5,195	3,338	8,015E-26	0,000

B.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.21 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando a variação transversal $y=0,00m$.

y _{real}	y _{bal}	y ₁	y ₂	P _j	ΔD	ΔD_{Pj}
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,46E-13	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	1,04E-12	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	9,42E-12	1,24E-15
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,05E-10	3,44E-14
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	3,32E-08	5,60E-11
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	9,58E-07	3,31E-09
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,24E-05	1,48E-07
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,02E-04	1,20E-06
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,57E-05	6,98E-07
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,50E-06	1,07E-07
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,10E-07	1,38E-08
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,23E-07	7,41E-09
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,59E-07	1,99E-08
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,61E-06	2,37E-07
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	3,00E-05	3,02E-06
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	9,98E-05	1,04E-05
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	2,89E-05	2,91E-06
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	1,40E-06	1,27E-07
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	4,60E-08	3,53E-09
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	1,23E-11	3,76E-13
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	1,26E-12	2,46E-14
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	1,85E-13	2,17E-15
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	2,45E-14	1,62E-16
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	4,43E-15	1,53E-17
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	5,74E-16	9,68E-19
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	1,02E-16	7,86E-20
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	9,67E-18	3,18E-21
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	1,52E-18	2,00E-22
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	5,76E-20	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	1,76E-21	0,00E+00

Tabela H.22 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal $y=0,775m$.

y _{real}	y _{bal}	y ₁	y ₂	P _j	ΔD	ΔD_{Pj}
-1,481	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	2,10E-14	0,00E+00
-1,285	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	1,46E-13	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,088	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	1,04E-12	0,00E+00
-0,892	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	9,42E-12	0,00E+00
-0,696	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,05E-10	0,00E+00
-0,499	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	3,32E-08	4,36E-12
-0,107	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	9,58E-07	3,15E-10
0,090	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	2,24E-05	1,72E-08
0,286	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,02E-04	1,72E-07
0,483	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	3,57E-05	1,23E-07
0,679	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	3,50E-06	2,31E-08
0,875	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	3,10E-07	3,65E-09
1,072	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	1,23E-07	2,40E-09
1,268	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,59E-07	7,92E-09
1,464	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,61E-06	1,16E-07
1,661	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	3,00E-05	1,81E-06
1,857	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	9,98E-05	7,66E-06
2,053	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,89E-05	2,63E-06
2,250	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,40E-06	1,41E-07
2,446	0,000	-0,131	0,131	0,104	4,60E-08	4,79E-09
2,642	0,196	0,131	0,393	0,101	0,00E+00	0,00E+00
2,839	0,393	0,393	0,655	0,091	0,00E+00	0,00E+00
3,035	0,589	0,655	0,916	0,077	1,23E-11	9,45E-13
3,231	0,785	0,916	1,178	0,060	1,26E-12	7,60E-14
3,428	0,982	1,178	1,440	0,044	1,85E-13	8,21E-15
3,624	1,178	1,440	1,702	0,031	2,45E-14	7,50E-16
3,821	1,374	1,702	1,964	0,020	4,43E-15	8,67E-17
4,017	1,571	1,963	2,225	0,012	5,74E-16	6,76E-18
4,213	1,767	2,225	2,487	0,007	1,02E-16	6,75E-19
4,410	1,963	2,487	2,749	0,003	9,67E-18	3,34E-20
4,606	2,160	2,749	3,011	0,002	1,52E-18	2,57E-21
4,802	2,356	3,011	3,272	0,001	5,76E-20	4,42E-23
4,999	2,553	3,272	3,534	0,000	1,76E-21	5,79E-25
5,195	2,749	3,534	3,796	0,000	8,01E-26	1,05E-29

Tabela H.23 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y^i=1,550m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,46E-13	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	1,04E-12	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	9,42E-12	1,24E-15
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,05E-10	3,44E-14
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	3,32E-08	5,60E-11
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	9,58E-07	3,31E-09
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,24E-05	1,48E-07
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,02E-04	1,20E-06
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,57E-05	6,98E-07
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,50E-06	1,07E-07
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,10E-07	1,38E-08
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,23E-07	7,41E-09
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,59E-07	1,99E-08
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,61E-06	2,37E-07
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	3,00E-05	3,02E-06
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	9,98E-05	1,04E-05
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	2,89E-05	2,91E-06
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	1,40E-06	1,27E-07
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	4,60E-08	3,53E-09
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	1,23E-11	3,76E-13
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	1,26E-12	2,46E-14
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	1,85E-13	2,17E-15
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	2,45E-14	1,62E-16
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	4,43E-15	1,53E-17
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	5,74E-16	9,68E-19
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	1,02E-16	7,86E-20
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	9,67E-18	3,18E-21
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	1,52E-18	2,00E-22
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	5,76E-20	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	1,76E-21	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	8,01E-26	0,00E+00

B.c Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.24 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-1,70$	$x=-0,85$	$x=0,00$	$x=0,85$	$x=1,70$
-1,285	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,088	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,892	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,696	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,499	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,303	-2,160	15,30	0,00	13,88	0,00	15,30
-0,107	-1,964	50,58	0,00	51,71	0,00	50,58
0,090	-1,767	136,16	2,48	144,53	2,48	136,16
0,286	-1,571	211,32	4,47	215,36	4,47	211,32
0,483	-1,374	170,01	2,67	167,78	2,67	170,01
0,679	-1,178	70,93	0,00	65,41	0,00	70,93
0,875	-0,982	27,32	0,00	22,10	0,00	27,32
1,072	-0,785	15,41	0,00	10,36	0,00	15,41
1,268	-0,589	24,92	0,00	19,74	0,00	24,92
1,464	-0,393	63,88	0,00	58,38	0,00	63,88
1,661	-0,196	159,17	2,29	156,26	2,29	159,17
1,857	0,000	212,60	4,47	215,97	4,47	212,60
2,053	0,196	148,00	2,84	156,62	2,84	148,00
2,250	0,393	56,47	0,00	58,13	0,00	56,47
2,446	0,589	17,76	0,00	16,47	0,00	17,76
2,642	0,785	1,07	0,00	0,00	0,00	1,07
2,839	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,035	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,231	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,428	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,624	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,821	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,017	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,213	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,410	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,606	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,802	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,999	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.25 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,22m$ no eixo y .

y_{real}	$y_{relativo}$	$\Delta D_{individual}$	$\Delta D_{acumulado}$
-1,481	-3,338	0,000E+00	0,0000
-1,285	-3,142	0,000E+00	0,0000
-1,088	-2,945	0,000E+00	0,0000
-0,892	-2,749	0,000E+00	0,0000
-0,696	-2,553	0,000E+00	0,0000
-0,499	-2,356	0,000E+00	0,0000
-0,303	-2,160	6,845E-14	0,0000
-0,107	-1,964	1,743E-11	0,0000
0,090	-1,767	1,601E-09	0,0000
0,286	-1,571	1,080E-08	0,0002
0,483	-1,374	3,866E-09	0,0001
0,679	-1,178	6,929E-11	0,0000
0,875	-0,982	8,372E-13	0,0000
1,072	-0,785	5,792E-14	0,0000
1,268	-0,589	5,460E-13	0,0000
1,464	-0,393	4,281E-11	0,0000
1,661	-0,196	2,853E-09	0,0001
1,857	0,000	1,104E-08	0,0002
2,053	0,196	2,317E-09	0,0000
2,250	0,393	2,894E-11	0,0000
2,446	0,589	1,372E-13	0,0000
2,642	0,785	3,287E-19	0,0000
2,839	0,982	0,000E+00	0,0000
3,035	1,178	0,000E+00	0,0000
3,231	1,374	0,000E+00	0,0000
3,428	1,571	0,000E+00	0,0000
3,624	1,767	0,000E+00	0,0000
3,821	1,964	0,000E+00	0,0000
4,017	2,160	0,000E+00	0,0000
4,213	2,356	0,000E+00	0,0000
4,410	2,553	0,000E+00	0,0000
4,606	2,749	0,000E+00	0,0000
4,802	2,945	0,000E+00	0,0000
4,999	3,142	0,000E+00	0,0000
5,195	3,338	0,000E+00	0,0000

B.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.26 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y=0,00m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	ΔD_{Pj}
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	6,84E-14	1,15E-16
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,74E-11	6,02E-14
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,60E-09	1,06E-11
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,08E-08	1,27E-10
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,87E-09	7,56E-11
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	6,93E-11	2,12E-12
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	8,37E-13	3,72E-14
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	5,79E-14	3,50E-15
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	5,46E-13	4,19E-14
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,28E-11	3,89E-12

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,85E-09	2,87E-10
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,10E-08	1,15E-09
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	2,32E-09	2,33E-10
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	2,89E-11	2,63E-12
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	1,37E-13	1,05E-14
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	3,29E-19	1,99E-20
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.27 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y^2=0,775m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,481	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	6,84E-14	8,98E-18
-0,107	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,74E-11	5,74E-15
0,090	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,60E-09	1,23E-12
0,286	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,08E-08	1,82E-11
0,483	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	3,87E-09	1,33E-11
0,679	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	6,93E-11	4,57E-13
0,875	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	8,37E-13	9,86E-15
1,072	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	5,79E-14	1,13E-15
1,268	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,46E-13	1,67E-14
1,464	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,28E-11	1,90E-12
1,661	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	2,85E-09	1,72E-10
1,857	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,10E-08	8,47E-10
2,053	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,32E-09	2,11E-10
2,250	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,89E-11	2,92E-12
2,446	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,37E-13	1,43E-14
2,642	0,196	0,131	0,393	0,101	3,29E-19	3,31E-20
2,839	0,393	0,393	0,655	0,091	0,00E+00	0,00E+00
3,035	0,589	0,655	0,916	0,077	0,00E+00	0,00E+00
3,231	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
3,428	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
4,017	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
4,213	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
4,410	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,999	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.28 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y=1,550m$.

Y real	Y bal	Y1	Y2	Pj	ΔD	ΔD Pj
-1,481	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	6,84E-14	1,15E-16
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,74E-11	6,02E-14
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,60E-09	1,06E-11
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,08E-08	1,27E-10
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,87E-09	7,56E-11
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	6,93E-11	2,12E-12
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	8,37E-13	3,72E-14
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	5,79E-14	3,50E-15
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	5,46E-13	4,19E-14
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,28E-11	3,89E-12
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,85E-09	2,87E-10
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,10E-08	1,15E-09
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	2,32E-09	2,33E-10
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	2,89E-11	2,63E-12
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	1,37E-13	1,05E-14
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	3,29E-19	1,99E-20
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00

C - CÁLCULO DA ESTRUTURA 01 PARA O ANTONOV AN-124

C.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.29 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-3,42m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \max}$
0,557	-2,945	0,06	-14,76	-5,64	1,97
0,754	-2,749	1,12	-16,96	-6,35	3,13
0,950	-2,553	2,75	-19,51	-6,93	4,74
1,146	-2,356	5,18	-22,38	-7,44	7,06
1,343	-2,160	9,11	-25,39	-7,44	10,65
1,539	-1,964	15,37	-28,02	-6,86	16,43
1,735	-1,767	26,04	-28,91	-4,73	26,45
1,932	-1,571	44,09	-24,36	-0,65	44,10
2,128	-1,374	76,42	-2,29	7,47	77,12
2,324	-1,178	122,51	76,29	10,04	124,59
2,521	-0,982	147,39	128,51	-4,64	148,47
2,717	-0,785	132,04	61,27	-15,80	135,41

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,913	-0,589	105,59	-4,74	-7,52	106,10
3,110	-0,393	106,81	-2,89	8,52	107,47
3,306	-0,196	133,93	68,20	15,69	137,48
3,503	0,000	147,06	128,86	3,40	147,68
3,699	0,196	119,58	69,40	-10,43	121,66
3,895	0,393	73,60	-4,94	-6,87	74,20
4,092	0,589	42,55	-24,98	1,04	42,57
4,288	0,785	25,11	-28,95	4,93	25,56
4,484	0,982	14,86	-27,87	6,94	15,96
4,681	1,178	8,77	-25,18	7,46	10,34
4,877	1,374	4,98	-22,18	7,42	6,88
5,073	1,571	2,62	-19,33	6,90	4,60
5,270	1,767	1,04	-16,80	6,31	3,04
5,466	1,964	0,00	-14,62	5,60	1,90
5,662	2,160	-0,75	-12,79	4,97	1,04
5,859	2,356	-1,26	-11,25	4,34	0,36
6,055	2,553	-1,66	-9,96	3,81	0,00
6,251	2,749	-1,94	-8,88	3,30	0,00
6,448	2,945	-2,17	-7,96	2,89	0,00

Tabela H.30 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-2,56m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,165	-3,338	-1,20	-12,88	-2,80	0,00
0,361	-3,142	-0,88	-14,42	-3,07	0,00
0,557	-2,945	-0,57	-16,09	-3,35	0,12
0,754	-2,749	-0,33	-17,77	-3,61	0,39
0,950	-2,553	-0,30	-19,24	-3,85	0,45
1,146	-2,356	-0,75	-20,03	-4,07	0,07
1,343	-2,160	-2,15	-19,36	-4,24	0,00
1,539	-1,964	-5,27	-16,01	-4,38	0,00
1,735	-1,767	-11,21	-8,39	-4,46	0,00
1,932	-1,571	-20,96	4,74	-4,45	5,49
2,128	-1,374	-34,21	22,43	-4,17	22,74
2,324	-1,178	-47,53	39,51	-3,46	39,65
2,521	-0,982	-55,21	48,80	-2,26	48,85
2,717	-0,785	-55,19	50,37	-1,05	50,38
2,913	-0,589	-52,28	47,48	-0,29	47,48
3,110	-0,393	-52,42	47,63	0,33	47,63
3,306	-0,196	-55,36	50,49	1,12	50,50
3,503	0,000	-54,96	48,43	2,34	48,49
3,699	0,196	-46,75	38,56	3,54	38,71
3,895	0,393	-33,25	21,18	4,20	21,50
4,092	0,589	-20,18	3,68	4,45	4,48
4,288	0,785	-10,69	-9,07	4,45	0,00
4,484	0,982	-4,99	-16,35	4,37	0,00
4,681	1,178	-2,01	-19,47	4,23	0,00
4,877	1,374	-0,70	-20,01	4,05	0,12
5,073	1,571	-0,29	-19,15	3,84	0,46
5,270	1,767	-0,34	-17,66	3,59	0,38
5,466	1,964	-0,59	-15,97	3,33	0,10
5,662	2,160	-0,90	-14,31	3,05	0,00
5,859	2,356	-1,22	-12,78	2,78	0,00
6,055	2,553	-1,52	-11,42	2,51	0,00
6,251	2,749	-1,79	-10,23	2,25	0,00
6,448	2,945	-2,02	-9,19	2,01	0,00
6,644	3,142	-2,22	-8,29	1,78	0,00
6,840	3,338	-2,39	-7,51	1,57	0,00

Tabela H.31 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-1,71m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,165	-3,338	-1,46	-13,73	-1,59	0,00
0,361	-3,142	-1,14	-15,38	-1,69	0,00
0,557	-2,945	-0,69	-17,26	-1,83	0,00
0,754	-2,749	-0,09	-19,38	-1,93	0,10
0,950	-2,553	0,84	-21,70	-2,13	1,04
1,146	-2,356	2,32	-24,14	-2,33	2,53
1,343	-2,160	4,93	-26,48	-2,80	5,18
1,539	-1,964	9,53	-28,21	-3,48	9,85
1,735	-1,767	18,03	-28,00	-5,02	18,57
1,932	-1,571	33,48	-22,28	-7,56	34,49
2,128	-1,374	62,03	0,99	-12,68	64,56
2,324	-1,178	103,79	82,94	-13,31	110,27
2,521	-0,982	126,68	137,14	-1,30	137,30
2,717	-0,785	110,52	69,20	8,48	112,19
2,913	-0,589	85,54	1,72	4,53	85,78
3,110	-0,393	86,64	3,57	-5,12	86,95
3,306	-0,196	112,40	76,31	-8,25	114,20
3,503	0,000	126,44	137,43	2,28	137,88
3,699	0,196	101,08	75,76	13,70	107,07
3,895	0,393	59,53	-1,76	12,31	61,91
4,092	0,589	32,14	-22,98	7,32	33,09
4,288	0,785	17,27	-28,12	4,89	17,79
4,484	0,982	9,14	-28,12	3,42	9,45
4,681	1,178	4,70	-26,33	2,76	4,94
4,877	1,374	2,20	-23,97	2,31	2,40
5,073	1,571	0,76	-21,53	2,12	0,96
5,270	1,767	-0,14	-19,22	1,92	0,05
5,466	1,964	-0,72	-17,13	1,82	0,00
5,662	2,160	-1,16	-15,26	1,68	0,00
5,859	2,356	-1,49	-13,62	1,58	0,00
6,055	2,553	-1,76	-12,20	1,44	0,00
6,251	2,749	-1,99	-10,95	1,34	0,00
6,448	2,945	-2,19	-9,87	1,21	0,00
6,644	3,142	-2,35	-8,92	1,11	0,00
6,840	3,338	-2,51	-8,10	0,98	0,00

Tabela H.32 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-0,85m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,165	-3,338	-2,06	-13,90	-0,58	0,00
0,361	-3,142	-1,97	-15,38	-0,65	0,00
0,557	-2,945	-1,94	-16,94	-0,70	0,00
0,754	-2,749	-2,05	-18,46	-0,75	0,00
0,950	-2,553	-2,44	-19,72	-0,86	0,00
1,146	-2,356	-3,38	-20,24	-1,12	0,00
1,343	-2,160	-5,33	-19,26	-1,60	0,00
1,539	-1,964	-9,06	-15,56	-2,40	0,00
1,735	-1,767	-15,63	-7,55	-3,54	0,00
1,932	-1,571	-26,02	6,07	-4,92	6,80
2,128	-1,374	-39,89	24,45	-5,61	24,93
2,324	-1,178	-53,79	42,23	-4,75	42,46
2,521	-0,982	-61,93	52,26	-1,65	52,28
2,717	-0,785	-62,19	53,49	0,91	53,50
2,913	-0,589	-59,41	50,44	0,53	50,44
3,110	-0,393	-59,54	50,60	-0,57	50,60
3,306	-0,196	-62,35	53,63	-0,84	53,63
3,503	0,000	-61,64	51,88	1,98	51,91

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,699	0,196	-52,97	41,22	4,89	41,47
3,895	0,393	-38,90	23,14	5,28	23,59
4,092	0,589	-25,20	4,97	4,75	5,70
4,288	0,785	-15,08	-8,26	3,52	0,00
4,484	0,982	-8,73	-15,93	2,45	0,00
4,681	1,178	-5,15	-19,40	1,66	0,00
4,877	1,374	-3,29	-20,24	1,10	0,00
5,073	1,571	-2,40	-19,65	0,59	0,00
5,270	1,767	-2,03	-18,36	0,71	0,00
5,466	1,964	-1,93	-16,83	1,02	0,00
5,662	2,160	-1,97	-15,27	0,71	0,00
5,859	2,356	-2,07	-13,81	0,27	0,00
6,055	2,553	-2,19	-12,47	0,40	0,00
6,251	2,749	-2,32	-11,27	0,55	0,00
6,448	2,945	-2,45	-10,21	0,53	0,00
6,644	3,142	-2,57	-9,27	0,47	0,00
6,840	3,338	-2,68	-8,44	0,42	0,00

Tabela H.33 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,00m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,165	-3,338	-2,08	-14,09	0,00	0,00
0,361	-3,142	-1,89	-15,69	-0,01	0,00
0,557	-2,945	-1,57	-17,51	-0,01	0,00
0,754	-2,749	-1,16	-19,54	0,03	0,00
0,950	-2,553	-0,38	-21,77	0,05	0,00
1,146	-2,356	0,90	-24,11	0,05	0,90
1,343	-2,160	3,36	-26,35	0,01	3,36
1,539	-1,964	7,81	-28,00	0,00	7,81
1,735	-1,767	16,36	-27,78	-0,01	16,36
1,932	-1,571	32,10	-22,17	0,01	32,10
2,128	-1,374	62,21	0,95	0,00	62,21
2,324	-1,178	106,33	84,97	0,00	106,33
2,521	-0,982	129,50	140,05	-0,01	140,05
2,717	-0,785	112,96	70,80	0,01	112,96
2,913	-0,589	85,75	1,55	0,00	85,75
3,110	-0,393	87,00	3,42	0,03	87,00
3,306	-0,196	114,91	78,13	-0,01	114,91
3,503	0,000	129,27	140,34	0,09	140,34
3,699	0,196	103,53	77,59	0,01	103,53
3,895	0,393	59,53	-1,81	-0,33	59,53
4,092	0,589	30,72	-22,85	-0,09	30,72
4,288	0,785	15,58	-27,90	0,08	15,58
4,484	0,982	7,42	-27,92	0,11	7,42
4,681	1,178	3,14	-26,21	0,09	3,14
4,877	1,374	0,79	-23,95	-0,06	0,79
5,073	1,571	-0,45	-21,61	-0,31	0,00
5,270	1,767	-1,19	-19,39	-0,06	0,00
5,466	1,964	-1,60	-17,38	0,34	0,00
5,662	2,160	-1,90	-15,58	0,08	0,00
5,859	2,356	-2,10	-13,99	-0,31	0,00
6,055	2,553	-2,28	-12,59	-0,15	0,00
6,251	2,749	-2,41	-11,37	0,05	0,00
6,448	2,945	-2,55	-10,29	0,06	0,00
6,644	3,142	-2,65	-9,35	0,04	0,00
6,840	3,338	-2,76	-8,51	0,03	0,00

Tabela H.34 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,85m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \text{ max}}$
0,165	-3,338	-2,06	-13,90	-0,58	0,00
0,361	-3,142	-1,97	-15,38	-0,65	0,00
0,557	-2,945	-1,94	-16,94	-0,70	0,00
0,754	-2,749	-2,05	-18,46	-0,75	0,00
0,950	-2,553	-2,44	-19,72	-0,86	0,00
1,146	-2,356	-3,38	-20,24	-1,12	0,00
1,343	-2,160	-5,33	-19,26	-1,60	0,00
1,539	-1,964	-9,06	-15,56	-2,40	0,00
1,735	-1,767	-15,63	-7,55	-3,54	0,00
1,932	-1,571	-26,02	6,07	-4,92	6,80
2,128	-1,374	-39,89	24,45	-5,61	24,93
2,324	-1,178	-53,79	42,23	-4,75	42,46
2,521	-0,982	-61,93	52,26	-1,65	52,28
2,717	-0,785	-62,19	53,49	0,91	53,50
2,913	-0,589	-59,41	50,44	0,53	50,44
3,110	-0,393	-59,54	50,60	-0,57	50,60
3,306	-0,196	-62,35	53,63	-0,84	53,63
3,503	0,000	-61,64	51,88	1,98	51,91
3,699	0,196	-52,97	41,22	4,89	41,47
3,895	0,393	-38,90	23,14	5,28	23,59
4,092	0,589	-25,20	4,97	4,75	5,70
4,288	0,785	-15,08	-8,26	3,52	0,00
4,484	0,982	-8,73	-15,93	2,45	0,00
4,681	1,178	-5,15	-19,40	1,66	0,00
4,877	1,374	-3,29	-20,24	1,10	0,00
5,073	1,571	-2,40	-19,65	0,59	0,00
5,270	1,767	-2,03	-18,36	0,71	0,00
5,466	1,964	-1,93	-16,83	1,02	0,00
5,662	2,160	-1,97	-15,27	0,71	0,00
5,859	2,356	-2,07	-13,81	0,27	0,00
6,055	2,553	-2,19	-12,47	0,40	0,00
6,251	2,749	-2,32	-11,27	0,55	0,00
6,448	2,945	-2,45	-10,21	0,53	0,00
6,644	3,142	-2,57	-9,27	0,47	0,00
6,840	3,338	-2,68	-8,44	0,42	0,00

Tabela H.35 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=1,71m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \text{ max}}$
0,165	-3,338	-1,46	-13,73	-1,59	0,00
0,361	-3,142	-1,14	-15,38	-1,69	0,00
0,557	-2,945	-0,69	-17,26	-1,83	0,00
0,754	-2,749	-0,09	-19,38	-1,93	0,10
0,950	-2,553	0,84	-21,70	-2,13	1,04
1,146	-2,356	2,32	-24,14	-2,33	2,53
1,343	-2,160	4,93	-26,48	-2,80	5,18
1,539	-1,964	9,53	-28,21	-3,48	9,85
1,735	-1,767	18,03	-28,00	-5,02	18,57
1,932	-1,571	33,48	-22,28	-7,56	34,49
2,128	-1,374	62,03	0,99	-12,68	64,56
2,324	-1,178	103,79	82,94	-13,31	110,27
2,521	-0,982	126,68	137,14	-1,30	137,30
2,717	-0,785	110,52	69,20	8,48	112,19
2,913	-0,589	85,54	1,72	4,53	85,78
3,110	-0,393	86,64	3,57	-5,12	86,95
3,306	-0,196	112,40	76,31	-8,25	114,20
3,503	0,000	126,44	137,43	2,28	137,88

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,699	0,196	101,08	75,76	13,70	107,07
3,895	0,393	59,53	-1,76	12,31	61,91
4,092	0,589	32,14	-22,98	7,32	33,09
4,288	0,785	17,27	-28,12	4,89	17,79
4,484	0,982	9,14	-28,12	3,42	9,45
4,681	1,178	4,70	-26,33	2,76	4,94
4,877	1,374	2,20	-23,97	2,31	2,40
5,073	1,571	0,76	-21,53	2,12	0,96
5,270	1,767	-0,14	-19,22	1,92	0,05
5,466	1,964	-0,72	-17,13	1,82	0,00
5,662	2,160	-1,16	-15,26	1,68	0,00
5,859	2,356	-1,49	-13,62	1,58	0,00
6,055	2,553	-1,76	-12,20	1,44	0,00
6,251	2,749	-1,99	-10,95	1,34	0,00
6,448	2,945	-2,19	-9,87	1,21	0,00
6,644	3,142	-2,35	-8,92	1,11	0,00
6,840	3,338	-2,51	-8,10	0,98	0,00

Tabela H.36 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=2,56m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,165	-3,338	-1,20	-12,88	-2,80	0,00
0,361	-3,142	-0,88	-14,42	-3,07	0,00
0,557	-2,945	-0,57	-16,09	-3,35	0,12
0,754	-2,749	-0,33	-17,77	-3,61	0,39
0,950	-2,553	-0,30	-19,24	-3,85	0,45
1,146	-2,356	-0,75	-20,03	-4,07	0,07
1,343	-2,160	-2,15	-19,36	-4,24	0,00
1,539	-1,964	-5,27	-16,01	-4,38	0,00
1,735	-1,767	-11,21	-8,39	-4,46	0,00
1,932	-1,571	-20,96	4,74	-4,45	5,49
2,128	-1,374	-34,21	22,43	-4,17	22,74
2,324	-1,178	-47,53	39,51	-3,46	39,65
2,521	-0,982	-55,21	48,80	-2,26	48,85
2,717	-0,785	-55,19	50,37	-1,05	50,38
2,913	-0,589	-52,28	47,48	-0,29	47,48
3,110	-0,393	-52,42	47,63	0,33	47,63
3,306	-0,196	-55,36	50,49	1,12	50,50
3,503	0,000	-54,96	48,43	2,34	48,49
3,699	0,196	-46,75	38,56	3,54	38,71
3,895	0,393	-33,25	21,18	4,20	21,50
4,092	0,589	-20,18	3,68	4,45	4,48
4,288	0,785	-10,69	-9,07	4,45	0,00
4,484	0,982	-4,99	-16,35	4,37	0,00
4,681	1,178	-2,01	-19,47	4,23	0,00
4,877	1,374	-0,70	-20,01	4,05	0,12
5,073	1,571	-0,29	-19,15	3,84	0,46
5,270	1,767	-0,34	-17,66	3,59	0,38
5,466	1,964	-0,59	-15,97	3,33	0,10
5,662	2,160	-0,90	-14,31	3,05	0,00
5,859	2,356	-1,22	-12,78	2,78	0,00
6,055	2,553	-1,52	-11,42	2,51	0,00
6,251	2,749	-1,79	-10,23	2,25	0,00
6,448	2,945	-2,02	-9,19	2,01	0,00
6,644	3,142	-2,22	-8,29	1,78	0,00
6,840	3,338	-2,39	-7,51	1,57	0,00

Tabela H.37 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=3,42m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_I max
0,165	-3,338	-1,23	-11,35	-4,38	0,40
0,361	-3,142	-0,71	-12,91	-5,02	1,09
0,557	-2,945	0,06	-14,76	-5,64	1,97
0,754	-2,749	1,12	-16,96	-6,35	3,13
0,950	-2,553	2,75	-19,51	-6,93	4,74
1,146	-2,356	5,18	-22,38	-7,44	7,06
1,343	-2,160	9,11	-25,39	-7,44	10,65
1,539	-1,964	15,37	-28,02	-6,86	16,43
1,735	-1,767	26,04	-28,91	-4,73	26,45
1,932	-1,571	44,09	-24,36	-0,65	44,10
2,128	-1,374	76,42	-2,29	7,47	77,12
2,324	-1,178	122,51	76,29	10,04	124,59
2,521	-0,982	147,39	128,51	-4,64	148,47
2,717	-0,785	132,04	61,27	-15,80	135,41
2,913	-0,589	105,59	-4,74	-7,52	106,10
3,110	-0,393	106,81	-2,89	8,52	107,47
3,306	-0,196	133,93	68,20	15,69	137,48
3,503	0,000	147,06	128,86	3,40	147,68
3,699	0,196	119,58	69,40	-10,43	121,66
3,895	0,393	73,60	-4,94	-6,87	74,20
4,092	0,589	42,55	-24,98	1,04	42,57
4,288	0,785	25,11	-28,95	4,93	25,56
4,484	0,982	14,86	-27,87	6,94	15,96
4,681	1,178	8,77	-25,18	7,46	10,34
4,877	1,374	4,98	-22,18	7,42	6,88
5,073	1,571	2,62	-19,33	6,90	4,60
5,270	1,767	1,04	-16,80	6,31	3,04
5,466	1,964	0,00	-14,62	5,60	1,90
5,662	2,160	-0,75	-12,79	4,97	1,04
5,859	2,356	-1,26	-11,25	4,34	0,36
6,055	2,553	-1,66	-9,96	3,81	0,00
6,251	2,749	-1,94	-8,88	3,30	0,00
6,448	2,945	-2,17	-7,96	2,89	0,00
6,644	3,142	-2,33	-7,18	2,49	0,00
6,840	3,338	-2,48	-6,52	2,17	0,00

Tabela H.38 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,22m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
0,165	-3,338	1,392E-22	0,000
0,361	-3,142	9,184E-20	0,000
0,557	-2,945	4,531E-18	0,000
0,754	-2,749	9,484E-17	0,000
0,950	-2,553	1,453E-15	0,000
1,146	-2,356	1,995E-14	0,000
1,343	-2,160	3,000E-13	0,000
1,539	-1,964	5,344E-12	0,000
1,735	-1,767	1,312E-10	0,000
1,932	-1,571	4,252E-09	0,000
2,128	-1,374	1,900E-07	0,002
2,324	-1,178	5,034E-06	0,053
2,521	-0,982	1,901E-05	0,201
2,717	-0,785	7,710E-06	0,082
2,913	-0,589	1,466E-06	0,015
3,110	-0,393	1,598E-06	0,017
3,306	-0,196	8,560E-06	0,091
3,503	0,000	1,888E-05	0,200

y _{real}	y _{relativo}	$\Delta D_{individual}$	$\Delta D_{acumulado}$
3,699	0,196	4,253E-06	0,045
3,895	0,393	1,463E-07	0,002
4,092	0,589	3,342E-09	0,000
4,288	0,785	1,042E-10	0,000
4,484	0,982	4,387E-12	0,000
4,681	1,178	2,471E-13	0,000
4,877	1,374	1,684E-14	0,000
5,073	1,571	1,204E-15	0,000
5,270	1,767	7,926E-17	0,000
5,466	1,964	3,552E-18	0,000
5,662	2,160	6,863E-20	0,000
5,859	2,356	6,499E-23	0,000
6,055	2,553	0,000E+00	0,000
6,251	2,749	0,000E+00	0,000
6,448	2,945	0,000E+00	0,000
6,644	3,142	0,000E+00	0,000
6,840	3,338	0,000E+00	0,000

C.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.39 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y'=0,00m$.

y _{real}	y _{bal}	y ₁	y ₂	P _j	ΔD	ΔD_{Pj}
-0,032	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,165	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,39E-22	0,00E+00
0,361	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	9,18E-20	0,00E+00
0,557	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	4,53E-18	0,00E+00
0,754	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	9,48E-17	1,24E-20
0,950	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,45E-15	4,79E-19
1,146	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	2,00E-14	1,53E-17
1,343	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	3,00E-13	5,06E-16
1,539	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	5,34E-12	1,84E-14
1,735	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,31E-10	8,66E-13
1,932	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,25E-09	5,01E-11
2,128	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,90E-07	3,71E-09
2,324	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,03E-06	1,54E-07
2,521	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,90E-05	8,45E-07
2,717	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	7,71E-06	4,66E-07
2,913	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,47E-06	1,12E-07
3,110	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,60E-06	1,45E-07
3,306	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	8,56E-06	8,62E-07
3,503	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,89E-05	1,97E-06
3,699	0,196	0,131	0,393	0,101	4,25E-06	4,28E-07
3,895	0,393	0,393	0,655	0,091	1,46E-07	1,33E-08
4,092	0,589	0,654	0,916	0,077	3,34E-09	2,56E-10
4,288	0,785	0,916	1,178	0,060	1,04E-10	6,29E-12
4,484	0,982	1,178	1,440	0,044	4,39E-12	1,95E-13
4,681	1,178	1,440	1,702	0,031	2,47E-13	7,55E-15
4,877	1,374	1,702	1,964	0,020	1,68E-14	3,29E-16
5,073	1,571	1,963	2,225	0,012	1,20E-15	1,42E-17
5,270	1,767	2,225	2,487	0,007	7,93E-17	5,23E-19
5,466	1,964	2,487	2,749	0,003	3,55E-18	1,23E-20
5,662	2,160	2,749	3,011	0,002	6,86E-20	1,16E-22
5,859	2,356	3,011	3,272	0,001	6,50E-23	4,99E-26
6,055	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,251	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,448	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
6,644	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,840	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,037	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.40 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y_i=0,497m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-0,032	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,165	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	1,39E-22	0,00E+00
0,361	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	9,18E-20	0,00E+00
0,557	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	4,53E-18	0,00E+00
0,754	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	9,48E-17	0,00E+00
0,950	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,45E-15	0,00E+00
1,146	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	2,00E-14	0,00E+00
1,343	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	3,00E-13	3,93E-17
1,539	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	5,34E-12	1,76E-15
1,735	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	1,31E-10	1,01E-13
1,932	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	4,25E-09	7,17E-12
2,128	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	1,90E-07	6,56E-10
2,324	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	5,03E-06	3,32E-08
2,521	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,90E-05	2,24E-07
2,717	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	7,71E-06	1,51E-07
2,913	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,47E-06	4,48E-08
3,110	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,60E-06	7,11E-08
3,306	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	8,56E-06	5,17E-07
3,503	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,89E-05	1,45E-06
3,699	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,25E-06	3,87E-07
3,895	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,46E-07	1,47E-08
4,092	0,000	-0,131	0,131	0,104	3,34E-09	3,48E-10
4,288	0,196	0,131	0,393	0,101	1,04E-10	1,05E-11
4,484	0,393	0,393	0,655	0,091	4,39E-12	3,99E-13
4,681	0,589	0,655	0,916	0,077	2,47E-13	1,90E-14
4,877	0,785	0,916	1,178	0,060	1,68E-14	1,02E-15
5,073	0,982	1,178	1,440	0,044	1,20E-15	5,35E-17
5,270	1,178	1,440	1,702	0,031	7,93E-17	2,42E-18
5,466	1,374	1,702	1,964	0,020	3,55E-18	6,95E-20
5,662	1,571	1,963	2,225	0,012	6,86E-20	8,09E-22
5,859	1,767	2,225	2,487	0,007	6,50E-23	4,29E-25
6,055	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
6,251	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,448	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
6,644	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,840	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,037	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.41 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y_i=0,995m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-0,032	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,165	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,39E-22	0,00E+00
0,361	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	9,18E-20	0,00E+00
0,557	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	4,53E-18	0,00E+00
0,754	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	9,48E-17	1,24E-20
0,950	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,45E-15	4,79E-19
1,146	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	2,00E-14	1,53E-17
1,343	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	3,00E-13	5,06E-16
1,539	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	5,34E-12	1,84E-14
1,735	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,31E-10	8,66E-13
1,932	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,25E-09	5,01E-11

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,128	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,90E-07	3,71E-09
2,324	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,03E-06	1,54E-07
2,521	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,90E-05	8,45E-07
2,717	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	7,71E-06	4,66E-07
2,913	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,47E-06	1,12E-07
3,110	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,60E-06	1,45E-07
3,306	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	8,56E-06	8,62E-07
3,503	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,89E-05	1,97E-06
3,699	0,196	0,131	0,393	0,101	4,25E-06	4,28E-07
3,895	0,393	0,393	0,655	0,091	1,46E-07	1,33E-08
4,092	0,589	0,654	0,916	0,077	3,34E-09	2,56E-10
4,288	0,785	0,916	1,178	0,060	1,04E-10	6,29E-12
4,484	0,982	1,178	1,440	0,044	4,39E-12	1,95E-13
4,681	1,178	1,440	1,702	0,031	2,47E-13	7,55E-15
4,877	1,374	1,702	1,964	0,020	1,68E-14	3,29E-16
5,073	1,571	1,963	2,225	0,012	1,20E-15	1,42E-17
5,270	1,767	2,225	2,487	0,007	7,93E-17	5,23E-19
5,466	1,964	2,487	2,749	0,003	3,55E-18	1,23E-20
5,662	2,160	2,749	3,011	0,002	6,86E-20	1,16E-22
5,859	2,356	3,011	3,272	0,001	6,50E-23	4,99E-26
6,055	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,251	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,448	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,644	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,840	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,037	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

C.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.42 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-3,42$	$x=-2,56$	$x=-1,71$	$x=-0,85$	$x=0,0$
-0,032	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,165	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,361	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,557	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,754	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,950	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,146	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,343	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,539	-1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,735	-1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,932	-1,571	12,60	0,00	8,85	0,00	8,23
2,128	-1,374	43,46	0,00	38,84	0,00	38,93
2,324	-1,178	117,35	0,00	110,06	0,00	112,87
2,521	-0,982	161,37	1,41	153,65	0,00	156,76
2,717	-0,785	113,76	1,66	106,50	0,00	109,01
2,913	-0,589	58,79	1,24	53,70	0,00	53,79
3,110	-0,393	60,48	1,26	55,33	0,00	55,49
3,306	-0,196	119,07	1,68	111,65	0,00	114,34
3,503	0,000	161,35	1,34	153,65	0,00	156,75
3,699	0,196	111,54	0,00	104,41	0,00	107,06
3,895	0,393	40,36	0,00	35,84	0,00	35,84
4,092	0,589	11,35	0,00	7,64	0,00	7,00
4,288	0,785	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,484	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,681	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Y real	Y relativo	x=-3,42	x=-2,56	x=-1,71	x=-0,85	x=0,0
4,877	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,073	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,270	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,466	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,662	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,859	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,055	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,251	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,448	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,644	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,840	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,037	3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.43 - Cálculo da deformação máxima ε_{zz} no topo da plataforma.

Y real	Y relativo	x=0,0	x=0,85	x=1,71	x=2,56	X=3,42
-0,032	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,165	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,361	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,557	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,754	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,950	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,146	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,343	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,539	-1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,735	-1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,932	-1,571	8,23	0,00	8,85	0,00	12,60
2,128	-1,374	38,93	0,00	38,84	0,00	43,46
2,324	-1,178	112,87	0,00	110,06	0,00	117,35
2,521	-0,982	156,76	0,00	153,65	1,41	161,37
2,717	-0,785	109,01	0,00	106,50	1,66	113,76
2,913	-0,589	53,79	0,00	53,70	1,24	58,79
3,110	-0,393	55,49	0,00	55,33	1,26	60,48
3,306	-0,196	114,34	0,00	111,65	1,68	119,07
3,503	0,000	156,75	0,00	153,65	1,34	161,35
3,699	0,196	107,06	0,00	104,41	0,00	111,54
3,895	0,393	35,84	0,00	35,84	0,00	40,36
4,092	0,589	7,00	0,00	7,64	0,00	11,35
4,288	0,785	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,484	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,681	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,877	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,073	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,270	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,466	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,662	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,859	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,055	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,251	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,448	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,644	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,840	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,037	3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.44 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,22\text{m}$ no eixo y .

Y_{real}	Y_{relativo}	$\Delta D_{\text{individual}}$	$\Delta D_{\text{acumulado}}$
-0,032	-3,534	0,000E+00	0,0000000
0,165	-3,338	0,000E+00	0,0000000
0,361	-3,142	0,000E+00	0,0000000
0,557	-2,945	0,000E+00	0,0000000
0,754	-2,749	0,000E+00	0,0000000
0,950	-2,553	0,000E+00	0,0000000
1,146	-2,356	0,000E+00	0,0000000
1,343	-2,160	0,000E+00	0,0000000
1,539	-1,964	0,000E+00	0,0000000
1,735	-1,767	0,000E+00	0,0000000
1,932	-1,571	2,756E-14	0,0000000
2,128	-1,374	1,083E-11	0,0000001
2,324	-1,178	1,075E-09	0,0000114
2,521	-0,982	4,657E-09	0,0000492
2,717	-0,785	9,291E-10	0,0000098
2,913	-0,589	4,420E-11	0,0000005
3,110	-0,393	5,045E-11	0,0000005
3,306	-0,196	1,146E-09	0,0000121
3,503	0,000	4,656E-09	0,0000492
3,699	0,196	8,513E-10	0,0000090
3,895	0,393	7,640E-12	0,0000001
4,092	0,589	1,655E-14	0,0000000
4,288	0,785	0,000E+00	0,0000000
4,484	0,982	0,000E+00	0,0000000
4,681	1,178	0,000E+00	0,0000000
4,877	1,374	0,000E+00	0,0000000
5,073	1,571	0,000E+00	0,0000000
5,270	1,767	0,000E+00	0,0000000
5,466	1,964	0,000E+00	0,0000000
5,662	2,160	0,000E+00	0,0000000
5,859	2,356	0,000E+00	0,0000000
6,055	2,553	0,000E+00	0,0000000
6,251	2,749	0,000E+00	0,0000000
6,448	2,945	0,000E+00	0,0000000
6,644	3,142	0,000E+00	0,0000000
6,840	3,338	0,000E+00	0,0000000
7,037	3,534	0,000E+00	0,0000000

C.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.45 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y'=0,00\text{m}$.

Y_{real}	Y_{bal}	Y_1	Y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,481	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00	0,00E+00
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	0,00E+00	0,00E+00
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	0,00E+00	0,00E+00
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	2,76E-14	3,25E-16
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,08E-11	2,12E-13
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,07E-09	3,28E-11

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,66E-09	2,07E-10
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	9,29E-10	5,62E-11
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	4,42E-11	3,39E-12
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	5,04E-11	4,59E-12
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,15E-09	1,15E-10
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	4,66E-09	4,85E-10
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	8,51E-10	8,58E-11
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	7,64E-12	6,95E-13
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	1,65E-14	1,27E-15
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.46 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y' = 0,497m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,481	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,107	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,090	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
0,286	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,76E-14	4,65E-17
0,483	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	1,08E-11	3,74E-14
0,679	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,07E-09	7,09E-12
0,875	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,66E-09	5,49E-11
1,072	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	9,29E-10	1,82E-11
1,268	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	4,42E-11	1,35E-12
1,464	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	5,04E-11	2,24E-12
1,661	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,15E-09	6,92E-11
1,857	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	4,66E-09	3,57E-10
2,053	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	8,51E-10	7,74E-11
2,250	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	7,64E-12	7,70E-13
2,446	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,65E-14	1,72E-15
2,642	0,196	0,131	0,393	0,101	0,00E+00	0,00E+00
2,839	0,393	0,393	0,655	0,091	0,00E+00	0,00E+00
3,035	0,589	0,655	0,916	0,077	0,00E+00	0,00E+00
3,231	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
3,428	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
4,017	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
4,213	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
4,410	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,999	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.47 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y' = 0,995m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,481	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00	0,00E+00
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	0,00E+00	0,00E+00
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	0,00E+00	0,00E+00
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	2,76E-14	3,25E-16
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,08E-11	2,12E-13
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,07E-09	3,28E-11
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,66E-09	2,07E-10
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	9,29E-10	5,62E-11
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	4,42E-11	3,39E-12
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	5,04E-11	4,59E-12
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,15E-09	1,15E-10
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	4,66E-09	4,85E-10
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	8,51E-10	8,58E-11
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	7,64E-12	6,95E-13
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	1,65E-14	1,27E-15
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

D - CÁLCULO DA ESTRUTURA 01 PARA O ANTONOV AN-225

D.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.48 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-5,13m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \max}$
0,385	-3,534	-0,83	-12,71	-4,61	0,75
0,582	-3,338	-0,34	-14,28	-5,23	1,41
0,778	-3,142	0,24	-16,15	-5,98	2,19
0,974	-2,945	1,15	-18,36	-6,81	3,29
1,171	-2,749	2,34	-20,96	-7,81	4,71
1,367	-2,553	4,23	-23,99	-8,76	6,73
1,563	-2,356	6,98	-27,38	-9,66	9,51
1,760	-2,160	11,51	-30,94	-10,21	13,84
1,956	-1,964	18,64	-34,05	-10,44	20,64
2,152	-1,767	30,91	-35,10	-9,85	32,34
2,349	-1,571	51,50	-29,60	-8,25	52,33
2,545	-1,374	88,25	-2,21	-4,71	88,50
2,741	-1,178	137,70	93,90	-3,12	137,92
2,938	-0,982	162,55	146,66	-6,48	164,86
3,134	-0,785	146,87	70,45	-8,23	147,74
3,330	-0,589	119,11	-8,04	-3,53	119,21
3,527	-0,393	120,94	-4,96	4,12	121,07
3,723	-0,196	149,51	81,51	8,30	150,51
3,920	0,000	162,08	147,33	5,86	164,12
4,116	0,196	133,51	83,16	2,78	133,66
4,312	0,393	83,94	-6,74	5,59	84,28
4,509	0,589	49,09	-30,60	8,75	50,04
4,705	0,785	29,45	-35,15	9,95	30,95
4,901	0,982	17,83	-33,79	10,36	19,83
5,098	1,178	10,99	-30,60	10,07	13,30
5,294	1,374	6,68	-27,04	9,68	9,26
5,490	1,571	4,02	-23,68	9,11	6,75
5,687	1,767	2,21	-20,69	7,63	4,52
5,883	1,964	1,05	-18,13	5,97	2,75
6,079	2,160	0,18	-15,95	5,54	1,90
6,276	2,356	-0,39	-14,12	5,61	1,61
6,472	2,553	-0,86	-12,56	4,89	0,92
6,668	2,749	-1,16	-11,24	3,92	0,18
6,865	2,945	-1,44	-10,11	3,35	0,00
7,061	3,142	-1,61	-9,14	2,89	0,00
7,257	3,338	-1,78	-8,28	2,53	0,00
7,454	3,534	-1,89	-7,53	2,17	0,00

Tabela H.49 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-4,27m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \max}$
0,385	-3,534	-0,74	-14,51	-3,10	0,00
0,582	-3,338	-0,39	-16,18	-3,38	0,30
0,778	-3,142	-0,02	-18,04	-3,67	0,69
0,974	-2,945	0,34	-20,04	-3,98	1,09
1,171	-2,749	0,63	-22,05	-4,30	1,42
1,367	-2,553	0,67	-23,79	-4,53	1,48
1,563	-2,356	0,18	-24,74	-4,55	0,99
1,760	-2,160	-1,39	-23,94	-4,25	0,00
1,956	-1,964	-4,94	-19,96	-3,59	0,00
2,152	-1,767	-11,70	-10,92	-2,55	0,00
2,349	-1,571	-22,83	4,71	-1,22	4,76

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,545	-1,374	-37,93	25,94	-0,21	25,94
2,741	-1,178	-52,99	46,79	-0,07	46,79
2,938	-0,982	-61,43	58,19	-1,54	58,21
3,134	-0,785	-61,00	58,49	-2,39	58,54
3,330	-0,589	-57,50	54,08	-0,87	54,09
3,527	-0,393	-57,73	54,38	0,98	54,39
3,723	-0,196	-61,30	58,83	2,39	58,87
3,920	0,000	-61,05	57,63	1,13	57,64
4,116	0,196	-51,77	45,14	-0,22	45,14
4,312	0,393	-36,43	23,85	0,80	23,86
4,509	0,589	-21,61	2,97	1,61	3,08
4,705	0,785	-10,90	-12,02	2,67	0,00
4,901	0,982	-4,49	-20,51	3,57	0,00
5,098	1,178	-1,18	-24,12	4,20	0,00
5,294	1,374	0,26	-24,70	4,65	1,10
5,490	1,571	0,69	-23,65	4,96	1,66
5,687	1,767	0,61	-21,87	4,20	1,36
5,883	1,964	0,31	-19,85	3,19	0,80
6,079	2,160	-0,06	-17,86	3,27	0,52
6,276	2,356	-0,43	-16,02	3,80	0,45
6,472	2,553	-0,77	-14,37	3,41	0,04
6,668	2,749	-1,06	-12,91	2,73	0,00
6,865	2,945	-1,31	-11,62	2,37	0,00
7,061	3,142	-1,53	-10,49	2,10	0,00
7,257	3,338	-1,71	-9,49	1,88	0,00
7,454	3,534	-1,86	-8,61	1,65	0,00

Tabela H.50 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-3,42m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-1,20	-15,62	-1,61	0,00
0,582	-3,338	-0,87	-17,36	-1,67	0,00
0,778	-3,142	-0,55	-19,34	-1,78	0,00
0,974	-2,945	-0,03	-21,56	-1,78	0,11
1,171	-2,749	0,60	-24,03	-1,79	0,73
1,367	-2,553	1,70	-26,71	-1,57	1,79
1,563	-2,356	3,37	-29,48	-1,28	3,42
1,760	-2,160	6,48	-32,04	-0,43	6,49
1,956	-1,964	11,84	-33,71	0,87	11,86
2,152	-1,767	22,04	-32,84	3,69	22,28
2,349	-1,571	40,37	-24,91	8,23	41,40
2,545	-1,374	75,01	4,87	16,61	78,74
2,741	-1,178	122,57	98,74	16,68	131,15
2,938	-0,982	145,70	151,92	-0,37	151,94
3,134	-0,785	128,87	79,12	-13,50	132,30
3,330	-0,589	100,32	4,79	-7,23	100,86
3,527	-0,393	102,19	7,78	8,52	102,95
3,723	-0,196	131,61	89,56	13,05	135,33
3,920	0,000	145,37	152,46	-1,45	152,74
4,116	0,196	118,56	88,30	-17,52	126,57
4,312	0,393	70,88	0,20	-15,86	74,27
4,509	0,589	38,18	-26,17	-7,64	39,07
4,705	0,785	20,79	-33,09	-3,38	21,00
4,901	0,982	11,21	-33,61	-0,69	11,22
5,098	1,178	6,10	-31,81	0,52	6,11
5,294	1,374	3,18	-29,21	1,33	3,23
5,490	1,571	1,57	-26,45	1,59	1,66
5,687	1,767	0,53	-23,78	1,80	0,66

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
5,883	1,964	-0,09	-21,34	1,77	0,06
6,079	2,160	-0,58	-19,14	1,78	0,00
6,276	2,356	-0,91	-17,19	1,66	0,00
6,472	2,553	-1,21	-15,46	1,60	0,00
6,668	2,749	-1,43	-13,95	1,46	0,00
6,865	2,945	-1,65	-12,60	1,37	0,00
7,061	3,142	-1,79	-11,41	1,22	0,00
7,257	3,338	-1,96	-10,35	1,13	0,00
7,454	3,534	-2,06	-9,41	0,99	0,00

Tabela H.51 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-2,56m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-1,92	-15,86	-0,90	0,00
0,582	-3,338	-1,83	-17,49	-0,94	0,00
0,778	-3,142	-1,77	-19,26	-0,98	0,00
0,974	-2,945	-1,79	-21,11	-1,01	0,00
1,171	-2,749	-1,97	-22,91	-1,04	0,00
1,367	-2,553	-2,49	-24,36	-1,07	0,00
1,563	-2,356	-3,64	-24,91	-1,11	0,00
1,760	-2,160	-5,98	-23,64	-1,17	0,00
1,956	-1,964	-10,38	-19,10	-1,29	0,00
2,152	-1,767	-18,06	-9,45	-1,46	0,00
2,349	-1,571	-30,12	6,77	-1,66	6,85
2,545	-1,374	-46,06	28,49	-1,69	28,53
2,741	-1,178	-61,82	49,78	-1,43	49,80
2,938	-0,982	-70,83	61,38	-0,62	61,39
3,134	-0,785	-70,96	62,33	0,01	62,33
3,330	-0,589	-67,77	58,17	0,03	58,17
3,527	-0,393	-67,99	58,45	-0,04	58,45
3,723	-0,196	-71,21	62,62	0,00	62,62
3,920	0,000	-70,39	60,79	0,73	60,79
4,116	0,196	-60,54	48,11	1,47	48,13
4,312	0,393	-44,50	26,36	1,70	26,40
4,509	0,589	-28,81	4,99	1,65	5,07
4,705	0,785	-17,17	-10,61	1,44	0,00
4,901	0,982	-9,85	-19,71	1,28	0,00
5,098	1,178	-5,69	-23,87	1,16	0,00
5,294	1,374	-3,50	-24,92	1,11	0,00
5,490	1,571	-2,42	-24,25	1,07	0,00
5,687	1,767	-1,95	-22,75	1,04	0,00
5,883	1,964	-1,78	-20,94	1,01	0,00
6,079	2,160	-1,77	-19,09	0,98	0,00
6,276	2,356	-1,84	-17,33	0,94	0,00
6,472	2,553	-1,93	-15,71	0,89	0,00
6,668	2,749	-2,04	-14,25	0,84	0,00
6,865	2,945	-2,14	-12,93	0,79	0,00
7,061	3,142	-2,24	-11,75	0,73	0,00
7,257	3,338	-2,32	-10,69	0,67	0,00

Tabela H.52 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-1,71m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-2,33	-16,07	-0,47	0,00
0,582	-3,338	-2,19	-17,76	-0,52	0,00
0,778	-3,142	-2,05	-19,67	-0,52	0,00
0,974	-2,945	-1,77	-21,81	-0,59	0,00
1,171	-2,749	-1,37	-24,18	-0,62	0,00
1,367	-2,553	-0,57	-26,75	-0,80	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
1,563	-2,356	0,81	-29,40	-0,99	0,84
1,760	-2,160	3,53	-31,85	-1,55	3,60
1,956	-1,964	8,50	-33,44	-2,37	8,64
2,152	-1,767	18,08	-32,57	-4,24	18,43
2,349	-1,571	35,58	-24,78	-7,29	36,45
2,545	-1,374	68,10	4,91	-13,11	70,72
2,741	-1,178	113,22	101,21	-12,93	121,47
2,938	-0,982	135,98	155,05	-0,45	155,06
3,134	-0,785	119,06	80,98	9,21	121,17
3,330	-0,589	92,38	4,61	5,06	92,67
3,527	-0,393	94,06	7,63	-5,95	94,47
3,723	-0,196	121,74	91,73	-8,87	124,16
3,920	0,000	135,67	155,58	1,81	155,74
4,116	0,196	109,33	90,49	13,54	116,41
4,312	0,393	64,25	0,21	12,59	66,63
4,509	0,589	33,48	-26,01	6,89	34,27
4,705	0,785	16,90	-32,81	4,04	17,23
4,901	0,982	7,91	-33,35	2,25	8,03
5,098	1,178	3,20	-31,63	1,49	3,26
5,294	1,374	0,64	-29,14	0,96	0,67
5,490	1,571	-0,67	-26,49	0,79	0,00
5,687	1,767	-1,42	-23,94	0,61	0,00
5,883	1,964	-1,80	-21,59	0,59	0,00
6,079	2,160	-2,07	-19,48	0,51	0,00
6,276	2,356	-2,21	-17,59	0,52	0,00
6,472	2,553	-2,34	-15,92	0,46	0,00
6,668	2,749	-2,42	-14,43	0,46	0,00
6,865	2,945	-2,50	-13,11	0,42	0,00
7,061	3,142	-2,56	-11,92	0,41	0,00
7,257	3,338	-2,63	-10,86	0,36	0,00
7,454	3,534	-2,66	-9,90	0,35	0,00

Tabela H.53 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-0,85m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-2,74	-16,05	-0,23	0,00
0,582	-3,338	-2,74	-17,65	-0,19	0,00
0,778	-3,142	-2,78	-19,38	-0,20	0,00
0,974	-2,945	-2,91	-21,19	-0,23	0,00
1,171	-2,749	-3,21	-22,94	-0,40	0,00
1,367	-2,553	-3,85	-24,35	-0,59	0,00
1,563	-2,356	-5,12	-24,86	-0,91	0,00
1,760	-2,160	-7,57	-23,58	-1,36	0,00
1,956	-1,964	-12,08	-19,04	-2,25	0,00
2,152	-1,767	-19,86	-9,38	-3,58	0,00
2,349	-1,571	-32,00	6,93	-5,27	7,63
2,545	-1,374	-48,03	28,97	-6,10	29,45
2,741	-1,178	-63,88	50,62	-5,16	50,86
2,938	-0,982	-72,97	62,74	-1,54	62,76
3,134	-0,785	-73,09	63,00	1,22	63,01
3,330	-0,589	-69,88	58,54	0,65	58,55
3,527	-0,393	-70,10	58,85	-0,84	58,86
3,723	-0,196	-73,34	63,34	-1,17	63,35
3,920	0,000	-72,54	62,15	1,69	62,17
4,116	0,196	-62,60	48,90	5,12	49,13
4,312	0,393	-46,46	26,80	6,60	27,39
4,509	0,589	-30,68	5,13	5,40	5,92
4,705	0,785	-18,96	-10,55	3,44	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \text{ max}}$
4,901	0,982	-11,54	-19,64	2,06	0,00
5,098	1,178	-7,27	-23,81	1,21	0,00
5,294	1,374	-4,96	-24,87	0,97	0,00
5,490	1,571	-3,77	-24,24	1,01	0,00
5,687	1,767	-3,17	-22,79	0,30	0,00
5,883	1,964	-2,90	-21,02	-0,53	0,00
6,079	2,160	-2,78	-19,22	-0,17	0,00
6,276	2,356	-2,74	-17,50	0,64	0,00
6,472	2,553	-2,74	-15,91	0,57	0,00
6,668	2,749	-2,76	-14,47	0,18	0,00
6,865	2,945	-2,79	-13,17	0,11	0,00
7,061	3,142	-2,82	-12,01	0,10	0,00
7,257	3,338	-2,85	-10,95	0,12	0,00
7,454	3,534	-2,87	-9,99	0,11	0,00

Tabela H.54 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22\text{m}$ e $x'=0,00\text{m}$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \text{ max}}$
0,385	-3,534	-2,79	-16,15	-0,05	0,00
0,582	-3,338	-2,68	-17,82	-0,01	0,00
0,778	-3,142	-2,60	-19,71	0,02	0,00
0,974	-2,945	-2,35	-21,83	0,02	0,00
1,171	-2,749	-2,01	-24,19	-0,06	0,00
1,367	-2,553	-1,23	-26,74	-0,10	0,00
1,563	-2,356	0,10	-29,39	-0,11	0,10
1,760	-2,160	2,87	-31,86	-0,03	2,87
1,956	-1,964	7,88	-33,52	0,01	7,88
2,152	-1,767	17,74	-32,78	0,03	17,74
2,349	-1,571	35,79	-25,26	-0,04	35,79
2,545	-1,374	70,29	4,20	-0,04	70,29
2,741	-1,178	117,78	102,73	-0,05	117,78
2,938	-0,982	140,72	157,12	-0,02	157,12
3,134	-0,785	123,74	81,77	-0,03	123,74
3,330	-0,589	94,94	3,39	-0,01	94,94
3,527	-0,393	96,84	6,44	-0,06	96,84
3,723	-0,196	126,49	92,81	-0,01	126,49
3,920	0,000	140,40	157,66	-0,22	157,66
4,116	0,196	113,78	91,77	-0,19	113,78
4,312	0,393	66,16	-0,52	0,56	66,17
4,509	0,589	33,62	-26,46	0,30	33,62
4,705	0,785	16,52	-33,00	-0,02	16,52
4,901	0,982	7,28	-33,41	-0,10	7,28
5,098	1,178	2,52	-31,63	-0,05	2,52
5,294	1,374	-0,06	-29,13	0,21	0,00
5,490	1,571	-1,33	-26,49	0,54	0,00
5,687	1,767	-2,05	-23,95	-0,03	0,00
5,883	1,964	-2,38	-21,62	-0,78	0,00
6,079	2,160	-2,61	-19,52	-0,38	0,00
6,276	2,356	-2,69	-17,65	0,45	0,00
6,472	2,553	-2,79	-15,99	0,39	0,00
6,668	2,749	-2,82	-14,52	0,02	0,00
6,865	2,945	-2,88	-13,21	-0,05	0,00
7,061	3,142	-2,88	-12,03	-0,04	0,00
7,257	3,338	-2,93	-10,97	-0,02	0,00
7,454	3,534	-2,93	-10,01	-0,02	0,00

Tabela H.55 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,85m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \text{ max}}$
0,385	-3,534	-2,74	-16,05	-0,23	0,00
0,582	-3,338	-2,74	-17,65	-0,19	0,00
0,778	-3,142	-2,78	-19,38	-0,20	0,00
0,974	-2,945	-2,91	-21,19	-0,23	0,00
1,171	-2,749	-3,21	-22,94	-0,40	0,00
1,367	-2,553	-3,85	-24,35	-0,59	0,00
1,563	-2,356	-5,12	-24,86	-0,91	0,00
1,760	-2,160	-7,57	-23,58	-1,36	0,00
1,956	-1,964	-12,08	-19,04	-2,25	0,00
2,152	-1,767	-19,86	-9,38	-3,58	0,00
2,349	-1,571	-32,00	6,93	-5,27	7,63
2,545	-1,374	-48,03	28,97	-6,10	29,45
2,741	-1,178	-63,88	50,62	-5,16	50,86
2,938	-0,982	-72,97	62,74	-1,54	62,76
3,134	-0,785	-73,09	63,00	1,22	63,01
3,330	-0,589	-69,88	58,54	0,65	58,55
3,527	-0,393	-70,10	58,85	-0,84	58,86
3,723	-0,196	-73,34	63,34	-1,17	63,35
3,920	0,000	-72,54	62,15	1,69	62,17
4,116	0,196	-62,60	48,90	5,12	49,13
4,312	0,393	-46,46	26,80	6,60	27,39
4,509	0,589	-30,68	5,13	5,40	5,92
4,705	0,785	-18,96	-10,55	3,44	0,00
4,901	0,982	-11,54	-19,64	2,06	0,00
5,098	1,178	-7,27	-23,81	1,21	0,00
5,294	1,374	-4,96	-24,87	0,97	0,00
5,490	1,571	-3,77	-24,24	1,01	0,00
5,687	1,767	-3,17	-22,79	0,30	0,00
5,883	1,964	-2,90	-21,02	-0,53	0,00
6,079	2,160	-2,78	-19,22	-0,17	0,00
6,276	2,356	-2,74	-17,50	0,64	0,00
6,472	2,553	-2,74	-15,91	0,57	0,00
6,668	2,749	-2,76	-14,47	0,18	0,00
6,865	2,945	-2,79	-13,17	0,11	0,00
7,061	3,142	-2,82	-12,01	0,10	0,00
7,257	3,338	-2,85	-10,95	0,12	0,00
7,454	3,534	-2,87	-9,99	0,11	0,00

Tabela H.56 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=1,71m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \text{ max}}$
0,385	-3,534	-2,33	-16,07	-0,47	0,00
0,582	-3,338	-2,19	-17,76	-0,52	0,00
0,778	-3,142	-2,05	-19,67	-0,52	0,00
0,974	-2,945	-1,77	-21,81	-0,59	0,00
1,171	-2,749	-1,37	-24,18	-0,62	0,00
1,367	-2,553	-0,57	-26,75	-0,80	0,00
1,563	-2,356	0,81	-29,40	-0,99	0,84
1,760	-2,160	3,53	-31,85	-1,55	3,60
1,956	-1,964	8,50	-33,44	-2,37	8,64
2,152	-1,767	18,08	-32,57	-4,24	18,43
2,349	-1,571	35,58	-24,78	-7,29	36,45
2,545	-1,374	68,10	4,91	-13,11	70,72
2,741	-1,178	113,22	101,21	-12,93	121,47
2,938	-0,982	135,98	155,05	-0,45	155,06
3,134	-0,785	119,06	80,98	9,21	121,17
3,330	-0,589	92,38	4,61	5,06	92,67

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,527	-0,393	94,06	7,63	-5,95	94,47
3,723	-0,196	121,74	91,73	-8,87	124,16
3,920	0,000	135,67	155,58	1,81	155,74
4,116	0,196	109,33	90,49	13,54	116,41
4,312	0,393	64,25	0,21	12,59	66,63
4,509	0,589	33,48	-26,01	6,89	34,27
4,705	0,785	16,90	-32,81	4,04	17,23
4,901	0,982	7,91	-33,35	2,25	8,03
5,098	1,178	3,20	-31,63	1,49	3,26
5,294	1,374	0,64	-29,14	0,96	0,67
5,490	1,571	-0,67	-26,49	0,79	0,00
5,687	1,767	-1,42	-23,94	0,61	0,00
5,883	1,964	-1,80	-21,59	0,59	0,00
6,079	2,160	-2,07	-19,48	0,51	0,00
6,276	2,356	-2,21	-17,59	0,52	0,00
6,472	2,553	-2,34	-15,92	0,46	0,00
6,668	2,749	-2,42	-14,43	0,46	0,00
6,865	2,945	-2,50	-13,11	0,42	0,00
7,061	3,142	-2,56	-11,92	0,41	0,00
7,257	3,338	-2,63	-10,86	0,36	0,00
7,454	3,534	-2,66	-9,90	0,35	0,00

Tabela H.57 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=2,56m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-1,92	-15,86	-0,90	0,00
0,582	-3,338	-1,83	-17,49	-0,94	0,00
0,778	-3,142	-1,77	-19,26	-0,98	0,00
0,974	-2,945	-1,79	-21,11	-1,01	0,00
1,171	-2,749	-1,97	-22,91	-1,04	0,00
1,367	-2,553	-2,49	-24,36	-1,07	0,00
1,563	-2,356	-3,64	-24,91	-1,11	0,00
1,760	-2,160	-5,98	-23,64	-1,17	0,00
1,956	-1,964	-10,38	-19,10	-1,29	0,00
2,152	-1,767	-18,06	-9,45	-1,46	0,00
2,349	-1,571	-30,12	6,77	-1,66	6,85
2,545	-1,374	-46,06	28,49	-1,69	28,53
2,741	-1,178	-61,82	49,78	-1,43	49,80
2,938	-0,982	-70,83	61,38	-0,62	61,39
3,134	-0,785	-70,96	62,33	0,01	62,33
3,330	-0,589	-67,77	58,17	0,03	58,17
3,527	-0,393	-67,99	58,45	-0,04	58,45
3,723	-0,196	-71,21	62,62	0,00	62,62
3,920	0,000	-70,39	60,79	0,73	60,79
4,116	0,196	-60,54	48,11	1,47	48,13
4,312	0,393	-44,50	26,36	1,70	26,40
4,509	0,589	-28,81	4,99	1,65	5,07
4,705	0,785	-17,17	-10,61	1,44	0,00
4,901	0,982	-9,85	-19,71	1,28	0,00
5,098	1,178	-5,69	-23,87	1,16	0,00
5,294	1,374	-3,50	-24,92	1,11	0,00
5,490	1,571	-2,42	-24,25	1,07	0,00
5,687	1,767	-1,95	-22,75	1,04	0,00
5,883	1,964	-1,78	-20,94	1,01	0,00
6,079	2,160	-1,77	-19,09	0,98	0,00
6,276	2,356	-1,84	-17,33	0,94	0,00
6,472	2,553	-1,93	-15,71	0,89	0,00
6,668	2,749	-2,04	-14,25	0,84	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
6,865	2,945	-2,14	-12,93	0,79	0,00
7,061	3,142	-2,24	-11,75	0,73	0,00
7,257	3,338	-2,32	-10,69	0,67	0,00
7,454	3,534	-2,40	-9,73	0,61	0,00

Tabela H.58 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=3,42m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-1,20	-15,62	-1,61	0,00
0,582	-3,338	-0,87	-17,36	-1,67	0,00
0,778	-3,142	-0,55	-19,34	-1,78	0,00
0,974	-2,945	-0,03	-21,56	-1,78	0,11
1,171	-2,749	0,60	-24,03	-1,79	0,73
1,367	-2,553	1,70	-26,71	-1,57	1,79
1,563	-2,356	3,37	-29,48	-1,28	3,42
1,760	-2,160	6,48	-32,04	-0,43	6,49
1,956	-1,964	11,84	-33,71	0,87	11,86
2,152	-1,767	22,04	-32,84	3,69	22,28
2,349	-1,571	40,37	-24,91	8,23	41,40
2,545	-1,374	75,01	4,87	16,61	78,74
2,741	-1,178	122,57	98,74	16,68	131,15
2,938	-0,982	145,70	151,92	-0,37	151,94
3,134	-0,785	128,87	79,12	-13,50	132,30
3,330	-0,589	100,32	4,79	-7,23	100,86
3,527	-0,393	102,19	7,78	8,52	102,95
3,723	-0,196	131,61	89,56	13,05	135,33
3,920	0,000	145,37	152,46	-1,45	152,74
4,116	0,196	118,56	88,30	-17,52	126,57
4,312	0,393	70,88	0,20	-15,86	74,27
4,509	0,589	38,18	-26,17	-7,64	39,07
4,705	0,785	20,79	-33,09	-3,38	21,00
4,901	0,982	11,21	-33,61	-0,69	11,22
5,098	1,178	6,10	-31,81	0,52	6,11
5,294	1,374	3,18	-29,21	1,33	3,23
5,490	1,571	1,57	-26,45	1,59	1,66
5,687	1,767	0,53	-23,78	1,80	0,66
5,883	1,964	-0,09	-21,34	1,77	0,06
6,079	2,160	-0,58	-19,14	1,78	0,00
6,276	2,356	-0,91	-17,19	1,66	0,00
6,472	2,553	-1,21	-15,46	1,60	0,00
6,668	2,749	-1,43	-13,95	1,46	0,00
6,865	2,945	-1,65	-12,60	1,37	0,00
7,061	3,142	-1,79	-11,41	1,22	0,00
7,257	3,338	-1,96	-10,35	1,13	0,00
7,454	3,534	-2,06	-9,41	0,99	0,00

Tabela H.59 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=4,27m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-0,74	-14,51	-3,10	0,00
0,582	-3,338	-0,39	-16,18	-3,38	0,30
0,778	-3,142	-0,02	-18,04	-3,67	0,69
0,974	-2,945	0,34	-20,04	-3,98	1,09
1,171	-2,749	0,63	-22,05	-4,30	1,42
1,367	-2,553	0,67	-23,79	-4,53	1,48
1,563	-2,356	0,18	-24,74	-4,55	0,99
1,760	-2,160	-1,39	-23,94	-4,25	0,00
1,956	-1,964	-4,94	-19,96	-3,59	0,00
2,152	-1,767	-11,70	-10,92	-2,55	0,00

Y_{real}	Y_{relativo}	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_t \text{ max}$
2,349	-1,571	-22,83	4,71	-1,22	4,76
2,545	-1,374	-37,93	25,94	-0,21	25,94
2,741	-1,178	-52,99	46,79	-0,07	46,79
2,938	-0,982	-61,43	58,19	-1,54	58,21
3,134	-0,785	-61,00	58,49	-2,39	58,54
3,330	-0,589	-57,50	54,08	-0,87	54,09
3,527	-0,393	-57,73	54,38	0,98	54,39
3,723	-0,196	-61,30	58,83	2,39	58,87
3,920	0,000	-61,05	57,63	1,13	57,64
4,116	0,196	-51,77	45,14	-0,22	45,14
4,312	0,393	-36,43	23,85	0,80	23,86
4,509	0,589	-21,61	2,97	1,61	3,08
4,705	0,785	-10,90	-12,02	2,67	0,00
4,901	0,982	-4,49	-20,51	3,57	0,00
5,098	1,178	-1,18	-24,12	4,20	0,00
5,294	1,374	0,26	-24,70	4,65	1,10
5,490	1,571	0,69	-23,65	4,96	1,66
5,687	1,767	0,61	-21,87	4,20	1,36
5,883	1,964	0,31	-19,85	3,19	0,80
6,079	2,160	-0,06	-17,86	3,27	0,52
6,276	2,356	-0,43	-16,02	3,80	0,45
6,472	2,553	-0,77	-14,37	3,41	0,04
6,668	2,749	-1,06	-12,91	2,73	0,00
6,865	2,945	-1,31	-11,62	2,37	0,00
7,061	3,142	-1,53	-10,49	2,10	0,00
7,257	3,338	-1,71	-9,49	1,88	0,00
7,454	3,534	-1,86	-8,61	1,65	0,00

Tabela H.60 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22\text{m}$ e $x'=5,13\text{m}$ no eixo y .

Y_{real}	Y_{relativo}	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_t \text{ max}$
0,385	-3,534	-0,83	-12,71	-4,61	0,75
0,582	-3,338	-0,34	-14,28	-5,23	1,41
0,778	-3,142	0,24	-16,15	-5,98	2,19
0,974	-2,945	1,15	-18,36	-6,81	3,29
1,171	-2,749	2,34	-20,96	-7,81	4,71
1,367	-2,553	4,23	-23,99	-8,76	6,73
1,563	-2,356	6,98	-27,38	-9,66	9,51
1,760	-2,160	11,51	-30,94	-10,21	13,84
1,956	-1,964	18,64	-34,05	-10,44	20,64
2,152	-1,767	30,91	-35,10	-9,85	32,34
2,349	-1,571	51,50	-29,60	-8,25	52,33
2,545	-1,374	88,25	-2,21	-4,71	88,50
2,741	-1,178	137,70	93,90	-3,12	137,92
2,938	-0,982	162,55	146,66	-6,48	164,86
3,134	-0,785	146,87	70,45	-8,23	147,74
3,330	-0,589	119,11	-8,04	-3,53	119,21
3,527	-0,393	120,94	-4,96	4,12	121,07
3,723	-0,196	149,51	81,51	8,30	150,51
3,920	0,000	162,08	147,33	5,86	164,12
4,116	0,196	133,51	83,16	2,78	133,66
4,312	0,393	83,94	-6,74	5,59	84,28
4,509	0,589	49,09	-30,60	8,75	50,04
4,705	0,785	29,45	-35,15	9,95	30,95
4,901	0,982	17,83	-33,79	10,36	19,83
5,098	1,178	10,99	-30,60	10,07	13,30
5,294	1,374	6,68	-27,04	9,68	9,26
5,490	1,571	4,02	-23,68	9,11	6,75

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t \text{ max}}$
5,687	1,767	2,21	-20,69	7,63	4,52
5,883	1,964	1,05	-18,13	5,97	2,75
6,079	2,160	0,18	-15,95	5,54	1,90
6,276	2,356	-0,39	-14,12	5,61	1,61
6,472	2,553	-0,86	-12,56	4,89	0,92
6,668	2,749	-1,16	-11,24	3,92	0,18
6,865	2,945	-1,44	-10,11	3,35	0,00
7,061	3,142	-1,61	-9,14	2,89	0,00
7,257	3,338	-1,78	-8,28	2,53	0,00
7,454	3,534	-1,89	-7,53	2,17	0,00

Tabela H.61 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,22m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
0,385	-3,534	8,346E-21	0,000
0,582	-3,338	2,482E-19	0,000
0,778	-3,142	4,593E-18	0,000
0,974	-2,945	6,581E-17	0,000
1,171	-2,749	7,012E-16	0,000
1,367	-2,553	7,308E-15	0,000
1,563	-2,356	7,096E-14	0,000
1,760	-2,160	8,383E-13	0,000
1,956	-1,964	1,189E-11	0,000
2,152	-1,767	2,542E-10	0,000
2,349	-1,571	7,697E-09	0,000
2,545	-1,374	3,506E-07	0,007
2,741	-1,178	8,875E-06	0,188
2,938	-0,982	3,557E-05	0,752
3,134	-0,785	1,105E-05	0,234
3,330	-0,589	2,212E-06	0,047
3,527	-0,393	2,486E-06	0,053
3,723	-0,196	1,271E-05	0,269
3,920	0,000	3,605E-05	0,762
4,116	0,196	7,005E-06	0,148
4,312	0,393	2,455E-07	0,005
4,509	0,589	5,557E-09	0,000
4,705	0,785	1,873E-10	0,000
4,901	0,982	9,111E-12	0,000
5,098	1,178	6,444E-13	0,000
5,294	1,374	5,953E-14	0,000
5,490	1,571	7,439E-15	0,000
5,687	1,767	5,360E-16	0,000
5,883	1,964	2,044E-17	0,000
6,079	2,160	1,803E-18	0,000
6,276	2,356	6,069E-19	0,000
6,472	2,553	1,532E-20	0,000
6,668	2,749	3,463E-25	0,000
6,865	2,945	0,000E+00	0,000
7,061	3,142	0,000E+00	0,000
7,257	3,338	0,000E+00	0,000
7,454	3,534	0,000E+00	0,000

D.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.62 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y=0,00m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	8,35E-21	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	2,48E-19	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	4,59E-18	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	6,58E-17	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	7,01E-16	9,19E-20
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	7,31E-15	2,41E-18
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	7,10E-14	5,45E-17
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	8,38E-13	1,41E-15
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,19E-11	4,10E-14
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,54E-10	1,68E-12
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	7,70E-09	9,07E-11
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,51E-07	6,86E-09
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	8,88E-06	2,71E-07
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,56E-05	1,58E-06
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,11E-05	6,68E-07
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,21E-06	1,70E-07
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,49E-06	2,26E-07
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,27E-05	1,28E-06
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	3,60E-05	3,76E-06
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	7,01E-06	7,06E-07
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	2,45E-07	2,23E-08
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	5,56E-09	4,26E-10
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	1,87E-10	1,13E-11
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	9,11E-12	4,05E-13
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	6,44E-13	1,97E-14
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	5,95E-14	1,16E-15
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	7,44E-15	8,77E-17
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	5,36E-16	3,54E-18
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	2,04E-17	7,06E-20
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	1,80E-18	3,04E-21
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	6,07E-19	4,66E-22
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	1,53E-20	5,04E-24
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	3,46E-25	4,54E-29
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.63 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y=0,50m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,385	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	8,35E-21	0,00E+00
0,582	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	2,48E-19	0,00E+00
0,778	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	4,59E-18	0,00E+00
0,974	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	6,58E-17	0,00E+00
1,171	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	7,01E-16	0,00E+00
1,367	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	7,31E-15	0,00E+00
1,563	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	7,10E-14	0,00E+00
1,760	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	8,38E-13	1,10E-16
1,956	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,19E-11	3,91E-15
2,152	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	2,54E-10	1,95E-13
2,349	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	7,70E-09	1,30E-11
2,545	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	3,51E-07	1,21E-09
2,741	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	8,88E-06	5,86E-08

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,938	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	3,56E-05	4,19E-07
3,134	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	1,11E-05	2,16E-07
3,330	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,21E-06	6,76E-08
3,527	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,49E-06	1,11E-07
3,723	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,27E-05	7,68E-07
3,920	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	3,60E-05	2,77E-06
4,116	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	7,01E-06	6,37E-07
4,312	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,45E-07	2,47E-08
4,509	0,000	-0,131	0,131	0,104	5,56E-09	5,79E-10
4,705	0,196	0,131	0,393	0,101	1,87E-10	1,89E-11
4,901	0,393	0,393	0,655	0,091	9,11E-12	8,28E-13
5,098	0,589	0,655	0,916	0,077	6,44E-13	4,94E-14
5,294	0,785	0,916	1,178	0,060	5,95E-14	3,60E-15
5,490	0,982	1,178	1,440	0,044	7,44E-15	3,31E-16
5,687	1,178	1,440	1,702	0,031	5,36E-16	1,64E-17
5,883	1,374	1,702	1,964	0,020	2,04E-17	4,00E-19
6,079	1,571	1,963	2,225	0,012	1,80E-18	2,12E-20
6,276	1,767	2,225	2,487	0,007	6,07E-19	4,01E-21
6,472	1,963	2,487	2,749	0,003	1,53E-20	5,29E-23
6,668	2,160	2,749	3,011	0,002	3,46E-25	5,84E-28
6,865	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
7,061	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.64 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y'=1,0m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	8,35E-21	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	2,48E-19	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	4,59E-18	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	6,58E-17	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	7,01E-16	9,19E-20
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	7,31E-15	2,41E-18
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	7,10E-14	5,45E-17
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	8,38E-13	1,41E-15
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,19E-11	4,10E-14
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,54E-10	1,68E-12
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	7,70E-09	9,07E-11
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,51E-07	6,86E-09
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	8,88E-06	2,71E-07
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,56E-05	1,58E-06
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,11E-05	6,68E-07
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,21E-06	1,70E-07
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,49E-06	2,26E-07
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,27E-05	1,28E-06
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	3,60E-05	3,76E-06
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	7,01E-06	7,06E-07
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	2,45E-07	2,23E-08
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	5,56E-09	4,26E-10
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	1,87E-10	1,13E-11
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	9,11E-12	4,05E-13
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	6,44E-13	1,97E-14
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	5,95E-14	1,16E-15
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	7,44E-15	8,77E-17
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	5,36E-16	3,54E-18
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	2,04E-17	7,06E-20
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	1,80E-18	3,04E-21

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	6,07E-19	4,66E-22
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	1,53E-20	5,04E-24
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	3,46E-25	4,54E-29
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

D.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.65 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-5,13$	$x=-4,27$	$x=-3,42$	$x=-2,56$
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	0,00	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	0,00	0,00	0,00	0,00
2,349	-1,571	14,72	0,00	10,56	0,00
2,545	-1,374	51,03	0,00	46,76	1,13
2,741	-1,178	133,86	0,00	129,71	9,69
2,938	-0,982	176,89	1,05	172,59	14,18
3,134	-0,785	126,16	1,43	121,74	12,54
3,330	-0,589	66,04	1,01	61,28	9,26
3,527	-0,393	68,69	1,05	63,95	9,46
3,723	-0,196	133,92	1,44	129,53	12,87
3,920	0,000	176,94	0,94	172,66	14,04
4,116	0,196	125,46	0,00	121,32	8,98
4,312	0,393	46,06	0,00	41,78	0,32
4,509	0,589	12,74	0,00	8,59	0,00
4,705	0,785	0,00	0,00	0,00	0,00
4,901	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.66 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-1,71$	$x=-0,85$	$x=-0,0$
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00

y_{real}	y_{relativo}	$x=-1,71$	$x=-0,85$	$x=-0,0$
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	0,00	0,00	0,00
2,349	-1,571	8,73	0,00	8,61
2,545	-1,374	44,05	0,00	44,84
2,741	-1,178	124,40	0,00	127,97
2,938	-0,982	167,15	0,00	170,83
3,134	-0,785	116,65	0,00	119,91
3,330	-0,589	58,49	0,00	59,25
3,527	-0,393	61,05	0,00	61,92
3,723	-0,196	124,26	0,00	127,73
3,920	0,000	167,22	0,00	170,89
4,116	0,196	116,16	0,00	119,56
4,312	0,393	39,23	0,00	39,85
4,509	0,589	6,79	0,00	6,65
4,705	0,785	0,00	0,00	0,00
4,901	0,982	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00
7,454	3,534	0,00	0,00	0,00

Tabela H.67 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	y_{relativo}	$x=0,0$	$x=0,85$	$x=1,71$	$x=2,56$
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	0,00	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	0,00	0,00	0,00	0,00
2,349	-1,571	8,61	0,00	8,73	0,00
2,545	-1,374	44,84	0,00	44,05	1,13
2,741	-1,178	127,97	0,00	124,40	9,69
2,938	-0,982	170,83	0,00	167,15	14,18
3,134	-0,785	119,91	0,00	116,65	12,54
3,330	-0,589	59,25	0,00	58,49	9,26
3,527	-0,393	61,92	0,00	61,05	9,46
3,723	-0,196	127,73	0,00	124,26	12,87
3,920	0,000	170,89	0,00	167,22	14,04
4,116	0,196	119,56	0,00	116,16	8,98
4,312	0,393	39,85	0,00	39,23	0,32
4,509	0,589	6,65	0,00	6,79	0,00

Y real	Y relativo	x=0,0	x=0,85	x=1,71	x=2,56
4,705	0,785	0,00	0,00	0,00	0,00
4,901	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.68 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,22m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	x=3,42	x=4,27	x=5,13
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	0,00	0,00	0,00
2,349	-1,571	10,56	0,00	14,72
2,545	-1,374	46,76	0,00	51,03
2,741	-1,178	129,71	0,00	133,86
2,938	-0,982	172,59	1,05	176,89
3,134	-0,785	121,74	1,43	126,16
3,330	-0,589	61,28	1,01	66,04
3,527	-0,393	63,95	1,05	68,69
3,723	-0,196	129,53	1,44	133,92
3,920	0,000	172,66	0,94	176,94
4,116	0,196	121,32	0,00	125,46
4,312	0,393	41,78	0,00	46,06
4,509	0,589	8,59	0,00	12,74
4,705	0,785	0,00	0,00	0,00
4,901	0,982	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00
7,454	3,534	0,00	0,00	0,00

Tabela H.69 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,22m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
-0,032	-3,534	0,000E+00	0,000000
0,165	-3,338	0,000E+00	0,000000
0,361	-3,142	0,000E+00	0,000000
0,557	-2,945	0,000E+00	0,000000
0,754	-2,749	0,000E+00	0,000000
0,950	-2,553	0,000E+00	0,000000
1,146	-2,356	0,000E+00	0,000000
1,343	-2,160	0,000E+00	0,000000
1,539	-1,964	0,000E+00	0,000000
1,735	-1,767	0,000E+00	0,000000
1,932	-1,571	5,931E-14	0,000000
2,128	-1,374	2,887E-11	0,000001
2,324	-1,178	2,684E-09	0,000057
2,521	-0,982	9,731E-09	0,000206
2,717	-0,785	2,027E-09	0,000043
2,913	-0,589	9,696E-11	0,000002
3,110	-0,393	1,169E-10	0,000002
3,306	-0,196	2,675E-09	0,000057
3,503	0,000	9,748E-09	0,000206
3,699	0,196	1,988E-09	0,000042
3,895	0,393	1,762E-11	0,000000
4,092	0,589	2,847E-14	0,000000
4,288	0,785	0,000E+00	0,000000
4,484	0,982	0,000E+00	0,000000
4,681	1,178	0,000E+00	0,000000
4,877	1,374	0,000E+00	0,000000
5,073	1,571	0,000E+00	0,000000
5,270	1,767	0,000E+00	0,000000
5,466	1,964	0,000E+00	0,000000
5,662	2,160	0,000E+00	0,000000
5,859	2,356	0,000E+00	0,000000
6,055	2,553	0,000E+00	0,000000
6,251	2,749	0,000E+00	0,000000
6,448	2,945	0,000E+00	0,000000
6,644	3,142	0,000E+00	0,000000
6,840	3,338	0,000E+00	0,000000
7,037	3,534	0,000E+00	0,000000

D.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.70 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y=0,00m$.

Y real	Y bal	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00	0,00E+00
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	0,00E+00	0,00E+00
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	0,00E+00	0,00E+00
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	5,93E-14	6,99E-16
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,89E-11	5,65E-13
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,68E-09	8,20E-11

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	9,73E-09	4,33E-10
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	2,03E-09	1,22E-10
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	9,70E-11	7,44E-12
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,17E-10	1,06E-11
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,68E-09	2,69E-10
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	9,75E-09	1,02E-09
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	1,99E-09	2,00E-10
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	1,76E-11	1,60E-12
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	2,85E-14	2,18E-15
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.71 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y' = 0,50m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,385	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,582	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,778	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,974	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,171	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,367	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,563	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,760	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,956	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
2,152	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
2,349	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	5,93E-14	1,00E-16
2,545	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	2,89E-11	9,97E-14
2,741	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,68E-09	1,77E-11
2,938	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	9,73E-09	1,15E-10
3,134	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	2,03E-09	3,96E-11
3,330	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	9,70E-11	2,96E-12
3,527	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,17E-10	5,20E-12
3,723	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	2,68E-09	1,62E-10
3,920	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	9,75E-09	7,48E-10
4,116	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,99E-09	1,81E-10
4,312	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,76E-11	1,77E-12
4,509	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,85E-14	2,97E-15
4,705	0,196	0,131	0,393	0,101	0,00E+00	0,00E+00
4,901	0,393	0,393	0,655	0,091	0,00E+00	0,00E+00
5,098	0,589	0,655	0,916	0,077	0,00E+00	0,00E+00
5,294	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
5,490	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
5,687	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
5,883	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
6,079	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
6,276	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
6,472	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
6,668	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
7,061	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.72 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal para $y'=1,0m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00	0,00E+00
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	0,00E+00	0,00E+00
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	0,00E+00	0,00E+00
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	5,93E-14	6,99E-16
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,89E-11	5,65E-13
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,68E-09	8,20E-11
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	9,73E-09	4,33E-10
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	2,03E-09	1,22E-10
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	9,70E-11	7,44E-12
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,17E-10	1,06E-11
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,68E-09	2,69E-10
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	9,75E-09	1,02E-09
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	1,99E-09	2,00E-10
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	1,76E-11	1,60E-12
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	2,85E-14	2,18E-15
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

E - CÁLCULO DA ESTRUTURA 01 PARA O BOEING 747-400

E.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.73 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=0,0m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,58	-2,356	22,55	-32,886	14,1082	25,93
2,78	-2,160	30,05	-34,8037	15,733	33,67
2,98	-1,964	41,11	-34,76	16,92	44,71
3,17	-1,767	59,95	-29,62	17,31	63,18
3,37	-1,571	91,52	-9,87	16,61	94,17
3,57	-1,374	144,00	64,57	14,66	146,62
3,76	-1,178	186,29	172,31	11,57	192,81
3,96	-0,982	182,59	140,28	7,93	184,03
4,15	-0,785	145,69	23,06	4,15	145,83
4,35	-0,589	123,31	-12,03	0,52	123,31
4,55	-0,393	135,85	5,09	-3,06	135,92
4,74	-0,196	173,05	103,61	-6,80	173,71
4,94	0,000	190,58	178,75	-10,56	196,77
5,14	0,196	159,76	103,89	-13,82	163,00
5,33	0,393	105,38	2,74	-16,18	107,87
5,53	0,589	67,29	-26,14	-17,23	70,37
5,73	0,785	45,87	-34,04	-17,15	49,39
5,92	0,982	32,68	-35,11	-16,15	36,33
6,12	1,178	24,57	-33,59	-14,62	28,04
6,31	1,374	18,90	-31,07	-12,85	22,01
6,51	1,571	15,04	-28,24	-11,08	17,72
6,71	1,767	12,01	-25,39	-9,41	14,24
6,90	1,964	9,81	-22,67	-7,92	11,64
7,10	2,160	7,93	-20,15	-6,63	9,42
7,30	2,356	6,54	-17,85	-5,53	7,73

Tabela H.74 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=-0,73m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,58	-2,356	19,99	-31,48	-0,12	19,99
2,78	-2,160	20,95	-28,55	0,32	20,95
2,98	-1,964	19,31	-19,99	1,32	19,35
3,17	-1,767	12,92	-2,63	2,79	13,40
3,37	-1,571	-0,04	25,41	4,62	26,23
3,57	-1,374	-17,52	59,22	4,67	59,51
3,76	-1,178	-29,81	83,82	1,49	83,84
3,96	-0,982	-27,00	83,21	-2,26	83,25
4,15	-0,785	-14,15	66,32	-3,29	66,45
4,35	-0,589	-6,06	54,85	-0,56	54,86
4,55	-0,393	-10,68	61,45	2,79	61,56
4,74	-0,196	-23,59	78,86	3,00	78,94
4,94	0,000	-30,68	86,57	-0,33	86,57
5,14	0,196	-22,30	68,24	-3,97	68,41
5,33	0,393	-5,02	35,37	-4,99	35,98
5,53	0,589	9,79	4,58	-3,32	11,41
5,73	0,785	18,02	-15,90	-1,73	18,11
5,92	0,982	20,82	-26,74	-0,54	20,82
6,12	1,178	20,44	-31,03	0,00	20,44
6,31	1,374	18,57	-31,53	0,31	18,57
6,51	1,571	16,18	-30,04	0,35	16,18
6,71	1,767	13,76	-27,65	0,39	13,77
6,90	1,964	11,54	-24,94	0,31	11,54

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
7,10	2,160	9,58	-22,24	0,29	9,58
7,30	2,356	7,91	-19,69	0,22	7,91

Tabela H.75 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,22m$ e $x'=1,47m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,58	-2,356	22,55	-32,886	14,1082	25,93
2,78	-2,160	30,05	-34,8037	15,733	33,67
2,98	-1,964	41,11	-34,76	16,92	44,71
3,17	-1,767	59,95	-29,62	17,31	63,18
3,37	-1,571	91,52	-9,87	16,61	94,17
3,57	-1,374	144,00	64,57	14,66	146,62
3,76	-1,178	186,29	172,31	11,57	192,81
3,96	-0,982	182,59	140,28	7,93	184,03
4,15	-0,785	145,69	23,06	4,15	145,83
4,35	-0,589	123,31	-12,03	0,52	123,31
4,55	-0,393	135,85	5,09	-3,06	135,92
4,74	-0,196	173,05	103,61	-6,80	173,71
4,94	0,000	190,58	178,75	-10,56	196,77
5,14	0,196	159,76	103,89	-13,82	163,00
5,33	0,393	105,38	2,74	-16,18	107,87
5,53	0,589	67,29	-26,14	-17,23	70,37
5,73	0,785	45,87	-34,04	-17,15	49,39
5,92	0,982	32,68	-35,11	-16,15	36,33
6,12	1,178	24,57	-33,59	-14,62	28,04
6,31	1,374	18,90	-31,07	-12,85	22,01
6,51	1,571	15,04	-28,24	-11,08	17,72
6,71	1,767	12,01	-25,39	-9,41	14,24
6,90	1,964	9,81	-22,67	-7,92	11,64
7,10	2,160	7,93	-20,15	-6,63	9,42
7,30	2,356	6,54	-17,85	-5,53	7,73

Tabela H.76 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,22m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
2,58	-2,356	9,374E-11	0,000
2,78	-2,160	5,600E-10	0,000
2,98	-1,964	3,684E-09	0,000
3,17	-1,767	3,580E-08	0,001
3,37	-1,571	4,927E-07	0,010
3,57	-1,374	9,024E-06	0,191
3,76	-1,178	5,451E-05	1,153
3,96	-0,982	4,011E-05	0,848
4,15	-0,785	8,697E-06	0,184
4,35	-0,589	2,891E-06	0,061
4,55	-0,393	5,477E-06	0,116
4,74	-0,196	2,745E-05	0,580
4,94	0,000	6,228E-05	1,317
5,14	0,196	1,809E-05	0,383
5,33	0,393	1,202E-06	0,025
5,53	0,589	7,267E-08	0,002
5,73	0,785	7,100E-09	0,000
5,92	0,982	9,324E-10	0,000
6,12	1,178	1,613E-10	0,000
6,31	1,374	2,931E-11	0,000
6,51	1,571	6,101E-12	0,000
6,71	1,767	1,206E-12	0,000
6,90	1,964	2,814E-13	0,000
7,10	2,160	5,827E-14	0,000

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
7,30	2,356	1,525E-14	0,000
2,58	-2,356	9,374E-11	0,000

E.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.77 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y=0,00m$.

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
2,58	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,37E-11	7,20E-14
2,78	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	5,68E-10	9,45E-13
2,98	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	3,68E-09	1,27E-11
3,17	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	3,58E-08	2,36E-10
3,37	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,93E-07	5,81E-09
3,57	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	9,02E-06	1,76E-07
3,76	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,45E-05	1,67E-06
3,96	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,01E-05	1,78E-06
4,15	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	8,70E-06	5,26E-07
4,35	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,89E-06	2,22E-07
4,55	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	5,48E-06	4,98E-07
4,74	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,74E-05	2,76E-06
4,94	0,000	-0,131	0,131	0,104	6,23E-05	6,49E-06
5,14	0,196	0,131	0,393	0,101	1,81E-05	1,82E-06
5,33	0,393	0,393	0,655	0,091	1,20E-06	1,09E-07
5,53	0,589	0,654	0,916	0,077	7,27E-08	5,58E-09
5,73	0,785	0,916	1,178	0,060	7,10E-09	4,29E-10
5,92	0,982	1,178	1,440	0,044	9,32E-10	4,15E-11
6,12	1,178	1,440	1,702	0,031	1,61E-10	4,93E-12
6,31	1,3745	1,702	1,964	0,020	2,93E-11	5,73E-13
6,51	1,5708	1,963	2,225	0,012	6,10E-12	7,19E-14
6,71	1,7672	2,225	2,487	0,007	1,21E-12	7,96E-15
6,90	1,964	2,487	2,749	0,003	2,81E-13	9,72E-16
7,10	2,160	2,749	3,011	0,002	5,83E-14	9,83E-17
7,30	2,356	3,011	3,272	0,001	1,52E-14	1,17E-17

Tabela H.78 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y=0,589m$.

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
2,58	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	9,37E-11	0,00E+00
2,78	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	5,60E-10	0,00E+00
2,98	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	3,68E-09	0,00E+00
3,17	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	3,58E-08	2,75E-11
3,37	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	4,93E-07	8,31E-10
3,57	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	9,02E-06	3,12E-08
3,76	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	5,45E-05	3,60E-07
3,96	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,01E-05	4,73E-07
4,15	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	8,70E-06	1,70E-07
4,35	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,89E-06	8,83E-08
4,55	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	5,48E-06	2,44E-07
4,74	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	2,74E-05	1,66E-06
4,94	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	6,23E-05	4,78E-06
5,14	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,81E-05	1,64E-06
5,33	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,20E-06	1,21E-07
5,53	0,000	-0,131	0,131	0,104	7,27E-08	7,57E-09
5,73	0,196	0,131	0,393	0,101	7,10E-09	7,15E-10
5,92	0,393	0,393	0,655	0,091	9,32E-10	8,48E-11
6,12	0,589	0,655	0,916	0,077	1,61E-10	1,24E-11
6,31	0,785	0,916	1,178	0,060	2,93E-11	1,77E-12
6,51	0,982	1,178	1,440	0,044	6,10E-12	2,71E-13

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
6,71	1,178	1,440	1,702	0,031	1,21E-12	3,68E-14
6,90	1,374	1,702	1,964	0,020	2,81E-13	5,50E-15
7,10	1,571	1,963	2,225	0,012	5,83E-14	6,87E-16
7,30	1,767	2,225	2,487	0,007	1,52E-14	1,01E-16

Tabela H.79 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y=1,12m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,58	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,37E-11	7,20E-14
2,78	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	5,60E-10	9,45E-13
2,98	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	3,68E-09	1,27E-11
3,17	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	3,58E-08	2,36E-10
3,37	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,93E-07	5,81E-09
3,57	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	9,02E-06	1,76E-07
3,76	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,45E-05	1,67E-06
3,96	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,01E-05	1,78E-06
4,15	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	8,70E-06	5,26E-07
4,35	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,89E-06	2,22E-07
4,55	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	5,48E-06	4,98E-07
4,74	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,74E-05	2,76E-06
4,94	0,000	-0,131	0,131	0,104	6,23E-05	6,49E-06
5,14	0,196	0,131	0,393	0,101	1,81E-05	1,82E-06
5,33	0,393	0,393	0,655	0,091	1,20E-06	1,09E-07
5,53	0,589	0,654	0,916	0,077	7,27E-08	5,58E-09
5,73	0,785	0,916	1,178	0,060	7,10E-09	4,29E-10
5,92	0,982	1,178	1,440	0,044	9,32E-10	4,15E-11
6,12	1,178	1,440	1,702	0,031	1,61E-10	4,93E-12
6,31	1,374	1,702	1,964	0,020	2,93E-11	5,73E-13
6,51	1,571	1,963	2,225	0,012	6,10E-12	7,19E-14
6,71	1,767	2,225	2,487	0,007	1,21E-12	7,96E-15
6,90	1,964	2,487	2,749	0,003	2,81E-13	9,72E-16
7,10	2,160	2,749	3,011	0,002	5,83E-14	9,83E-17
7,30	2,356	3,011	3,272	0,001	1,52E-14	1,17E-17
2,58	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,37E-11	7,20E-14

E.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.80 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=0,0$	$x=0,73$	$x=1,47$
2,58	-2,356	15,96	15,26	15,96
2,78	-2,160	35,93	32,45	35,93
2,98	-1,964	69,04	57,94	69,04
3,17	-1,767	122,18	92,68	122,18
3,37	-1,571	202,91	134,69	202,91
3,57	-1,374	307,28	176,87	307,28
3,76	-1,178	389,50	208,31	389,50
3,96	-0,982	392,26	221,80	392,26
4,15	-0,785	339,98	221,40	339,98
4,35	-0,589	306,73	218,55	306,73
4,55	-0,393	325,57	220,31	325,57
4,74	-0,196	379,08	222,66	379,08
4,94	0,000	399,50	214,22	399,50
5,14	0,196	337,23	187,78	337,23
5,33	0,393	232,33	147,61	232,33
5,53	0,589	142,93	104,57	142,93
5,73	0,785	82,31	67,27	82,31
5,92	0,982	44,09	39,05	44,09

y real	y relativo	x=0,0	x=0,73	x=1,47
6,12	1,178	20,82	19,59	20,82
6,31	1,374	7,06	7,06	7,06
6,51	1,571	-0,85	-0,57	-0,85
6,71	1,767	-5,24	-4,98	-5,24
6,90	1,964	-7,59	-7,40	-7,59
7,10	2,160	-8,78	-8,66	-8,78
7,30	2,356	-9,33	-9,24	-9,33

Tabela H.81 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,23m$ no eixo y.

y real	y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
2,58	-2,356	3,690E-14	0,0000
2,78	-2,160	1,649E-12	0,0000
2,98	-1,964	3,519E-11	0,0000
3,17	-1,767	5,085E-10	0,0000
3,37	-1,571	5,364E-09	0,0001
3,57	-1,374	3,614E-08	0,0008
3,76	-1,178	1,063E-07	0,0022
3,96	-0,982	1,088E-07	0,0023
4,15	-0,785	5,512E-08	0,0012
4,35	-0,589	3,333E-08	0,0007
4,55	-0,393	4,469E-08	0,0009
4,74	-0,196	9,258E-08	0,0020
4,94	0,000	1,191E-07	0,0025
5,14	0,196	5,524E-08	0,0012
5,33	0,393	1,002E-08	0,0002
5,53	0,589	1,056E-09	0,0000
5,73	0,785	8,022E-11	0,0000
5,92	0,982	4,301E-12	0,0000
6,12	1,178	1,283E-13	0,0000
6,31	1,374	7,930E-16	0,0000
6,51	1,571	0	0,0000
6,71	1,767	0	0,0000
6,90	1,964	0	0,0000
7,10	2,160	0	0,0000
7,30	2,356	0	0,0000

E.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.82 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y'=0,00m$.

y real	y bal	y ₁	y ₂	P _j	ΔD	ΔD P _j
2,58	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	3,69E-14	2,83E-17
2,78	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,65E-12	2,78E-15
2,98	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	3,52E-11	1,21E-13
3,17	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	5,08E-10	3,36E-12
3,37	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	5,36E-09	6,32E-11
3,57	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,61E-08	7,07E-10
3,76	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,06E-07	3,25E-09
3,96	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,09E-07	4,84E-09
4,15	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	5,51E-08	3,33E-09
4,35	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	3,33E-08	2,56E-09
4,55	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,47E-08	4,06E-09
4,74	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	9,26E-08	9,33E-09
4,94	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,19E-07	1,24E-08
5,14	0,196	0,131	0,393	0,101	5,52E-08	5,56E-09
5,33	0,393	0,393	0,655	0,091	1,00E-08	9,11E-10
5,53	0,589	0,654	0,916	0,077	1,06E-09	8,10E-11

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
5,73	0,785	0,916	1,178	0,060	8,02E-11	4,85E-12
5,92	0,982	1,178	1,440	0,044	4,30E-12	1,91E-13
6,12	1,178	1,440	1,702	0,031	1,28E-13	3,92E-15
6,31	1,3745	1,702	1,964	0,020	7,93E-16	1,55E-17
6,51	1,5708	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
6,71	1,7672	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
6,90	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
7,10	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
7,30	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.83 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y' = 0,589m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,58	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	3,69E-14	0,00E+00
2,78	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	1,65E-12	0,00E+00
2,98	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	3,52E-11	0,00E+00
3,17	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	5,08E-10	3,91E-13
3,37	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	5,36E-09	9,05E-12
3,57	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	3,61E-08	1,25E-10
3,76	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,06E-07	7,02E-10
3,96	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,09E-07	1,28E-09
4,15	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	5,51E-08	1,08E-09
4,35	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,33E-08	1,02E-09
4,55	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,47E-08	1,99E-09
4,74	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	9,26E-08	5,60E-09
4,94	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,19E-07	9,14E-09
5,14	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	5,52E-08	5,02E-09
5,33	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,00E-08	1,01E-09
5,53	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,06E-09	1,10E-10
5,73	0,196	0,131	0,393	0,101	8,02E-11	8,08E-12
5,92	0,393	0,393	0,655	0,091	4,30E-12	3,91E-13
6,12	0,589	0,655	0,916	0,077	1,28E-13	9,84E-15
6,31	0,785	0,916	1,178	0,060	7,93E-16	4,79E-17
6,51	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
6,71	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
6,90	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
7,10	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
7,30	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.84 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y' = 1,12m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,58	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	3,69E-14	2,83E-17
2,78	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,65E-12	2,78E-15
2,98	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	3,52E-11	1,21E-13
3,17	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	5,08E-10	3,36E-12
3,37	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	5,36E-09	6,32E-11
3,57	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,61E-08	7,07E-10
3,76	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,06E-07	3,25E-09
3,96	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,09E-07	4,84E-09
4,15	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	5,51E-08	3,33E-09
4,35	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	3,33E-08	2,56E-09
4,55	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,47E-08	4,06E-09
4,74	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	9,26E-08	9,33E-09
4,94	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,19E-07	1,24E-08
5,14	0,196	0,131	0,393	0,101	5,52E-08	5,56E-09
5,33	0,393	0,393	0,655	0,091	1,00E-08	9,11E-10
5,53	0,589	0,654	0,916	0,077	1,06E-09	8,10E-11
5,73	0,785	0,916	1,178	0,060	8,02E-11	4,85E-12

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
5,92	0,982	1,178	1,440	0,044	4,30E-12	1,91E-13
6,12	1,178	1,440	1,702	0,031	1,28E-13	3,92E-15
6,31	1,374	1,702	1,964	0,020	7,93E-16	1,55E-17
6,51	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
6,71	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
6,90	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
7,10	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
7,30	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00

APÊNDICE C - Cálculo da Estrutura 05

F - CÁLCULO DA ESTRUTURA 05 PARA O AIRBUS A380-800

F.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.85 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-1,70m$ no eixo y

y real	y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_l max
-1,677	-3,534	-3,22	-21,16	-9,73	1,05
-1,481	-3,338	-2,02	-25,32	-10,90	2,28
-1,285	-3,142	-0,25	-30,45	-12,43	4,20
-1,088	-2,945	2,65	-36,66	-13,76	6,98
-0,892	-2,749	7,19	-43,86	-15,38	11,46
-0,696	-2,553	14,74	-51,37	-16,50	18,63
-0,499	-2,356	27,10	-57,00	-17,79	30,71
-0,303	-2,160	48,06	-54,46	-18,29	51,23
-0,107	-1,964	83,20	-24,85	-19,79	86,71
0,090	-1,767	135,30	94,38	-18,33	142,31
0,286	-1,571	170,84	215,54	-10,62	217,93
0,483	-1,374	155,20	138,17	-1,76	155,38
0,679	-1,178	109,49	-20,98	1,60	109,51
0,875	-0,982	77,14	-77,37	0,42	77,14
1,072	-0,785	66,82	-90,29	0,01	66,82
1,268	-0,589	75,10	-80,05	-0,31	75,10
1,464	-0,393	104,96	-30,96	-1,55	104,98
1,661	-0,196	150,90	119,48	1,06	150,94
1,857	0,000	171,78	217,19	9,63	219,15
2,053	0,196	140,72	112,99	17,76	149,39
2,250	0,393	88,15	-18,20	19,93	91,77
2,446	0,589	50,92	-53,20	18,38	54,07
2,642	0,785	28,88	-57,32	17,90	32,45
2,839	0,982	15,74	-52,14	16,63	19,60
3,035	1,178	7,85	-44,67	15,54	12,10
3,231	1,374	3,01	-37,39	13,92	7,34
3,428	1,571	0,01	-31,07	12,59	4,48
3,624	1,767	-1,89	-25,83	11,05	2,43
3,821	1,964	-3,10	-21,57	9,87	1,19
4,017	2,160	-3,89	-18,12	8,61	0,16
4,213	2,356	-4,40	-15,33	7,69	0,00
4,410	2,553	-4,75	-13,04	6,71	0,00
4,606	2,749	-4,96	-11,16	6,03	0,00
4,802	2,945	-5,10	-9,58	5,28	0,00
4,999	3,142	-5,17	-8,24	4,77	0,00
5,195	3,338	-5,22	-7,10	4,20	0,00
5,391	3,534	-5,22	-6,12	3,82	0,00

Tabela H.86 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-0,85m$ no eixo y .

y real	y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_l max
-1,677	-3,534	-1,85	-24,18	-6,33	0,00
-1,481	-3,338	-1,51	-27,78	-6,85	0,16
-1,285	-3,142	-1,42	-31,57	-7,36	0,28
-1,088	-2,945	-1,85	-35,11	-8,06	0,00
-0,892	-2,749	-3,35	-37,50	-8,93	0,00
-0,696	-2,553	-6,83	-37,13	-10,31	0,00
-0,499	-2,356	-13,62	-31,34	-12,22	0,00
-0,303	-2,160	-25,10	-16,38	-14,78	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,107	-1,964	-41,39	12,63	-16,46	17,25
0,090	-1,767	-58,68	62,90	-14,47	64,60
0,286	-1,571	-68,45	100,92	-5,20	101,08
0,483	-1,374	-63,29	72,41	4,93	72,59
0,679	-1,178	-48,86	15,21	7,41	16,06
0,875	-0,982	-35,83	-18,12	4,73	0,00
1,072	-0,785	-30,43	-29,49	0,26	0,00
1,268	-0,589	-34,83	-20,31	-4,29	0,00
1,464	-0,393	-47,27	10,48	-7,28	11,39
1,661	-0,196	-62,00	66,19	-5,58	66,43
1,857	0,000	-68,64	101,20	3,95	101,29
2,053	0,196	-60,26	68,99	13,86	70,46
2,250	0,393	-43,28	16,81	16,51	21,05
2,446	0,589	-26,63	-14,07	15,05	0,00
2,642	0,785	-14,58	-30,27	12,48	0,00
2,839	0,982	-7,37	-36,83	10,49	0,00
3,035	1,178	-3,61	-37,63	9,05	0,00
3,231	1,374	-1,95	-35,44	8,15	0,00
3,428	1,571	-1,43	-31,97	7,43	0,28
3,624	1,767	-1,49	-28,18	6,91	0,19
3,821	1,964	-1,80	-24,54	6,39	0,00
4,017	2,160	-2,21	-21,26	5,96	0,00
4,213	2,356	-2,61	-18,39	5,51	0,00
4,410	2,553	-2,98	-15,90	5,12	0,00
4,606	2,749	-3,29	-13,77	4,72	0,00
4,802	2,945	-3,57	-11,93	4,38	0,00
4,999	3,142	-3,78	-10,35	4,03	0,00
5,195	3,338	-3,96	-8,99	3,75	0,00
5,391	3,534	-4,10	-7,80	3,45	0,00

Tabela H.87 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=0,00m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-1,677	-3,534	0,06	-25,74	-3,76	0,59
-1,481	-3,338	1,11	-29,82	-3,84	1,58
-1,285	-3,142	2,51	-34,54	-3,74	2,88
-1,088	-2,945	4,75	-39,83	-3,59	5,04
-0,892	-2,749	8,27	-45,44	-3,06	8,44
-0,696	-2,553	14,42	-50,52	-2,20	14,50
-0,499	-2,356	25,09	-52,82	-0,36	25,09
-0,303	-2,160	44,29	-46,31	2,51	44,36
-0,107	-1,964	78,36	-12,90	7,20	78,92
0,090	-1,767	129,59	107,30	8,66	132,56
0,286	-1,571	161,29	215,83	-0,61	215,84
0,483	-1,374	142,36	136,87	-11,46	151,40
0,679	-1,178	95,34	-11,13	-11,31	96,53
0,875	-0,982	63,35	-62,65	-5,50	63,59
1,072	-0,785	53,38	-74,85	-0,26	53,38
1,268	-0,589	61,38	-65,17	4,92	61,57
1,464	-0,393	90,79	-20,14	10,78	91,83
1,661	-0,196	137,84	118,93	12,03	143,68
1,857	0,000	161,78	216,60	2,01	216,68
2,053	0,196	134,73	125,02	-8,19	139,40
2,250	0,393	83,28	-5,89	-7,69	83,94
2,446	0,589	46,96	-44,63	-2,90	47,05
2,642	0,785	26,70	-52,74	0,12	26,70
2,839	0,982	15,24	-50,98	2,07	15,30
3,035	1,178	8,81	-46,05	2,99	8,98

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,231	1,374	5,01	-40,44	3,57	5,29
3,428	1,571	2,73	-35,09	3,73	3,10
3,624	1,767	1,21	-30,30	3,85	1,67
3,821	1,964	0,18	-26,16	3,77	0,71
4,017	2,160	-0,63	-22,60	3,74	0,00
4,213	2,356	-1,23	-19,58	3,60	0,00
4,410	2,553	-1,76	-16,99	3,51	0,00
4,606	2,749	-2,16	-14,78	3,35	0,00
4,802	2,945	-2,53	-12,88	3,25	0,00
4,999	3,142	-2,81	-11,24	3,08	0,00
5,195	3,338	-3,07	-9,81	2,98	0,00
5,391	3,534	-3,26	-8,57	2,82	0,00

Tabela H.88 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=0,85m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-1,677	-3,534	0,72	-24,84	-1,00	0,76
-1,481	-3,338	1,21	-28,16	-0,67	1,22
-1,285	-3,142	1,45	-31,49	-0,30	1,45
-1,088	-2,945	1,14	-34,32	0,23	1,15
-0,892	-2,749	-0,30	-35,67	0,85	0,00
-0,696	-2,553	-3,83	-33,85	1,70	0,00
-0,499	-2,356	-10,87	-26,33	2,55	0,00
-0,303	-2,160	-22,87	-9,95	3,21	0,00
-0,107	-1,964	-39,83	17,95	2,74	18,08
0,090	-1,767	-57,69	58,91	1,30	58,92
0,286	-1,571	-67,86	88,00	-0,36	88,00
0,483	-1,374	-62,33	67,93	-1,48	67,95
0,679	-1,178	-47,21	22,68	-1,89	22,73
0,875	-0,982	-33,52	-7,32	-1,50	0,00
1,072	-0,785	-27,78	-18,20	-0,08	0,00
1,268	-0,589	-32,45	-9,39	1,39	0,00
1,464	-0,393	-45,54	18,60	1,91	18,66
1,661	-0,196	-60,97	63,31	1,56	63,33
1,857	0,000	-68,04	88,32	0,53	88,33
2,053	0,196	-59,33	63,55	-1,12	63,56
2,250	0,393	-41,78	21,65	-2,61	21,76
2,446	0,589	-24,47	-7,58	-3,23	0,00
2,642	0,785	-11,88	-25,07	-2,63	0,00
2,839	0,982	-4,39	-33,38	-1,79	0,00
3,035	1,178	-0,55	-35,66	-0,92	0,00
3,231	1,374	1,05	-34,55	-0,28	1,06
3,428	1,571	1,46	-31,82	0,26	1,46
3,624	1,767	1,25	-28,52	0,64	1,26
3,821	1,964	0,78	-25,18	0,98	0,82
4,017	2,160	0,22	-22,08	1,22	0,29
4,213	2,356	-0,33	-19,31	1,44	0,00
4,410	2,553	-0,85	-16,89	1,59	0,00
4,606	2,749	-1,30	-14,77	1,74	0,00
4,802	2,945	-1,70	-12,94	1,83	0,00
4,999	3,142	-2,04	-11,35	1,92	0,00
5,195	3,338	-2,33	-9,96	1,97	0,00
5,391	3,534	-2,58	-8,75	2,01	0,00

Tabela H.89 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=1,70m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-1,677	-3,534	2,17	-22,45	3,88	2,77
-1,481	-3,338	3,72	-25,98	5,02	4,55

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-1,285	-3,142	5,89	-30,09	6,83	7,14
-1,088	-2,945	9,16	-34,75	8,61	10,79
-0,892	-2,749	14,06	-39,69	11,40	16,38
-0,696	-2,553	21,85	-44,15	14,44	24,87
-0,499	-2,356	34,17	-46,08	19,43	38,63
-0,303	-2,160	54,31	-40,24	25,69	60,84
-0,107	-1,964	86,73	-11,76	35,98	98,48
0,090	-1,767	132,90	86,75	37,82	154,13
0,286	-1,571	164,46	185,21	12,34	190,95
0,483	-1,374	151,33	124,09	-19,25	161,30
0,679	-1,178	112,09	-4,85	-24,00	116,83
0,875	-0,982	83,80	-53,41	-11,77	84,81
1,072	-0,785	74,50	-65,24	-0,56	74,50
1,268	-0,589	81,98	-55,84	10,48	82,77
1,464	-0,393	108,18	-13,21	23,01	112,40
1,661	-0,196	147,66	109,13	21,28	157,10
1,857	0,000	165,33	186,67	-8,55	189,67
2,053	0,196	137,68	101,80	-36,43	160,35
2,250	0,393	91,17	-5,94	-37,06	103,69
2,446	0,589	57,02	-38,75	-26,54	63,88
2,642	0,785	35,90	-45,99	-20,04	40,54
2,839	0,982	22,87	-44,54	-14,83	25,99
3,035	1,178	14,75	-40,22	-11,71	17,14
3,231	1,374	9,57	-35,27	-8,83	11,25
3,428	1,571	6,19	-30,56	-7,02	7,48
3,624	1,767	3,91	-26,39	-5,16	4,76
3,821	1,964	2,32	-22,81	-4,01	2,94
4,017	2,160	1,17	-19,77	-2,74	1,52
4,213	2,356	0,33	-17,21	-1,99	0,55
4,410	2,553	-0,33	-15,05	-1,11	0,00
4,606	2,749	-0,84	-13,21	-0,64	0,00
4,802	2,945	-1,25	-11,64	-0,03	0,00
4,999	3,142	-1,57	-10,28	0,25	0,00
5,195	3,338	-1,85	-9,11	0,68	0,00
5,391	3,534	-2,07	-8,07	0,83	0,00

Tabela H.90 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,23m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
-1,677	-3,534	2,124E-17	0,000
-1,481	-3,338	5,634E-16	0,000
-1,285	-3,142	1,112E-14	0,000
-1,088	-2,945	1,722E-13	0,000
-0,892	-2,749	2,793E-12	0,000
-0,696	-2,553	4,610E-11	0,000
-0,499	-2,356	9,041E-10	0,000
-0,303	-2,160	2,023E-08	0,000
-0,107	-1,964	5,510E-07	0,012
0,090	-1,767	1,228E-05	0,260
0,286	-1,571	1,435E-04	3,034
0,483	-1,374	2,057E-05	0,435
0,679	-1,178	1,970E-06	0,042
0,875	-0,982	2,089E-07	0,004
1,072	-0,785	8,466E-08	0,002
1,268	-0,589	1,764E-07	0,004
1,464	-0,393	1,500E-06	0,032
1,661	-0,196	1,649E-05	0,349
1,857	0,000	1,461E-04	3,090

y _{real}	y _{relativo}	$\Delta D_{\text{individual}}$	$\Delta D_{\text{acumulado}}$
2,053	0,196	1,643E-05	0,347
2,250	0,393	7,876E-07	0,017
2,446	0,589	2,826E-08	0,001
2,642	0,785	1,257E-09	0,000
2,839	0,982	6,206E-11	0,000
3,035	1,178	3,783E-12	0,000
3,231	1,374	2,272E-13	0,000
3,428	1,571	1,520E-14	0,000
3,624	1,767	7,598E-16	0,000
3,821	1,964	3,197E-17	0,000
4,017	2,160	4,234E-19	0,000
4,213	2,356	5,190E-22	0,000
4,410	2,553	0,000E+00	0,000
4,606	2,749	0,000E+00	0,000
4,802	2,945	0,000E+00	0,000
4,999	3,142	0,000E+00	0,000
5,195	3,338	0,000E+00	0,000
5,391	3,534	0,000E+00	0,000

F.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.91 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y'=0,00m$.

y _{real}	y _{bal}	y ₁	y ₂	P _j	ΔD	ΔD_{Pj}
-1,481	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	5,63E-16	0,00E+00
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,11E-14	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	1,72E-13	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	2,79E-12	3,66E-16
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	4,61E-11	1,52E-14
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,04E-10	6,94E-13
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,02E-08	3,41E-11
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	5,51E-07	1,90E-09
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,23E-05	8,11E-08
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,43E-04	1,69E-06
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,06E-05	4,02E-07
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,97E-06	6,02E-08
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,09E-07	9,29E-09
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	8,47E-08	5,12E-09
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,76E-07	1,35E-08
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,50E-06	1,36E-07
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,65E-05	1,66E-06
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,46E-04	1,52E-05
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	1,64E-05	1,65E-06
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	7,88E-07	7,16E-08
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	2,83E-08	2,17E-09
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	1,26E-09	7,59E-11
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	6,21E-11	2,76E-12
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	3,78E-12	1,16E-13
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	2,27E-13	4,44E-15
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	1,52E-14	1,79E-16
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	7,60E-16	5,01E-18
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	3,20E-17	1,10E-19
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	4,23E-19	7,14E-22
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	5,19E-22	3,99E-25
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.92 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y=0,775m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	2,12E-17	0,00E+00
-1,481	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	5,63E-16	0,00E+00
-1,285	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	1,11E-14	0,00E+00
-1,088	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	1,72E-13	0,00E+00
-0,892	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	2,79E-12	0,00E+00
-0,696	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	4,61E-11	0,00E+00
-0,499	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	9,04E-10	0,00E+00
-0,303	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	2,02E-08	2,65E-12
-0,107	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	5,51E-07	1,81E-10
0,090	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,23E-05	9,43E-09
0,286	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,43E-04	2,42E-07
0,483	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	2,06E-05	7,10E-08
0,679	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,97E-06	1,30E-08
0,875	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	2,09E-07	2,46E-09
1,072	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	8,47E-08	1,66E-09
1,268	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,76E-07	5,39E-09
1,464	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,50E-06	6,67E-08
1,661	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,65E-05	9,97E-07
1,857	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,46E-04	1,12E-05
2,053	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,64E-05	1,49E-06
2,250	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	7,88E-07	7,93E-08
2,446	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,83E-08	2,95E-09
2,642	0,196	0,131	0,393	0,101	1,26E-09	1,27E-10
2,839	0,393	0,393	0,655	0,091	6,21E-11	5,64E-12
3,035	0,589	0,655	0,916	0,077	3,78E-12	2,90E-13
3,231	0,785	0,916	1,178	0,060	2,27E-13	1,37E-14
3,428	0,982	1,178	1,440	0,044	1,52E-14	6,76E-16
3,624	1,178	1,440	1,702	0,031	7,60E-16	2,32E-17
3,821	1,374	1,702	1,964	0,020	3,20E-17	6,25E-19
4,017	1,571	1,963	2,225	0,012	4,23E-19	4,99E-21
4,213	1,767	2,225	2,487	0,007	5,19E-22	3,43E-24
4,410	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,999	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.93 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y=1,550m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	2,12E-17	0,00E+00
-1,481	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	5,63E-16	0,00E+00
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,11E-14	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	1,72E-13	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	2,79E-12	3,66E-16
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	4,61E-11	1,52E-14
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,04E-10	6,94E-13
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,02E-08	3,41E-11
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	5,51E-07	1,90E-09
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,23E-05	8,11E-08
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,43E-04	1,69E-06

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,06E-05	4,02E-07
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,97E-06	6,02E-08
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,09E-07	9,29E-09
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	8,47E-08	5,12E-09
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,76E-07	1,35E-08
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,50E-06	1,36E-07
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,65E-05	1,66E-06
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,46E-04	1,52E-05
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	1,64E-05	1,65E-06
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	7,88E-07	7,16E-08
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	2,83E-08	2,17E-09
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	1,26E-09	7,59E-11
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	6,21E-11	2,76E-12
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	3,78E-12	1,16E-13
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	2,27E-13	4,44E-15
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	1,52E-14	1,79E-16
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	7,60E-16	5,01E-18
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	3,20E-17	1,10E-19
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	4,23E-19	7,14E-22
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	5,19E-22	3,99E-25
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

F.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.94 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-1,70$	$x=-0,85$	$x=0,00$	$x=0,85$	$x=1,70$
-1,677	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,481	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,285	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,088	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,892	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,696	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,499	-2,356	12,69	0,00	16,30	0,00	18,01
-0,303	-2,160	52,08	5,68	58,01	9,05	56,90
-0,107	-1,964	142,08	26,44	151,78	29,62	141,24
0,090	-1,767	351,40	63,92	365,18	65,19	328,50
0,286	-1,571	533,66	94,18	532,09	95,21	492,27
0,483	-1,374	432,06	74,38	421,79	78,36	402,64
0,679	-1,178	195,22	34,99	190,55	40,69	193,07
0,875	-0,982	86,43	14,55	86,62	20,38	94,28
1,072	-0,785	56,59	8,08	57,97	13,86	66,57
1,268	-0,589	80,42	13,29	80,86	19,11	88,72
1,464	-0,393	177,80	31,95	173,94	37,69	177,46
1,661	-0,196	406,17	69,93	395,82	74,25	379,74
1,857	0,000	536,92	94,57	533,88	95,80	495,38
2,053	0,196	379,62	68,61	392,58	69,68	353,58
2,250	0,393	157,03	29,45	167,30	32,53	154,90
2,446	0,589	58,41	7,36	64,63	10,76	62,98
2,642	0,785	15,51	0,00	19,32	0,00	20,88
2,839	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89
3,035	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Y real	Y relativo	x=-1,70	x=-0,85	x=0,00	x=0,85	x=1,70
3,231	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,428	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,624	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,821	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,017	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,213	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,410	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,606	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,802	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,999	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,195	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,391	3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.95 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,23m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
-1,677	-3,534	0,000E+00	0,0000
-1,481	-3,338	0,000E+00	0,0000
-1,285	-3,142	0,000E+00	0,0000
-1,088	-2,945	0,000E+00	0,0000
-0,892	-2,749	0,000E+00	0,0000
-0,696	-2,553	0,000E+00	0,0000
-0,499	-2,356	9,949E-14	0,0000
-0,303	-2,160	2,635E-11	0,0000
-0,107	-1,964	1,944E-09	0,0000
0,090	-1,767	1,009E-07	0,0021
0,286	-1,571	6,060E-07	0,0128
0,483	-1,374	2,293E-07	0,0049
0,679	-1,178	6,969E-09	0,0001
0,875	-0,982	2,182E-10	0,0000
1,072	-0,785	3,898E-11	0,0000
1,268	-0,589	1,619E-10	0,0000
1,464	-0,393	4,655E-09	0,0001
1,661	-0,196	1,739E-07	0,0037
1,857	0,000	6,202E-07	0,0131
2,053	0,196	1,410E-07	0,0030
2,250	0,393	3,005E-09	0,0001
2,446	0,589	4,271E-11	0,0000
2,642	0,785	2,060E-13	0,0000
2,839	0,982	7,110E-20	0,0000
3,035	1,178	0,000E+00	0,0000
3,231	1,374	0,000E+00	0,0000
3,428	1,571	0,000E+00	0,0000
3,624	1,767	0,000E+00	0,0000
3,821	1,964	0,000E+00	0,0000
4,017	2,160	0,000E+00	0,0000
4,213	2,356	0,000E+00	0,0000
4,410	2,553	0,000E+00	0,0000
4,606	2,749	0,000E+00	0,0000
4,802	2,945	0,000E+00	0,0000
4,999	3,142	0,000E+00	0,0000
5,195	3,338	0,000E+00	0,0000
5,391	3,534	0,000E+00	0,0000

F.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.96 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando a variação transversal para $y=0,00m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,481	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,95E-14	7,64E-17
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,63E-11	4,44E-14
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,94E-09	6,71E-12
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,01E-07	6,66E-10
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	6,06E-07	7,14E-09
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,29E-07	4,48E-09
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	6,97E-09	2,13E-10
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,18E-10	9,70E-12
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	3,90E-11	2,36E-12
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,62E-10	1,24E-11
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,66E-09	4,23E-10
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,74E-07	1,75E-08
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	6,20E-07	6,46E-08
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	1,41E-07	1,42E-08
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	3,00E-09	2,73E-10
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	4,27E-11	3,28E-12
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	2,06E-13	1,25E-14
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	7,11E-20	3,16E-21
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.97 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y' = 0,775m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,481	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	9,95E-14	0,00E+00
-0,303	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	2,63E-11	3,46E-15
-0,107	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,94E-09	6,40E-13
0,090	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,01E-07	7,75E-11
0,286	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	6,06E-07	1,02E-09
0,483	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	2,29E-07	7,92E-10
0,679	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	6,97E-09	4,60E-11
0,875	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	2,18E-10	2,57E-12
1,072	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	3,90E-11	7,62E-13
1,268	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,62E-10	4,95E-12
1,464	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,66E-09	2,07E-10

Y_{real}	Y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
1,661	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,74E-07	1,05E-08
1,857	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	6,20E-07	4,76E-08
2,053	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,41E-07	1,28E-08
2,250	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	3,00E-09	3,03E-10
2,446	0,000	-0,131	0,131	0,104	4,27E-11	4,45E-12
2,642	0,196	0,131	0,393	0,101	2,06E-13	2,08E-14
2,839	0,393	0,393	0,655	0,091	7,11E-20	6,46E-21
3,035	0,589	0,655	0,916	0,077	0,00E+00	0,00E+00
3,231	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
3,428	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
4,017	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
4,213	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
4,410	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,999	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.98 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma considerando variação transversal, $y=1,550m$.

Y_{real}	Y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,481	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,285	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,088	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,696	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,499	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,95E-14	7,64E-17
-0,303	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,63E-11	4,44E-14
-0,107	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,94E-09	6,71E-12
0,090	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,01E-07	6,66E-10
0,286	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	6,06E-07	7,14E-09
0,483	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,29E-07	4,48E-09
0,679	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	6,97E-09	2,13E-10
0,875	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,18E-10	9,70E-12
1,072	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	3,90E-11	2,36E-12
1,268	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,62E-10	1,24E-11
1,464	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,66E-09	4,23E-10
1,661	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,74E-07	1,75E-08
1,857	0,000	-0,131	0,131	0,104	6,20E-07	6,46E-08
2,053	0,196	0,131	0,393	0,101	1,41E-07	1,42E-08
2,250	0,393	0,393	0,655	0,091	3,00E-09	2,73E-10
2,446	0,589	0,654	0,916	0,077	4,27E-11	3,28E-12
2,642	0,785	0,916	1,178	0,060	2,06E-13	1,25E-14
2,839	0,982	1,178	1,440	0,044	7,11E-20	3,16E-21
3,035	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,231	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
3,428	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,624	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,821	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,017	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,213	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,410	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,606	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,802	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
4,999	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,195	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
5,391	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

G - CÁLCULO DA ESTRUTURA 05 PARA O ANTONOV AN-124

G.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.99 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-3,42m$ no eixo y .

y_{real}	$y_{relativo}$	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t_{max}}$
-0,032	-3,534	0,05	-13,68	0,40	0,06
0,165	-3,338	0,56	-15,48	0,92	0,61
0,361	-3,142	1,20	-17,60	1,55	1,33
0,557	-2,945	2,10	-20,10	2,23	2,32
0,754	-2,749	3,32	-23,06	3,03	3,66
0,950	-2,553	5,12	-26,52	3,83	5,57
1,146	-2,356	7,75	-30,45	4,69	8,31
1,343	-2,160	11,87	-34,66	5,38	12,48
1,539	-1,964	18,31	-38,56	5,88	18,91
1,735	-1,767	28,92	-40,50	5,68	29,38
1,932	-1,571	46,36	-36,06	4,57	46,61
2,128	-1,374	76,12	-11,26	1,07	76,13
2,324	-1,178	117,18	75,95	-0,62	117,19
2,521	-0,982	139,93	133,69	4,33	142,15
2,717	-0,785	127,33	58,05	7,77	128,19
2,913	-0,589	105,28	-16,34	3,58	105,39
3,110	-0,393	106,29	-14,20	-4,05	106,42
3,306	-0,196	128,92	65,73	-7,77	129,86
3,503	0,000	139,58	134,14	-3,90	141,62
3,699	0,196	114,57	68,38	0,74	114,58
3,895	0,393	73,59	-14,27	-1,35	73,61
4,092	0,589	44,89	-36,73	-4,70	45,16
4,288	0,785	28,01	-40,49	-5,71	28,48
4,484	0,982	17,78	-38,33	-5,86	18,39
4,681	1,178	11,52	-34,37	-5,33	12,13
4,877	1,374	7,54	-30,17	-4,63	8,10
5,073	1,571	4,97	-26,27	-3,77	5,42
5,270	1,767	3,22	-22,85	-2,97	3,56
5,466	1,964	2,03	-19,92	-2,17	2,24
5,662	2,160	1,15	-17,44	-1,50	1,27
5,859	2,356	0,52	-15,35	-0,87	0,57
6,055	2,553	0,02	-13,57	-0,36	0,03
6,251	2,749	-0,35	-12,06	0,10	0,00
6,448	2,945	-0,66	-10,75	0,47	0,00
6,644	3,142	-0,91	-9,62	0,80	0,00
6,840	3,338	-1,12	-8,63	1,06	0,00
7,037	3,534	-1,28	-7,76	1,29	0,00

Tabela H.100 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-2,56m$ no eixo y .

y_{real}	$y_{relativo}$	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t_{max}}$
-0,032	-3,534	-0,61	-14,92	-1,15	0,00
0,165	-3,338	-0,27	-16,82	-0,93	0,00
0,361	-3,142	0,09	-18,99	-0,70	0,12
0,557	-2,945	0,45	-21,41	-0,44	0,46
0,754	-2,749	0,74	-24,02	-0,18	0,74
0,950	-2,553	0,82	-26,64	0,08	0,82
1,146	-2,356	0,45	-28,88	0,33	0,45

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
1,343	-2,160	-0,84	-29,97	0,51	0,00
1,539	-1,964	-3,79	-28,65	0,57	0,00
1,735	-1,767	-9,45	-23,01	0,39	0,00
1,932	-1,571	-18,81	-10,76	-0,15	0,00
2,128	-1,374	-31,65	10,30	-0,94	10,33
2,324	-1,178	-44,73	42,13	-1,03	42,14
2,521	-0,982	-52,28	61,41	0,62	61,42
2,717	-0,785	-52,01	47,33	1,84	47,36
2,913	-0,589	-48,94	29,90	0,84	29,91
3,110	-0,393	-49,09	30,50	-0,94	30,52
3,306	-0,196	-52,20	48,92	-1,82	48,95
3,503	0,000	-52,04	61,22	-0,48	61,22
3,699	0,196	-43,96	39,87	1,08	39,89
3,895	0,393	-30,71	8,55	0,89	8,57
4,092	0,589	-18,05	-11,84	0,11	0,00
4,288	0,785	-8,96	-23,58	-0,40	0,00
4,484	0,982	-3,52	-28,85	-0,57	0,00
4,681	1,178	-0,71	-29,95	-0,50	0,00
4,877	1,374	0,50	-28,75	-0,30	0,50
5,073	1,571	0,83	-26,47	-0,06	0,83
5,270	1,767	0,72	-23,84	0,20	0,73
5,466	1,964	0,43	-21,24	0,47	0,44
5,662	2,160	0,07	-18,83	0,72	0,09
5,859	2,356	-0,29	-16,69	0,95	0,00
6,055	2,553	-0,63	-14,80	1,17	0,00
6,251	2,749	-0,93	-13,15	1,36	0,00
6,448	2,945	-1,19	-11,70	1,53	0,00
6,644	3,142	-1,41	-10,44	1,68	0,00
6,840	3,338	-1,60	-9,33	1,80	0,00
7,037	3,534	-1,76	-8,34	1,91	0,00

Tabela H.101 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-1,70m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,032	-3,534	-1,61	-15,41	-2,22	0,00
0,165	-3,338	-1,34	-17,42	-2,14	0,00
0,361	-3,142	-1,03	-19,76	-2,08	0,00
0,557	-2,945	-0,60	-22,48	-1,94	0,00
0,754	-2,749	-0,02	-25,64	-1,79	0,11
0,950	-2,553	0,88	-29,28	-1,49	0,96
1,146	-2,356	2,33	-33,36	-1,05	2,36
1,343	-2,160	4,83	-37,66	-0,15	4,83
1,539	-1,964	9,20	-41,53	1,33	9,24
1,735	-1,767	17,09	-43,12	4,21	17,38
1,932	-1,571	31,11	-37,55	8,91	32,25
2,128	-1,374	55,84	-9,93	16,80	59,88
2,324	-1,178	90,79	82,15	17,96	104,94
2,521	-0,982	110,31	143,01	0,45	143,02
2,717	-0,785	97,63	64,07	-13,61	102,46
2,913	-0,589	77,91	-13,88	-6,89	78,42
3,110	-0,393	78,77	-11,60	7,80	79,43
3,306	-0,196	99,13	72,07	13,35	104,60
3,503	0,000	110,07	143,46	-1,90	143,57
3,699	0,196	88,52	74,23	-18,49	101,20
3,895	0,393	53,73	-13,20	-16,25	57,46
4,092	0,589	29,90	-38,34	-8,49	30,94
4,288	0,785	16,39	-43,15	-3,96	16,66
4,484	0,982	8,83	-41,30	-1,19	8,86

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
4,681	1,178	4,61	-37,37	0,23	4,61
4,877	1,374	2,21	-33,07	1,10	2,24
5,073	1,571	0,81	-29,01	1,52	0,88
5,270	1,767	-0,06	-25,41	1,81	0,07
5,466	1,964	-0,63	-22,28	1,96	0,00
5,662	2,160	-1,05	-19,59	2,09	0,00
5,859	2,356	-1,36	-17,28	2,16	0,00
6,055	2,553	-1,62	-15,28	2,23	0,00
6,251	2,749	-1,83	-13,56	2,28	0,00
6,448	2,945	-2,01	-12,05	2,33	0,00
6,644	3,142	-2,17	-10,73	2,35	0,00
6,840	3,338	-2,30	-9,57	2,39	0,00
7,037	3,534	-2,41	-8,53	2,39	0,00

Tabela H.102 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-0,85m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,032	-3,534	-2,85	-15,33	-2,89	0,00
0,165	-3,338	-2,79	-17,30	-2,91	0,00
0,361	-3,142	-2,75	-19,53	-2,90	0,00
0,557	-2,945	-2,79	-22,03	-2,87	0,00
0,754	-2,749	-2,96	-24,76	-2,79	0,00
0,950	-2,553	-3,40	-27,55	-2,65	0,00
1,146	-2,356	-4,38	-30,07	-2,41	0,00
1,343	-2,160	-6,33	-31,60	-2,03	0,00
1,539	-1,964	-9,97	-30,88	-1,46	0,00
1,735	-1,767	-16,32	-25,94	-0,76	0,00
1,932	-1,571	-26,33	-14,07	-0,10	0,00
2,128	-1,374	-39,76	8,06	-0,04	8,06
2,324	-1,178	-53,41	44,96	-0,23	44,96
2,521	-0,982	-61,45	67,87	-0,12	67,87
2,717	-0,785	-61,47	48,01	0,06	48,01
2,913	-0,589	-58,54	25,44	0,10	25,44
3,110	-0,393	-58,68	26,21	-0,10	26,21
3,306	-0,196	-61,65	50,13	-0,04	50,13
3,503	0,000	-61,18	67,74	0,14	67,74
3,699	0,196	-52,60	42,24	0,23	42,24
3,895	0,393	-38,79	6,14	0,03	6,14
4,092	0,589	-25,53	-15,15	0,13	0,00
4,288	0,785	-15,79	-26,46	0,82	0,00
4,484	0,982	-9,65	-31,04	1,51	0,00
4,681	1,178	-6,15	-31,55	2,07	0,00
4,877	1,374	-4,29	-29,92	2,44	0,00
5,073	1,571	-3,36	-27,37	2,67	0,00
5,270	1,767	-2,94	-24,57	2,80	0,00
5,466	1,964	-2,78	-21,86	2,88	0,00
5,662	2,160	-2,76	-19,37	2,90	0,00
5,859	2,356	-2,79	-17,16	2,91	0,00
6,055	2,553	-2,86	-15,21	2,90	0,00
6,251	2,749	-2,93	-13,50	2,88	0,00
6,448	2,945	-3,00	-11,99	2,85	0,00
6,644	3,142	-3,07	-10,65	2,81	0,00
6,840	3,338	-3,13	-9,47	2,77	0,00

Tabela H.103 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=0,00m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,032	-3,534	-3,65	-15,23	-3,12	0,00
0,165	-3,338	-3,56	-17,29	-3,16	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,361	-3,142	-3,44	-19,71	-3,18	0,00
0,557	-2,945	-3,22	-22,54	-3,18	0,00
0,754	-2,749	-2,87	-25,87	-3,15	0,00
0,950	-2,553	-2,19	-29,77	-3,04	0,00
1,146	-2,356	-0,99	-34,26	-2,83	0,00
1,343	-2,160	1,34	-39,19	-2,41	1,49
1,539	-1,964	5,61	-43,96	-1,68	5,67
1,735	-1,767	13,72	-46,77	-0,29	13,72
1,932	-1,571	28,47	-42,49	2,02	28,53
2,128	-1,374	55,77	-14,86	5,59	56,21
2,324	-1,178	94,91	85,09	6,39	98,06
2,521	-0,982	115,85	150,99	-0,82	151,00
2,717	-0,785	101,63	63,52	-6,50	102,71
2,913	-0,589	78,39	-22,61	-3,09	78,49
3,110	-0,393	79,45	-20,14	3,51	79,57
3,306	-0,196	103,32	72,41	6,42	104,60
3,503	0,000	115,62	151,53	0,21	151,53
3,699	0,196	92,42	76,40	-6,59	94,78
3,895	0,393	53,39	-18,27	-5,33	53,78
4,092	0,589	27,18	-43,20	-1,81	27,23
4,288	0,785	12,99	-46,71	0,41	12,99
4,484	0,982	5,24	-43,66	1,75	5,30
4,681	1,178	1,13	-38,84	2,46	1,28
4,877	1,374	-1,10	-33,93	2,86	0,00
5,073	1,571	-2,26	-29,48	3,05	0,00
5,270	1,767	-2,90	-25,62	3,16	0,00
5,466	1,964	-3,24	-22,33	3,19	0,00
5,662	2,160	-3,45	-19,53	3,19	0,00
5,859	2,356	-3,57	-17,14	3,16	0,00
6,055	2,553	-3,66	-15,09	3,12	0,00
6,251	2,749	-3,70	-13,32	3,07	0,00
6,448	2,945	-3,75	-11,78	3,01	0,00
6,644	3,142	-3,78	-10,42	2,94	0,00
6,840	3,338	-3,80	-9,23	2,87	0,00
7,037	3,534	-3,81	-8,17	2,79	0,00

Tabela H.104 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=0,85m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,032	-3,534	-4,20	-14,88	-3,26	0,00
0,165	-3,338	-4,18	-16,92	-3,34	0,00
0,361	-3,142	-4,20	-19,25	-3,42	0,00
0,557	-2,945	-4,28	-21,89	-3,50	0,00
0,754	-2,749	-4,50	-24,82	-3,60	0,00
0,950	-2,553	-4,99	-27,90	-3,76	0,00
1,146	-2,356	-6,03	-30,84	-4,05	0,00
1,343	-2,160	-8,07	-32,98	-4,59	0,00
1,539	-1,964	-11,84	-33,13	-5,60	0,00
1,735	-1,767	-18,39	-29,28	-7,22	0,00
1,932	-1,571	-28,69	-18,42	-9,40	0,00
2,128	-1,374	-42,47	4,13	-10,96	6,58
2,324	-1,178	-56,42	46,12	-9,51	46,99
2,521	-0,982	-64,63	72,69	-3,11	72,76
2,717	-0,785	-64,73	46,45	2,16	46,49
2,913	-0,589	-61,81	18,22	1,37	18,24
3,110	-0,393	-61,95	19,16	-1,53	19,19
3,306	-0,196	-64,91	49,15	-2,00	49,18
3,503	0,000	-64,35	72,64	3,62	72,74

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,699	0,196	-55,60	42,91	9,77	43,87
3,895	0,393	-41,48	2,08	10,91	4,66
4,092	0,589	-27,87	-19,45	9,26	0,00
4,288	0,785	-17,84	-29,72	7,10	0,00
4,484	0,982	-11,51	-33,22	5,53	0,00
4,681	1,178	-7,88	-32,88	4,55	0,00
4,877	1,374	-5,94	-30,65	4,04	0,00
5,073	1,571	-4,95	-27,69	3,75	0,00
5,270	1,767	-4,47	-24,61	3,60	0,00
5,466	1,964	-4,27	-21,71	3,50	0,00
5,662	2,160	-4,19	-19,09	3,42	0,00
5,859	2,356	-4,18	-16,78	3,34	0,00
6,055	2,553	-4,20	-14,75	3,26	0,00
6,251	2,749	-4,22	-12,99	3,17	0,00
6,448	2,945	-4,24	-11,44	3,08	0,00
6,644	3,142	-4,25	-10,07	2,98	0,00
6,840	3,338	-4,26	-8,87	2,88	0,00
7,037	3,534	-4,26	-7,81	2,77	0,00

Tabela H.105 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=1,71m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,032	-3,534	-4,28	-14,37	-3,54	0,00
0,165	-3,338	-4,12	-16,54	-3,71	0,00
0,361	-3,142	-3,92	-19,09	-3,84	0,00
0,557	-2,945	-3,59	-22,10	-3,99	0,00
0,754	-2,749	-3,11	-25,68	-4,09	0,00
0,950	-2,553	-2,28	-29,92	-4,20	0,00
1,146	-2,356	-0,90	-34,87	-4,25	0,00
1,343	-2,160	1,62	-40,42	-4,34	2,06
1,539	-1,964	6,12	-46,01	-4,37	6,48
1,735	-1,767	14,44	-49,83	-4,53	14,75
1,932	-1,571	29,48	-46,55	-4,74	29,77
2,128	-1,374	56,85	-19,01	-5,82	57,29
2,324	-1,178	96,21	84,09	-5,53	98,35
2,521	-0,982	117,81	152,52	-1,91	152,63
2,717	-0,785	103,12	60,36	1,20	103,15
2,913	-0,589	80,06	-29,63	0,99	80,07
3,110	-0,393	81,08	-27,04	-1,10	81,09
3,306	-0,196	104,84	69,66	-1,08	104,87
3,503	0,000	117,57	153,13	2,20	153,27
3,699	0,196	93,67	75,09	5,68	95,27
3,895	0,393	54,47	-22,48	5,74	54,90
4,092	0,589	28,17	-47,21	4,71	28,46
4,288	0,785	13,70	-49,70	4,52	14,02
4,484	0,982	5,73	-45,65	4,37	6,10
4,681	1,178	1,39	-40,03	4,35	1,85
4,877	1,374	-1,02	-34,52	4,25	0,00
5,073	1,571	-2,36	-29,61	4,20	0,00
5,270	1,767	-3,15	-25,42	4,08	0,00
5,466	1,964	-3,62	-21,88	3,98	0,00
5,662	2,160	-3,93	-18,90	3,84	0,00
5,859	2,356	-4,13	-16,38	3,70	0,00
6,055	2,553	-4,28	-14,24	3,54	0,00
6,251	2,749	-4,38	-12,40	3,38	0,00
6,448	2,945	-4,45	-10,82	3,21	0,00
6,644	3,142	-4,49	-9,44	3,05	0,00
6,840	3,338	-4,52	-8,24	2,88	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
7,037	3,534	-4,52	-7,19	2,73	0,00

Tabela H.106 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=2,56m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,032	-3,534	-4,40	-13,41	-4,04	0,00
0,165	-3,338	-4,25	-15,51	-4,35	0,00
0,361	-3,142	-4,07	-17,96	-4,67	0,00
0,557	-2,945	-3,90	-20,79	-4,99	0,00
0,754	-2,749	-3,80	-23,99	-5,30	0,00
0,950	-2,553	-3,90	-27,46	-5,60	0,00
1,146	-2,356	-4,47	-30,90	-5,92	0,00
1,343	-2,160	-5,94	-33,70	-6,28	0,00
1,539	-1,964	-9,07	-34,66	-6,78	0,00
1,735	-1,767	-14,89	-31,79	-7,50	0,00
1,932	-1,571	-24,39	-22,00	-8,47	0,00
2,128	-1,374	-37,34	-0,29	-9,16	1,85
2,324	-1,178	-50,56	42,75	-7,97	43,42
2,521	-0,982	-58,22	69,87	-3,47	69,96
2,717	-0,785	-57,98	41,41	0,45	41,41
2,913	-0,589	-54,92	11,18	0,58	11,18
3,110	-0,393	-55,07	12,17	-0,65	12,17
3,306	-0,196	-58,17	44,33	-0,30	44,33
3,503	0,000	-57,97	69,87	3,82	69,99
3,699	0,196	-49,78	39,42	8,17	40,16
3,895	0,393	-36,40	-2,31	9,15	0,00
4,092	0,589	-23,62	-22,96	8,41	0,00
4,288	0,785	-14,39	-32,16	7,45	0,00
4,484	0,982	-8,78	-34,69	6,75	0,00
4,681	1,178	-5,80	-33,55	6,26	0,00
4,877	1,374	-4,41	-30,68	5,91	0,00
5,073	1,571	-3,89	-27,22	5,59	0,00
5,270	1,767	-3,80	-23,76	5,29	0,00
5,466	1,964	-3,91	-20,59	4,97	0,00
5,662	2,160	-4,08	-17,78	4,65	0,00
5,859	2,356	-4,26	-15,36	4,34	0,00
6,055	2,553	-4,41	-13,27	4,03	0,00
6,251	2,749	-4,53	-11,49	3,73	0,00
6,448	2,945	-4,61	-9,95	3,44	0,00
6,644	3,142	-4,67	-8,62	3,18	0,00
6,840	3,338	-4,70	-7,47	2,93	0,00
7,037	3,534	-4,71	-6,47	2,70	0,00

Tabela H.107 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=3,42m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-0,032	-3,534	-4,78	-11,77	-4,71	0,00
0,165	-3,338	-4,54	-13,80	-5,28	0,00
0,361	-3,142	-4,19	-16,26	-5,94	0,00
0,557	-2,945	-3,58	-19,28	-6,61	0,00
0,754	-2,749	-2,68	-23,00	-7,33	0,00
0,950	-2,553	-1,20	-27,55	-7,90	0,99
1,146	-2,356	1,08	-33,04	-8,31	3,00
1,343	-2,160	4,84	-39,40	-8,10	6,28
1,539	-1,964	10,91	-46,06	-7,03	11,77
1,735	-1,767	21,16	-51,07	-4,00	21,38
1,932	-1,571	38,34	-48,84	1,65	38,38

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,128	-1,374	68,26	-22,24	11,64	69,73
2,324	-1,178	110,00	75,16	14,34	115,14
2,521	-0,982	132,93	140,04	-4,73	142,40
2,717	-0,785	119,64	50,43	-19,39	124,70
2,913	-0,589	96,65	-36,20	-9,19	97,28
3,110	-0,393	97,69	-33,62	10,41	98,51
3,306	-0,196	121,30	59,30	19,22	126,77
3,503	0,000	132,59	140,71	3,12	141,78
3,699	0,196	107,35	66,68	-14,86	112,20
3,895	0,393	65,69	-25,60	-10,92	66,98
4,092	0,589	36,89	-49,44	-1,13	36,90
4,288	0,785	20,28	-50,86	4,28	20,54
4,484	0,982	10,41	-45,62	7,16	11,31
4,681	1,178	4,52	-38,95	8,15	6,00
4,877	1,374	0,90	-32,64	8,31	2,84
5,073	1,571	-1,33	-27,21	7,87	0,88
5,270	1,767	-2,75	-22,72	7,29	0,00
5,466	1,964	-3,63	-19,06	6,57	0,00
5,662	2,160	-4,21	-16,08	5,91	0,00
5,859	2,356	-4,56	-13,65	5,24	0,00
6,055	2,553	-4,79	-11,64	4,68	0,00
6,251	2,749	-4,91	-9,97	4,14	0,00
6,448	2,945	-4,98	-8,57	3,69	0,00
6,644	3,142	-4,99	-7,37	3,28	0,00
6,840	3,338	-4,99	-6,35	2,93	0,00
7,037	3,534	-4,94	-5,47	2,61	0,00

Tabela H.108 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,23m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
-0,032	-3,534	3,179E-28	0,000
0,165	-3,338	1,079E-21	0,000
0,361	-3,142	1,705E-19	0,000
0,557	-2,945	6,734E-18	0,000
0,754	-2,749	1,332E-16	0,000
0,950	-2,553	2,116E-15	0,000
1,146	-2,356	2,930E-14	0,000
1,343	-2,160	4,274E-13	0,000
1,539	-1,964	6,830E-12	0,000
1,735	-1,767	1,372E-10	0,000
1,932	-1,571	3,543E-09	0,000
2,128	-1,374	1,255E-07	0,001
2,324	-1,178	3,104E-06	0,033
2,521	-0,982	2,249E-05	0,238
2,717	-0,785	4,732E-06	0,050
2,913	-0,589	1,054E-06	0,011
3,110	-0,393	1,136E-06	0,012
3,306	-0,196	5,242E-06	0,055
3,503	0,000	2,269E-05	0,240
3,699	0,196	2,586E-06	0,027
3,895	0,393	9,804E-08	0,001
4,092	0,589	2,825E-09	0,000
4,288	0,785	1,108E-10	0,000
4,484	0,982	5,648E-12	0,000
4,681	1,178	3,543E-13	0,000
4,877	1,374	2,461E-14	0,000
5,073	1,571	1,754E-15	0,000
5,270	1,767	1,103E-16	0,000

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
5,466	1,964	5,337E-18	0,000
5,662	2,160	1,295E-19	0,000
5,859	2,356	6,571E-22	0,000
6,055	2,553	4,877E-30	0,000
6,251	2,749	0,000E+00	0,000
6,448	2,945	0,000E+00	0,000
6,644	3,142	0,000E+00	0,000
6,840	3,338	0,000E+00	0,000
7,037	3,534	0,000E+00	0,000

G.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.109 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base considerando variação transversal, $y^i=0,00m$.

Y real	Y bal	y ₁	y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
-0,032	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	3,18E-28	0,00E+00
0,165	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,08E-21	0,00E+00
0,361	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,70E-19	0,00E+00
0,557	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	6,73E-18	0,00E+00
0,754	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	1,33E-16	1,75E-20
0,950	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	2,12E-15	6,97E-19
1,146	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	2,93E-14	2,25E-17
1,343	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	4,27E-13	7,21E-16
1,539	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	6,83E-12	2,36E-14
1,735	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,37E-10	9,06E-13
1,932	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	3,54E-09	4,17E-11
2,128	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,25E-07	2,45E-09
2,324	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,10E-06	9,48E-08
2,521	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,25E-05	1,00E-06
2,717	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	4,73E-06	2,86E-07
2,913	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,05E-06	8,09E-08
3,110	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,14E-06	1,03E-07
3,306	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	5,24E-06	5,28E-07
3,503	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,27E-05	2,36E-06
3,699	0,196	0,131	0,393	0,101	2,59E-06	2,61E-07
3,895	0,393	0,393	0,655	0,091	9,80E-08	8,91E-09
4,092	0,589	0,654	0,916	0,077	2,82E-09	2,17E-10
4,288	0,785	0,916	1,178	0,060	1,11E-10	6,70E-12
4,484	0,982	1,178	1,440	0,044	5,65E-12	2,51E-13
4,681	1,178	1,440	1,702	0,031	3,54E-13	1,08E-14
4,877	1,374	1,702	1,964	0,020	2,46E-14	4,81E-16
5,073	1,571	1,963	2,225	0,012	1,75E-15	2,07E-17
5,270	1,767	2,225	2,487	0,007	1,10E-16	7,28E-19
5,466	1,964	2,487	2,749	0,003	5,34E-18	1,84E-20
5,662	2,160	2,749	3,011	0,002	1,30E-19	2,19E-22
5,859	2,356	3,011	3,272	0,001	6,57E-22	5,05E-25
6,055	2,553	3,272	3,534	0,000	4,88E-30	1,61E-33
6,251	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,448	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,644	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,840	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,037	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.110 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal, $y^i=0,497m$.

Y real	Y bal	y ₁	y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
-0,032	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	3,18E-28	0,00E+00
0,165	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	1,08E-21	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,361	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	1,70E-19	0,00E+00
0,557	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	6,73E-18	0,00E+00
0,754	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,33E-16	0,00E+00
0,950	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	2,12E-15	0,00E+00
1,146	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	2,93E-14	0,00E+00
1,343	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	4,27E-13	5,60E-17
1,539	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	6,83E-12	2,25E-15
1,735	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	1,37E-10	1,05E-13
1,932	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	3,54E-09	5,98E-12
2,128	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	1,25E-07	4,33E-10
2,324	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	3,10E-06	2,05E-08
2,521	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	2,25E-05	2,65E-07
2,717	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	4,73E-06	9,25E-08
2,913	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,05E-06	3,22E-08
3,110	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,14E-06	5,05E-08
3,306	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	5,24E-06	3,17E-07
3,503	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,27E-05	1,74E-06
3,699	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,59E-06	2,35E-07
3,895	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	9,80E-08	9,87E-09
4,092	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,82E-09	2,94E-10
4,288	0,196	0,131	0,393	0,101	1,11E-10	1,12E-11
4,484	0,393	0,393	0,655	0,091	5,65E-12	5,14E-13
4,681	0,589	0,655	0,916	0,077	3,54E-13	2,72E-14
4,877	0,785	0,916	1,178	0,060	2,46E-14	1,49E-15
5,073	0,982	1,178	1,440	0,044	1,75E-15	7,80E-17
5,270	1,178	1,440	1,702	0,031	1,10E-16	3,37E-18
5,466	1,374	1,702	1,964	0,020	5,34E-18	1,04E-19
5,662	1,571	1,963	2,225	0,012	1,30E-19	1,53E-21
5,859	1,767	2,225	2,487	0,007	6,57E-22	4,34E-24
6,055	1,963	2,487	2,749	0,003	4,88E-30	1,68E-32
6,251	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,448	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
6,644	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,840	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,037	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.111 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal para $y'=0,995m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-0,032	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	3,18E-28	0,00E+00
0,165	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,08E-21	0,00E+00
0,361	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,70E-19	0,00E+00
0,557	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	6,73E-18	0,00E+00
0,754	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	1,33E-16	1,75E-20
0,950	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	2,12E-15	6,97E-19
1,146	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	2,93E-14	2,25E-17
1,343	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	4,27E-13	7,21E-16
1,539	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	6,83E-12	2,36E-14
1,735	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,37E-10	9,06E-13
1,932	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	3,54E-09	4,17E-11
2,128	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,25E-07	2,45E-09
2,324	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,10E-06	9,48E-08
2,521	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,25E-05	1,00E-06
2,717	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	4,73E-06	2,86E-07
2,913	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,05E-06	8,09E-08
3,110	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,14E-06	1,03E-07
3,306	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	5,24E-06	5,28E-07
3,503	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,27E-05	2,36E-06

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
3,699	0,196	0,131	0,393	0,101	2,59E-06	2,61E-07
3,895	0,393	0,393	0,655	0,091	9,80E-08	8,91E-09
4,092	0,589	0,654	0,916	0,077	2,82E-09	2,17E-10
4,288	0,785	0,916	1,178	0,060	1,11E-10	6,70E-12
4,484	0,982	1,178	1,440	0,044	5,65E-12	2,51E-13
4,681	1,178	1,440	1,702	0,031	3,54E-13	1,08E-14
4,877	1,374	1,702	1,964	0,020	2,46E-14	4,81E-16
5,073	1,571	1,963	2,225	0,012	1,75E-15	2,07E-17
5,270	1,767	2,225	2,487	0,007	1,10E-16	7,28E-19
5,466	1,964	2,487	2,749	0,003	5,34E-18	1,84E-20
5,662	2,160	2,749	3,011	0,002	1,30E-19	2,19E-22
5,859	2,356	3,011	3,272	0,001	6,57E-22	5,05E-25
6,055	2,553	3,272	3,534	0,000	4,88E-30	1,61E-33
6,251	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,448	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,644	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,840	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,037	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

G.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.112 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-3,42$	$x=-2,56$	$x=-1,71$	$x=-0,85$	$x=0,0$
-0,032	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,165	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,361	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,557	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,754	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,950	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,146	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,343	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,539	-1,964	5,43	0,00	0,00	0,00	0,00
1,735	-1,767	22,45	0,00	12,54	0,00	7,51
1,932	-1,571	57,50	10,17	46,24	2,32	41,21
2,128	-1,374	133,40	28,03	121,80	21,72	120,56
2,324	-1,178	295,86	57,72	285,28	58,85	299,49
2,521	-0,982	395,11	77,43	387,47	83,42	409,16
2,717	-0,785	295,64	63,45	282,12	61,30	292,50
2,913	-0,589	180,47	47,17	164,58	37,33	160,59
3,110	-0,393	184,20	47,72	168,40	38,12	164,84
3,306	-0,196	306,53	65,00	293,35	63,61	305,05
3,503	0,000	394,88	77,21	387,35	83,30	409,13
3,699	0,196	283,36	55,50	272,55	55,97	285,57
3,895	0,393	126,06	26,50	114,45	19,94	112,68
4,092	0,589	54,25	9,27	43,06	1,42	37,96
4,288	0,785	20,89	0,00	11,09	0,00	6,10
4,484	0,982	4,67	0,00	0,00	0,00	0,00
4,681	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,877	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,073	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,270	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,466	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,662	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,859	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,055	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,251	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

y _{real}	y _{relativo}	x=-3,42	x=-2,56	x=-1,71	x=-0,85	x=0,0
6,448	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,644	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,840	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,037	3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.113 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y _{real}	y _{relativo}	x=0,0	x=0,85	x=1,71	x=2,56	x=3,42
-0,032	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,165	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,361	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,557	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,754	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,950	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,146	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,343	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,539	-1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,735	-1,767	7,51	0,00	5,12	0,00	5,35
1,932	-1,571	41,21	0,00	38,22	0,00	37,89
2,128	-1,374	120,56	17,02	118,09	16,69	118,10
2,324	-1,178	299,49	57,32	301,33	61,28	304,83
2,521	-0,982	409,16	84,13	415,31	91,06	419,86
2,717	-0,785	292,50	57,70	292,20	60,02	294,11
2,913	-0,589	160,59	29,91	155,87	27,95	153,82
3,110	-0,393	164,84	30,81	160,25	28,98	158,33
3,306	-0,196	305,05	60,41	305,27	63,16	307,51
3,503	0,000	409,13	84,07	415,35	91,05	419,94
3,699	0,196	285,57	54,14	286,93	57,71	290,18
3,895	0,393	112,68	15,17	110,10	14,72	110,01
4,092	0,589	37,96	0,00	34,99	0,00	34,69
4,288	0,785	6,10	0,00	3,76	0,00	4,04
4,484	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,681	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,877	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,073	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,270	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,466	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,662	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,859	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,055	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,251	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,448	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,644	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,840	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,037	3,534	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.114 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,23m$ no eixo y.

y _{real}	y _{relativo}	ΔD individual	ΔD acumulado
-0,032	-3,534	0,000E+00	0,0000
0,165	-3,338	0,000E+00	0,0000
0,361	-3,142	0,000E+00	0,0000
0,557	-2,945	0,000E+00	0,0000
0,754	-2,749	0,000E+00	0,0000
0,950	-2,553	0,000E+00	0,0000
1,146	-2,356	0,000E+00	0,0000
1,343	-2,160	0,000E+00	0,0000
1,539	-1,964	2,442E-16	0,0000

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
1,735	-1,767	1,572E-13	0,0000
1,932	-1,571	1,910E-11	0,0000
2,128	-1,374	1,523E-09	0,0000
2,324	-1,178	8,160E-08	0,0009
2,521	-0,982	3,301E-07	0,0035
2,717	-0,785	7,424E-08	0,0008
2,913	-0,589	5,591E-09	0,0001
3,110	-0,393	6,241E-09	0,0001
3,306	-0,196	8,935E-08	0,0009
3,503	0,000	3,299E-07	0,0035
3,699	0,196	6,602E-08	0,0007
3,895	0,393	1,141E-09	0,0000
4,092	0,589	1,405E-11	0,0000
4,288	0,785	1,116E-13	0,0000
4,484	0,982	1,239E-16	0,0000
4,681	1,178	0,000E+00	0,0000
4,877	1,374	0,000E+00	0,0000
5,073	1,571	0,000E+00	0,0000
5,270	1,767	0,000E+00	0,0000
5,466	1,964	0,000E+00	0,0000
5,662	2,160	0,000E+00	0,0000
5,859	2,356	0,000E+00	0,0000
6,055	2,553	0,000E+00	0,0000
6,251	2,749	0,000E+00	0,0000
6,448	2,945	0,000E+00	0,0000
6,644	3,142	0,000E+00	0,0000
6,840	3,338	0,000E+00	0,0000
7,037	3,534	0,000E+00	0,0000

G.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.115 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y'=0,00m$.

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
-1,677	-3,534	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00
-1,481	-3,338	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00
-1,285	-3,142	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00
-1,088	-2,945	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00
-0,892	-2,749	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00
-0,696	-2,553	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00
-0,499	-2,356	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00
-0,303	-2,160	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00
-0,107	-1,964	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	2,44E-16
0,090	-1,767	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,57E-13
0,286	-1,571	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,91E-11
0,483	-1,374	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,52E-09
0,679	-1,178	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	8,16E-08
0,875	-0,982	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,30E-07
1,072	-0,785	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	7,42E-08
1,268	-0,589	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	5,59E-09
1,464	-0,393	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	6,24E-09
1,661	-0,196	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	8,93E-08
1,857	0,000	0,000	-0,131	0,131	0,104	3,30E-07
2,053	0,196	0,196	0,131	0,393	0,101	6,60E-08
2,250	0,393	0,393	0,393	0,655	0,091	1,14E-09
2,446	0,589	0,589	0,654	0,916	0,077	1,41E-11
2,642	0,785	0,785	0,916	1,178	0,060	1,12E-13

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,839	0,982	0,982	1,178	1,440	0,044	1,24E-16
3,035	1,178	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00
3,231	1,374	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00
3,428	1,571	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00
3,624	1,767	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00
3,821	1,964	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00
4,017	2,160	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00
4,213	2,356	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00
4,410	2,553	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00
4,606	2,749	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00
4,802	2,945	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00
4,999	3,142	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00
5,195	3,338	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00
5,391	3,534	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00

Tabela H.116 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y=0,497m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,677	-3,534	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	0,00E+00
-1,481	-3,338	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	0,00E+00
-1,285	-3,142	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	0,00E+00
-1,088	-2,945	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00
-0,892	-2,749	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00
-0,696	-2,553	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00
-0,499	-2,356	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00
-0,303	-2,160	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00
-0,107	-1,964	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	2,44E-16
0,090	-1,767	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,57E-13
0,286	-1,571	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,91E-11
0,483	-1,374	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	1,52E-09
0,679	-1,178	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	8,16E-08
0,875	-0,982	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	3,30E-07
1,072	-0,785	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	7,42E-08
1,268	-0,589	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,59E-09
1,464	-0,393	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	6,24E-09
1,661	-0,196	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	8,93E-08
1,857	0,000	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	3,30E-07
2,053	0,196	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	6,60E-08
2,250	0,393	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,14E-09
2,446	0,589	0,000	-0,131	0,131	0,104	1,41E-11
2,642	0,785	0,196	0,131	0,393	0,101	1,12E-13
2,839	0,982	0,393	0,393	0,655	0,091	1,24E-16
3,035	1,178	0,589	0,655	0,916	0,077	0,00E+00
3,231	1,374	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00
3,428	1,571	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00
3,624	1,767	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00
3,821	1,964	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00
4,017	2,160	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00
4,213	2,356	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00
4,410	2,553	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00
4,606	2,749	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00
4,802	2,945	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00
4,999	3,142	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00
5,195	3,338	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00
5,391	3,534	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00

Tabela H.117 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y'=0,995m$.

Y _{real}	Y _{bal}	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
-1,677	-3,534	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00
-1,481	-3,338	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00
-1,285	-3,142	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00
-1,088	-2,945	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00
-0,892	-2,749	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00
-0,696	-2,553	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00
-0,499	-2,356	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00
-0,303	-2,160	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00
-0,107	-1,964	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	2,44E-16
0,090	-1,767	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,57E-13
0,286	-1,571	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,91E-11
0,483	-1,374	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	1,52E-09
0,679	-1,178	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	8,16E-08
0,875	-0,982	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	3,30E-07
1,072	-0,785	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	7,42E-08
1,268	-0,589	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	5,59E-09
1,464	-0,393	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	6,24E-09
1,661	-0,196	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	8,93E-08
1,857	0,000	0,000	-0,131	0,131	0,104	3,30E-07
2,053	0,196	0,196	0,131	0,393	0,101	6,60E-08
2,250	0,393	0,393	0,393	0,655	0,091	1,14E-09
2,446	0,589	0,589	0,654	0,916	0,077	1,41E-11
2,642	0,785	0,785	0,916	1,178	0,060	1,12E-13
2,839	0,982	0,982	1,178	1,440	0,044	1,24E-16
3,035	1,178	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00
3,231	1,374	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00
3,428	1,571	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00
3,624	1,767	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00
3,821	1,964	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00
4,017	2,160	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00
4,213	2,356	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00
4,410	2,553	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00
4,606	2,749	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00
4,802	2,945	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00
4,999	3,142	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00
5,195	3,338	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00
5,391	3,534	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00

H - CÁLCULO DA ESTRUTURA 05 PARA O ANTONOV AN-225

H.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.118 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-5,13m$ no eixo y.

Y _{real}	Y _{relativo}	ε _{xx}	ε _{yy}	ε _{xy}	ε _{t max}
0,385	-3,534	0,25	-17,06	0,23	0,26
0,582	-3,338	0,87	-19,17	0,91	0,91
0,778	-3,142	1,61	-21,66	1,70	1,74
0,974	-2,945	2,68	-24,59	2,62	2,93
1,171	-2,749	4,08	-28,07	3,69	4,50
1,367	-2,553	6,19	-32,14	4,89	6,80
1,563	-2,356	9,21	-36,79	6,23	10,04
1,760	-2,160	14,01	-41,83	7,69	15,05
1,956	-1,964	21,46	-46,58	9,26	22,69

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,152	-1,767	33,86	-49,18	10,91	35,27
2,349	-1,571	54,23	-44,38	12,59	55,82
2,545	-1,374	89,20	-14,86	13,80	91,00
2,741	-1,178	135,22	87,11	12,34	138,20
2,938	-0,982	158,91	143,91	5,92	160,96
3,134	-0,785	145,24	60,09	0,23	145,24
3,330	-0,589	120,76	-24,97	-0,43	120,76
3,527	-0,393	122,35	-21,51	0,50	122,35
3,723	-0,196	147,59	71,91	-0,52	147,60
3,920	0,000	158,40	144,76	-6,62	161,09
4,116	0,196	131,31	75,75	-12,68	134,06
4,312	0,393	85,16	-19,81	-13,73	86,93
4,509	0,589	51,88	-45,40	-12,44	53,44
4,705	0,785	32,42	-49,11	-10,74	33,81
4,901	0,982	20,61	-46,18	-9,10	21,83
5,098	1,178	13,46	-41,34	-7,54	14,48
5,294	1,374	8,88	-36,32	-6,09	9,68
5,490	1,571	5,95	-31,72	-4,76	6,55
5,687	1,767	3,93	-27,71	-3,57	4,33
5,883	1,964	2,57	-24,29	-2,52	2,80
6,079	2,160	1,54	-21,40	-1,62	1,65
6,276	2,356	0,81	-18,95	-0,83	0,84
6,472	2,553	0,21	-16,88	-0,17	0,21
6,668	2,749	-0,23	-15,10	0,40	0,00
6,865	2,945	-0,61	-13,57	0,88	0,00
7,061	3,142	-0,90	-12,24	1,28	0,00
7,257	3,338	-1,16	-11,08	1,62	0,00
7,454	3,534	-1,36	-10,05	1,91	0,00

Tabela H.119 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-4,27m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,582	-3,338	-0,03	-20,88	-1,34	0,05
0,778	-3,142	0,41	-23,44	-1,04	0,46
0,974	-2,945	0,86	-26,30	-0,73	0,88
1,171	-2,749	1,23	-29,38	-0,44	1,24
1,367	-2,553	1,39	-32,50	-0,21	1,39
1,563	-2,356	1,05	-35,20	-0,13	1,05
1,760	-2,160	-0,31	-36,65	-0,29	0,00
1,956	-1,964	-3,51	-35,40	-0,92	0,00
2,152	-1,767	-9,73	-29,33	-2,18	0,00
2,349	-1,571	-20,07	-15,71	-4,08	0,00
2,545	-1,374	-34,27	8,51	-5,67	9,25
2,741	-1,178	-48,70	46,27	-4,99	46,54
2,938	-0,982	-56,78	67,67	-0,27	67,67
3,134	-0,785	-56,01	49,29	3,21	49,39
3,330	-0,589	-52,35	27,82	1,52	27,85
3,527	-0,393	-52,59	28,86	-1,80	28,90
3,723	-0,196	-56,33	52,01	-3,11	52,10
3,920	0,000	-56,43	67,46	0,79	67,47
4,116	0,196	-47,52	42,63	5,24	42,93
4,312	0,393	-32,85	5,69	5,59	6,49
4,509	0,589	-18,92	-17,37	3,90	0,00
4,705	0,785	-8,99	-30,17	2,04	0,00
4,901	0,982	-3,11	-35,68	0,85	0,00
5,098	1,178	-0,12	-36,60	0,27	0,00
5,294	1,374	1,11	-34,99	0,14	1,11
5,490	1,571	1,39	-32,22	0,24	1,40

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
5,687	1,767	1,21	-29,09	0,48	1,21
5,883	1,964	0,82	-26,02	0,77	0,84
6,079	2,160	0,37	-23,19	1,08	0,42
6,276	2,356	-0,07	-20,66	1,37	0,02
6,472	2,553	-0,48	-18,44	1,66	0,00
6,668	2,749	-0,84	-16,49	1,91	0,00
6,865	2,945	-1,16	-14,79	2,14	0,00
7,061	3,142	-1,43	-13,29	2,34	0,00
7,257	3,338	-1,66	-11,98	2,52	0,00
0,385	-3,534	-0,44	-18,63	-1,62	0,00

Tabela H.120 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-3,42m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-1,83	-19,38	-3,16	0,00
0,582	-3,338	-1,51	-21,75	-3,11	0,00
0,778	-3,142	-1,18	-24,51	-3,03	0,00
0,974	-2,945	-0,66	-27,71	-2,99	0,00
1,171	-2,749	-0,01	-31,44	-2,92	0,26
1,367	-2,553	1,07	-35,75	-2,95	1,31
1,563	-2,356	2,75	-40,61	-2,96	2,95
1,760	-2,160	5,79	-45,82	-3,19	5,98
1,956	-1,964	11,01	-50,65	-3,50	11,21
2,152	-1,767	20,68	-53,04	-4,39	20,94
2,349	-1,571	37,80	-47,10	-5,85	38,20
2,545	-1,374	68,87	-13,78	-9,23	69,89
2,741	-1,178	110,70	96,88	-8,75	114,94
2,938	-0,982	131,62	159,70	-1,16	159,75
3,134	-0,785	117,32	68,23	4,85	117,80
3,330	-0,589	93,35	-23,56	3,00	93,42
3,527	-0,393	94,89	-19,76	-3,49	95,00
3,723	-0,196	119,66	80,98	-4,58	120,19
3,920	0,000	131,27	160,62	1,97	160,75
4,116	0,196	107,14	84,54	9,17	110,40
4,312	0,393	65,23	-19,27	8,94	66,16
4,509	0,589	35,77	-48,30	5,64	36,15
4,705	0,785	19,51	-53,01	4,30	19,77
4,901	0,982	10,39	-50,24	3,46	10,59
5,098	1,178	5,42	-45,32	3,18	5,62
5,294	1,374	2,56	-40,13	2,96	2,76
5,490	1,571	0,95	-35,31	2,96	1,19
5,687	1,767	-0,08	-31,06	2,94	0,19
5,883	1,964	-0,72	-27,39	3,01	0,00
6,079	2,160	-1,21	-24,23	3,04	0,00
6,276	2,356	-1,55	-21,51	3,13	0,00
6,472	2,553	-1,86	-19,17	3,17	0,00
6,668	2,749	-2,08	-17,13	3,25	0,00
6,865	2,945	-2,30	-15,35	3,29	0,00
7,061	3,142	-2,46	-13,78	3,35	0,00
7,257	3,338	-2,63	-12,39	3,37	0,00
7,454	3,534	-2,75	-11,15	3,41	0,00

Tabela H.121 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-2,56m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-3,43	-19,35	-3,74	0,00
0,582	-3,338	-3,37	-21,66	-3,72	0,00
0,778	-3,142	-3,35	-24,28	-3,70	0,00
0,974	-2,945	-3,41	-27,20	-3,66	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
1,171	-2,749	-3,63	-30,38	-3,60	0,00
1,367	-2,553	-4,19	-33,64	-3,54	0,00
1,563	-2,356	-5,37	-36,57	-3,48	0,00
1,760	-2,160	-7,71	-38,37	-3,45	0,00
1,956	-1,964	-12,06	-37,62	-3,52	0,00
2,152	-1,767	-19,60	-32,08	-3,80	0,00
2,349	-1,571	-31,40	-18,71	-4,36	0,00
2,545	-1,374	-47,08	6,65	-5,01	7,11
2,741	-1,178	-62,76	49,65	-4,37	49,82
2,938	-0,982	-71,75	73,90	-1,38	73,91
3,134	-0,785	-71,66	50,46	1,03	50,47
3,330	-0,589	-68,32	24,02	0,68	24,02
3,527	-0,393	-68,54	25,26	-0,78	25,27
3,723	-0,196	-71,94	53,86	-0,92	53,87
3,920	0,000	-71,33	73,78	1,72	73,80
4,116	0,196	-61,48	45,41	4,54	45,60
4,312	0,393	-45,53	3,60	4,98	4,10
4,509	0,589	-30,12	-20,38	4,31	0,00
4,705	0,785	-18,73	-32,87	3,77	0,00
4,901	0,982	-11,54	-37,85	3,51	0,00
5,098	1,178	-7,43	-38,28	3,46	0,00
5,294	1,374	-5,22	-36,33	3,50	0,00
5,490	1,571	-4,12	-33,34	3,56	0,00
5,687	1,767	-3,60	-30,08	3,62	0,00
5,883	1,964	-3,40	-26,92	3,67	0,00
6,079	2,160	-3,35	-24,02	3,71	0,00
6,276	2,356	-3,37	-21,44	3,74	0,00
6,472	2,553	-3,43	-19,15	3,75	0,00
6,668	2,749	-3,50	-17,13	3,76	0,00
6,865	2,945	-3,57	-15,35	3,76	0,00
7,061	3,142	-3,64	-13,78	3,75	0,00
7,257	3,338	-3,70	-12,37	3,73	0,00

Tabela H.122 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23\text{m}$ e $x'=-1,71\text{m}$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-4,49	-19,36	-3,92	0,00
0,582	-3,338	-4,41	-21,78	-3,90	0,00
0,778	-3,142	-4,32	-24,59	-3,88	0,00
0,974	-2,945	-4,10	-27,88	-3,77	0,00
1,171	-2,749	-3,76	-31,73	-3,65	0,00
1,367	-2,553	-3,03	-36,23	-3,32	0,00
1,563	-2,356	-1,73	-41,37	-2,84	0,00
1,760	-2,160	0,81	-46,97	-1,79	0,88
1,956	-1,964	5,49	-52,27	-0,09	5,49
2,152	-1,767	14,28	-55,08	3,27	14,43
2,349	-1,571	30,07	-49,23	8,68	31,00
2,545	-1,374	58,11	-15,24	17,50	62,07
2,741	-1,178	95,99	95,93	17,66	113,62
2,938	-0,982	115,61	158,94	-0,71	158,95
3,134	-0,785	102,10	66,42	-14,75	107,41
3,330	-0,589	80,92	-26,31	-7,56	81,45
3,527	-0,393	82,23	-22,43	8,94	82,99
3,723	-0,196	104,26	79,24	14,33	110,78
3,920	0,000	115,29	159,91	-1,29	159,95
4,116	0,196	92,71	83,56	-18,51	107,21
4,312	0,393	54,85	-20,81	-16,71	58,38
4,509	0,589	28,19	-50,45	-8,01	29,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
4,705	0,785	13,21	-55,03	-2,88	13,33
4,901	0,982	4,93	-51,82	0,32	4,93
5,098	1,178	0,50	-46,43	1,91	0,58
5,294	1,374	-1,89	-40,86	2,91	0,00
5,490	1,571	-3,12	-35,78	3,36	0,00
5,687	1,767	-3,80	-31,34	3,68	0,00
5,883	1,964	-4,13	-27,55	3,79	0,00
6,079	2,160	-4,33	-24,31	3,90	0,00
6,276	2,356	-4,42	-21,53	3,91	0,00
6,472	2,553	-4,49	-19,14	3,94	0,00
6,668	2,749	-4,51	-17,07	3,91	0,00
6,865	2,945	-4,54	-15,25	3,90	0,00
7,061	3,142	-4,55	-13,65	3,85	0,00
7,257	3,338	-4,56	-12,23	3,83	0,00
7,454	3,534	-4,55	-10,96	3,77	0,00

Tabela H.123 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-0,85m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-5,53	-19,12	-3,82	0,00
0,582	-3,338	-5,61	-21,51	-3,83	0,00
0,778	-3,142	-5,72	-24,22	-3,80	0,00
0,974	-2,945	-5,92	-27,28	-3,75	0,00
1,171	-2,749	-6,29	-30,65	-3,64	0,00
1,367	-2,553	-6,99	-34,17	-3,46	0,00
1,563	-2,356	-8,30	-37,49	-3,16	0,00
1,760	-2,160	-10,74	-39,83	-2,72	0,00
1,956	-1,964	-15,15	-39,78	-2,06	0,00
2,152	-1,767	-22,67	-35,06	-1,28	0,00
2,349	-1,571	-34,37	-22,33	-0,56	0,00
2,545	-1,374	-49,90	3,41	-0,51	3,41
2,741	-1,178	-65,48	49,49	-0,59	49,49
2,938	-0,982	-74,45	75,67	-0,33	75,67
3,134	-0,785	-74,30	48,17	0,01	48,17
3,330	-0,589	-70,94	18,30	0,12	18,30
3,527	-0,393	-71,16	19,70	-0,12	19,70
3,723	-0,196	-74,58	52,06	0,04	52,06
3,920	0,000	-74,03	75,64	0,36	75,64
4,116	0,196	-64,21	44,87	0,61	44,87
4,312	0,393	-48,36	0,23	0,51	0,24
4,509	0,589	-33,09	-23,96	0,62	0,00
4,705	0,785	-21,80	-35,77	1,36	0,00
4,901	0,982	-14,62	-39,94	2,14	0,00
5,098	1,178	-10,45	-39,68	2,78	0,00
5,294	1,374	-8,14	-37,21	3,21	0,00
5,490	1,571	-6,90	-33,84	3,50	0,00
5,687	1,767	-6,25	-30,32	3,66	0,00
5,883	1,964	-5,90	-26,98	3,77	0,00
6,079	2,160	-5,71	-23,96	3,82	0,00
6,276	2,356	-5,60	-21,27	3,84	0,00
6,472	2,553	-5,53	-18,92	3,83	0,00
6,668	2,749	-5,48	-16,84	3,81	0,00
6,865	2,945	-5,43	-15,02	3,78	0,00
7,061	3,142	-5,39	-13,40	3,74	0,00
7,257	3,338	-5,34	-11,96	3,69	0,00
7,454	3,534	-5,30	-10,68	3,63	0,00

Tabela H.124 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=0,00m$ no eixo y.

y_{real}	$y_{relativo}$	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t\ max}$
0,385	-3,534	-6,12	-19,07	-3,63	0,00
0,582	-3,338	-6,10	-21,58	-3,64	0,00
0,778	-3,142	-6,09	-24,51	-3,64	0,00
0,974	-2,945	-5,92	-27,94	-3,59	0,00
1,171	-2,749	-5,65	-32,00	-3,53	0,00
1,367	-2,553	-4,95	-36,78	-3,37	0,00
1,563	-2,356	-3,68	-42,35	-3,12	0,00
1,760	-2,160	-1,05	-48,55	-2,63	0,00
1,956	-1,964	3,78	-54,73	-1,80	3,84
2,152	-1,767	13,13	-58,73	-0,22	13,13
2,349	-1,571	30,05	-54,21	2,37	30,12
2,545	-1,374	61,31	-20,35	6,30	61,79
2,741	-1,178	103,63	98,12	6,68	108,10
2,938	-0,982	124,58	164,65	-1,10	164,68
3,134	-0,785	109,84	64,96	-6,93	110,89
3,330	-0,589	85,16	-35,15	-3,34	85,25
3,527	-0,393	86,76	-31,03	3,97	86,89
3,723	-0,196	112,24	78,86	6,81	113,57
3,920	0,000	124,26	165,74	0,23	165,74
4,116	0,196	100,04	84,87	-7,01	102,78
4,312	0,393	57,63	-26,10	-5,94	58,05
4,509	0,589	28,03	-55,32	-2,05	28,08
4,705	0,785	11,98	-58,55	0,41	11,99
4,901	0,982	3,20	-54,18	1,91	3,26
5,098	1,178	-1,38	-47,94	2,70	0,00
5,294	1,374	-3,84	-41,79	3,17	0,00
5,490	1,571	-5,04	-36,30	3,40	0,00
5,687	1,767	-5,68	-31,59	3,55	0,00
5,883	1,964	-5,95	-27,59	3,61	0,00
6,079	2,160	-6,09	-24,21	3,65	0,00
6,276	2,356	-6,10	-21,33	3,65	0,00
6,472	2,553	-6,11	-18,85	3,64	0,00
6,668	2,749	-6,06	-16,71	3,60	0,00
6,865	2,945	-6,03	-14,84	3,57	0,00
7,061	3,142	-5,96	-13,19	3,52	0,00
7,257	3,338	-5,91	-11,74	3,46	0,00
7,454	3,534	-5,84	-10,44	3,40	0,00

Tabela H.125 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=0,85m$ no eixo y .

y_{real}	$y_{relativo}$	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t\ max}$
0,385	-3,534	-6,55	-18,84	-3,40	0,00
0,582	-3,338	-6,64	-21,31	-3,44	0,00
0,778	-3,142	-6,78	-24,13	-3,47	0,00
0,974	-2,945	-7,00	-27,31	-3,51	0,00
1,171	-2,749	-7,39	-30,86	-3,59	0,00
1,367	-2,553	-8,10	-34,64	-3,74	0,00
1,563	-2,356	-9,45	-38,32	-4,08	0,00
1,760	-2,160	-11,96	-41,20	-4,71	0,00
1,956	-1,964	-16,48	-41,93	-5,91	0,00
2,152	-1,767	-24,21	-38,20	-7,85	0,00
2,349	-1,571	-36,21	-26,39	-10,41	0,00
2,545	-1,374	-52,12	-0,16	-12,23	2,58
2,741	-1,178	-68,01	50,72	-10,47	51,63
2,938	-0,982	-77,15	79,85	-3,08	79,91
3,134	-0,785	-77,08	46,61	2,75	46,67
3,330	-0,589	-73,72	11,62	1,62	11,65
3,527	-0,393	-73,94	13,25	-1,90	13,29

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,723	-0,196	-77,36	51,22	-2,51	51,27
3,920	0,000	-76,71	79,93	3,87	80,03
4,116	0,196	-66,71	45,50	10,90	46,55
4,312	0,393	-50,55	-3,52	12,17	0,00
4,509	0,589	-34,91	-27,96	10,18	0,00
4,705	0,785	-23,32	-38,82	7,64	0,00
4,901	0,982	-15,95	-42,00	5,79	0,00
5,098	1,178	-11,66	-40,99	4,64	0,00
5,294	1,374	-9,29	-38,00	4,05	0,00
5,490	1,571	-8,02	-34,28	3,73	0,00
5,687	1,767	-7,34	-30,52	3,60	0,00
5,883	1,964	-6,97	-27,00	3,52	0,00
6,079	2,160	-6,76	-23,85	3,48	0,00
6,276	2,356	-6,63	-21,07	3,44	0,00
6,472	2,553	-6,54	-18,63	3,41	0,00
6,668	2,749	-6,46	-16,49	3,36	0,00
6,865	2,945	-6,40	-14,62	3,32	0,00
7,061	3,142	-6,33	-12,96	3,26	0,00
7,257	3,338	-6,26	-11,49	3,19	0,00
7,454	3,534	-6,19	-10,18	3,12	0,00

Tabela H.126 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=1,71m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-6,56	-18,70	-3,14	0,00
0,582	-3,338	-6,52	-21,29	-3,20	0,00
0,778	-3,142	-6,48	-24,33	-3,23	0,00
0,974	-2,945	-6,29	-27,90	-3,27	0,00
1,171	-2,749	-5,97	-32,13	-3,28	0,00
1,367	-2,553	-5,25	-37,15	-3,32	0,00
1,563	-2,356	-3,93	-43,03	-3,33	0,00
1,760	-2,160	-1,27	-49,67	-3,42	0,00
1,956	-1,964	3,63	-56,44	-3,47	3,83
2,152	-1,767	13,03	-61,21	-3,74	13,22
2,349	-1,571	30,08	-57,46	-4,12	30,28
2,545	-1,374	61,26	-23,56	-5,45	61,61
2,741	-1,178	103,86	97,72	-4,88	106,55
2,938	-0,982	125,45	166,27	-1,41	166,31
3,134	-0,785	109,99	62,63	1,45	110,04
3,330	-0,589	85,35	-40,64	1,21	85,36
3,527	-0,393	86,91	-36,39	-1,39	86,93
3,723	-0,196	112,46	77,00	-1,27	112,51
3,920	0,000	125,12	167,44	1,77	167,51
4,116	0,196	100,19	84,10	5,11	101,67
4,312	0,393	57,60	-29,40	5,34	57,92
4,509	0,589	28,05	-58,51	4,06	28,24
4,705	0,785	11,88	-60,95	3,73	12,07
4,901	0,982	3,04	-55,83	3,47	3,24
5,098	1,178	-1,60	-49,02	3,42	0,00
5,294	1,374	-4,09	-42,44	3,33	0,00
5,490	1,571	-5,34	-36,64	3,33	0,00
5,687	1,767	-6,01	-31,70	3,28	0,00
5,883	1,964	-6,31	-27,53	3,28	0,00
6,079	2,160	-6,48	-24,02	3,23	0,00
6,276	2,356	-6,53	-21,03	3,21	0,00
6,472	2,553	-6,55	-18,47	3,14	0,00
6,668	2,749	-6,52	-16,26	3,10	0,00
6,865	2,945	-6,50	-14,33	3,02	0,00

y real	y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
7,061	3,142	-6,45	-12,64	2,95	0,00
7,257	3,338	-6,41	-11,15	2,86	0,00
7,454	3,534	-6,34	-9,83	2,79	0,00

Tabela H.127 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=2,56m$ no eixo y.

y real	y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-6,48	-18,33	-3,08	0,00
0,582	-3,338	-6,51	-20,89	-3,16	0,00
0,778	-3,142	-6,56	-23,81	-3,23	0,00
0,974	-2,945	-6,69	-27,14	-3,29	0,00
1,171	-2,749	-6,98	-30,85	-3,35	0,00
1,367	-2,553	-7,59	-34,83	-3,42	0,00
1,563	-2,356	-8,82	-38,76	-3,55	0,00
1,760	-2,160	-11,19	-41,95	-3,80	0,00
1,956	-1,964	-15,54	-43,05	-4,31	0,00
2,152	-1,767	-23,05	-39,79	-5,21	0,00
2,349	-1,571	-34,77	-28,54	-6,52	0,00
2,545	-1,374	-50,35	-2,81	-7,62	0,00
2,741	-1,178	-65,95	48,86	-6,62	49,24
2,938	-0,982	-74,91	78,26	-1,98	78,29
3,134	-0,785	-74,79	43,89	1,71	43,91
3,330	-0,589	-71,44	7,74	1,02	7,76
3,527	-0,393	-71,66	9,40	-1,19	9,41
3,723	-0,196	-75,07	48,67	-1,56	48,69
3,920	0,000	-74,49	78,38	2,50	78,42
4,116	0,196	-64,68	43,54	6,88	43,97
4,312	0,393	-48,81	-6,15	7,57	0,00
4,509	0,589	-33,49	-30,05	6,40	0,00
4,705	0,785	-22,18	-40,35	5,11	0,00
4,901	0,982	-15,02	-43,08	4,26	0,00
5,098	1,178	-10,90	-41,71	3,78	0,00
5,294	1,374	-8,67	-38,41	3,54	0,00
5,490	1,571	-7,51	-34,45	3,42	0,00
5,687	1,767	-6,94	-30,49	3,35	0,00
5,883	1,964	-6,67	-26,81	3,29	0,00
6,079	2,160	-6,55	-23,52	3,23	0,00
6,276	2,356	-6,50	-20,63	3,16	0,00
6,472	2,553	-6,48	-18,11	3,08	0,00
6,668	2,749	-6,46	-15,91	2,98	0,00
6,865	2,945	-6,45	-13,98	2,89	0,00
7,061	3,142	-6,42	-12,29	2,78	0,00
7,257	3,338	-6,39	-10,80	2,67	0,00
7,454	3,534	-6,35	-9,48	2,56	0,00

Tabela H.128 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=3,42m$ no eixo y.

y real	y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-6,05	-17,95	-3,23	0,00
0,582	-3,338	-5,87	-20,62	-3,35	0,00
0,778	-3,142	-5,67	-23,76	-3,48	0,00
0,974	-2,945	-5,28	-27,46	-3,49	0,00
1,171	-2,749	-4,76	-31,86	-3,49	0,00
1,367	-2,553	-3,78	-37,08	-3,22	0,00
1,563	-2,356	-2,21	-43,18	-2,77	0,00
1,760	-2,160	0,75	-50,03	-1,63	0,80
1,956	-1,964	5,94	-56,96	0,30	5,94
2,152	-1,767	15,68	-61,68	4,21	15,90
2,349	-1,571	33,05	-57,51	10,58	34,27

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
2,545	-1,374	64,90	-23,35	21,09	69,69
2,741	-1,178	107,98	92,14	21,24	122,72
2,938	-0,982	129,36	158,38	-0,77	158,40
3,134	-0,785	114,51	58,52	-17,58	119,58
3,330	-0,589	89,54	-39,86	-9,04	90,17
3,527	-0,393	91,16	-35,70	10,69	92,05
3,723	-0,196	116,94	72,15	17,09	122,71
3,920	0,000	129,02	159,54	-1,63	159,63
4,116	0,196	104,32	79,20	-22,27	117,32
4,312	0,393	61,16	-29,10	-20,15	65,45
4,509	0,589	30,98	-58,62	-9,79	32,03
4,705	0,785	14,49	-61,45	-3,75	14,68
4,901	0,982	5,32	-56,34	-0,04	5,32
5,098	1,178	0,39	-49,36	1,76	0,45
5,294	1,374	-2,39	-42,56	2,85	0,00
5,490	1,571	-3,90	-36,55	3,26	0,00
5,687	1,767	-4,82	-31,42	3,51	0,00
5,883	1,964	-5,33	-27,09	3,50	0,00
6,079	2,160	-5,69	-23,44	3,48	0,00
6,276	2,356	-5,89	-20,35	3,34	0,00
6,472	2,553	-6,06	-17,71	3,23	0,00
6,668	2,749	-6,14	-15,45	3,05	0,00
6,865	2,945	-6,22	-13,49	2,91	0,00
7,061	3,142	-6,24	-11,79	2,73	0,00
7,257	3,338	-6,26	-10,30	2,58	0,00
7,454	3,534	-6,24	-9,00	2,41	0,00

Tabela H.129 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=4,27m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-5,81	-16,64	-3,91	0,00
0,582	-3,338	-5,62	-19,23	-4,28	0,00
0,778	-3,142	-5,41	-22,25	-4,65	0,00
0,974	-2,945	-5,19	-25,74	-5,02	0,00
1,171	-2,749	-5,06	-29,71	-5,35	0,00
1,367	-2,553	-5,16	-34,06	-5,63	0,00
1,563	-2,356	-5,78	-38,50	-5,80	0,00
1,760	-2,160	-7,48	-42,33	-5,86	0,00
1,956	-1,964	-11,11	-44,23	-5,76	0,00
2,152	-1,767	-17,92	-41,91	-5,59	0,00
2,349	-1,571	-29,02	-31,65	-5,47	0,00
2,545	-1,374	-44,11	-6,65	-5,60	0,00
2,741	-1,178	-59,30	45,45	-4,85	45,68
2,938	-0,982	-67,85	75,10	-2,57	75,15
3,134	-0,785	-67,28	38,89	-0,44	38,89
3,330	-0,589	-63,64	1,39	0,14	1,39
3,527	-0,393	-63,88	3,10	-0,14	3,10
3,723	-0,196	-67,60	43,88	0,60	43,88
3,920	0,000	-67,47	75,29	2,81	75,34
4,116	0,196	-58,07	40,04	5,01	40,30
4,312	0,393	-42,61	-9,96	5,60	0,00
4,509	0,589	-27,80	-33,08	5,48	0,00
4,705	0,785	-17,11	-42,39	5,62	0,00
4,901	0,982	-10,66	-44,19	5,78	0,00
5,098	1,178	-7,25	-42,03	5,87	0,00
5,294	1,374	-5,69	-38,09	5,80	0,00
5,490	1,571	-5,13	-33,65	5,62	0,00
5,687	1,767	-5,06	-29,32	5,33	0,00

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
5,883	1,964	-5,21	-25,39	5,00	0,00
6,079	2,160	-5,43	-21,95	4,63	0,00
6,276	2,356	-5,64	-18,97	4,26	0,00
6,472	2,553	-5,82	-16,42	3,89	0,00
6,668	2,749	-5,96	-14,23	3,53	0,00
6,865	2,945	-6,06	-12,34	3,20	0,00
7,061	3,142	-6,12	-10,71	2,89	0,00
7,257	3,338	-6,15	-9,30	2,60	0,00
7,454	3,534	-6,15	-8,07	2,34	0,00

Tabela H.130 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=5,13m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
0,385	-3,534	-5,93	-14,69	-4,72	0,00
0,582	-3,338	-5,63	-17,16	-5,43	0,00
0,778	-3,142	-5,21	-20,16	-6,25	0,00
0,974	-2,945	-4,49	-23,83	-7,13	0,00
1,171	-2,749	-3,45	-28,37	-8,09	0,00
1,367	-2,553	-1,74	-33,97	-8,99	0,60
1,563	-2,356	0,86	-40,82	-9,81	3,06
1,760	-2,160	5,16	-48,90	-10,19	7,01
1,956	-1,964	11,99	-57,65	-9,92	13,38
2,152	-1,767	23,55	-64,89	-8,16	24,30
2,349	-1,571	42,69	-63,85	-4,42	42,88
2,545	-1,374	75,53	-32,11	2,27	75,58
2,741	-1,178	118,77	88,86	3,89	119,27
2,938	-0,982	141,15	156,84	-6,65	159,28
3,134	-0,785	128,16	49,60	-13,83	130,53
3,330	-0,589	105,23	-56,36	-6,27	105,48
3,527	-0,393	106,71	-51,97	7,45	107,06
3,723	-0,196	130,38	64,34	13,81	133,15
3,920	0,000	140,67	158,20	5,47	159,77
4,116	0,196	115,09	75,20	-4,30	115,54
4,312	0,393	71,75	-37,81	-1,63	71,77
4,509	0,589	40,47	-64,65	4,91	40,70
4,705	0,785	22,20	-64,39	8,40	23,00
4,901	0,982	11,21	-56,83	10,01	12,65
5,098	1,178	4,66	-48,09	10,19	6,56
5,294	1,374	0,57	-40,12	9,76	2,79
5,490	1,571	-1,93	-33,39	8,92	0,42
5,687	1,767	-3,56	-27,90	8,01	0,00
5,883	1,964	-4,57	-23,45	7,05	0,00
6,079	2,160	-5,26	-19,85	6,19	0,00
6,276	2,356	-5,67	-16,90	5,37	0,00
6,472	2,553	-5,95	-14,47	4,67	0,00
6,668	2,749	-6,09	-12,45	4,03	0,00
6,865	2,945	-6,19	-10,74	3,49	0,00
7,061	3,142	-6,21	-9,29	3,01	0,00
7,257	3,338	-6,21	-8,04	2,60	0,00
7,454	3,534	-6,16	-6,96	2,23	0,00

Tabela H.131 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,23m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
0,385	-3,534	3,581E-24	0,000
0,582	-3,338	1,467E-20	0,000
0,778	-3,142	1,000E-18	0,000
0,974	-2,945	3,109E-17	0,000
1,171	-2,749	5,170E-16	0,000

y_{real}	$y_{relativo}$	$\Delta D_{individual}$	$\Delta D_{acumulado}$
1,367	-2,553	7,825E-15	0,000
1,563	-2,356	1,011E-13	0,000
1,760	-2,160	1,447E-12	0,000
1,956	-1,964	2,166E-11	0,000
2,152	-1,767	4,038E-10	0,000
2,349	-1,571	9,032E-09	0,000
2,545	-1,374	2,780E-07	0,006
2,741	-1,178	5,972E-06	0,126
2,938	-0,982	4,377E-05	0,926
3,134	-0,785	7,296E-06	0,154
3,330	-0,589	1,849E-06	0,039
3,527	-0,393	2,035E-06	0,043
3,723	-0,196	8,275E-06	0,175
3,920	0,000	4,538E-05	0,960
4,116	0,196	4,625E-06	0,098
4,312	0,393	2,009E-07	0,004
4,509	0,589	6,699E-09	0,000
4,705	0,785	3,042E-10	0,000
4,901	0,982	1,677E-11	0,000
5,098	1,178	1,122E-12	0,000
5,294	1,374	7,975E-14	0,000
5,490	1,571	6,075E-15	0,000
5,687	1,767	4,026E-16	0,000
5,883	1,964	2,300E-17	0,000
6,079	2,160	7,127E-19	0,000
6,276	2,356	8,563E-21	0,000
6,472	2,553	9,866E-25	0,000
6,668	2,749	0,000E+00	0,000
6,865	2,945	0,000E+00	0,000
7,061	3,142	0,000E+00	0,000
7,257	3,338	0,000E+00	0,000
7,454	3,534	0,000E+00	0,000

H.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.132 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal para $y=0,00m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	ΔD_{Pj}
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	3,58E-24	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,47E-20	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,00E-18	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	3,11E-17	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	5,17E-16	6,78E-20
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	7,82E-15	2,58E-18
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	1,01E-13	7,76E-17
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,45E-12	2,44E-15
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	2,17E-11	7,48E-14
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	4,04E-10	2,66E-12
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	9,03E-09	1,06E-10
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,78E-07	5,44E-09
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,97E-06	1,82E-07
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,38E-05	1,95E-06
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	7,30E-06	4,41E-07
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,85E-06	1,42E-07
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,04E-06	1,85E-07
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	8,28E-06	8,34E-07
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	4,54E-05	4,73E-06

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	4,62E-06	4,66E-07
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	2,01E-07	1,83E-08
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	6,70E-09	5,14E-10
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	3,04E-10	1,84E-11
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	1,68E-11	7,46E-13
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	1,12E-12	3,43E-14
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	7,97E-14	1,56E-15
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	6,08E-15	7,16E-17
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	4,03E-16	2,66E-18
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	2,30E-17	7,94E-20
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	7,13E-19	1,20E-21
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	8,56E-21	6,58E-24
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	9,87E-25	3,25E-28
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.133 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal para $y=0,50m$.

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
0,385	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	3,58E-24	0,00E+00
0,582	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	1,47E-20	0,00E+00
0,778	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	1,00E-18	0,00E+00
0,974	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	3,11E-17	0,00E+00
1,171	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	5,17E-16	0,00E+00
1,367	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	7,82E-15	0,00E+00
1,563	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	1,01E-13	0,00E+00
1,760	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	1,45E-12	1,90E-16
1,956	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	2,17E-11	7,13E-15
2,152	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	4,04E-10	3,10E-13
2,349	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	9,03E-09	1,52E-11
2,545	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	2,78E-07	9,60E-10
2,741	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	5,97E-06	3,94E-08
2,938	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	4,38E-05	5,16E-07
3,134	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	7,30E-06	1,43E-07
3,330	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,85E-06	5,65E-08
3,527	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,04E-06	9,05E-08
3,723	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	8,28E-06	5,00E-07
3,920	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	4,54E-05	3,48E-06
4,116	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	4,62E-06	4,20E-07
4,312	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,01E-07	2,02E-08
4,509	0,000	-0,131	0,131	0,104	6,70E-09	6,98E-10
4,705	0,196	0,131	0,393	0,101	3,04E-10	3,06E-11
4,901	0,393	0,393	0,655	0,091	1,68E-11	1,52E-12
5,098	0,589	0,655	0,916	0,077	1,12E-12	8,61E-14
5,294	0,785	0,916	1,178	0,060	7,97E-14	4,82E-15
5,490	0,982	1,178	1,440	0,044	6,08E-15	2,70E-16
5,687	1,178	1,440	1,702	0,031	4,03E-16	1,23E-17
5,883	1,374	1,702	1,964	0,020	2,30E-17	4,50E-19
6,079	1,571	1,963	2,225	0,012	7,13E-19	8,40E-21
6,276	1,767	2,225	2,487	0,007	8,56E-21	5,65E-23
6,472	1,963	2,487	2,749	0,003	9,87E-25	3,41E-27
6,668	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
7,061	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	Pj	ΔD	$\Delta D Pj$
7,454	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.134 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal para $y'=1,0m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	Pj	ΔD	$\Delta D Pj$
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	3,58E-24	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,47E-20	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,00E-18	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	3,11E-17	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	5,17E-16	6,78E-20
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	7,82E-15	2,58E-18
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	1,01E-13	7,76E-17
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	1,45E-12	2,44E-15
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	2,17E-11	7,48E-14
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	4,04E-10	2,66E-12
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	9,03E-09	1,06E-10
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,78E-07	5,44E-09
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	5,97E-06	1,82E-07
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	4,38E-05	1,95E-06
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	7,30E-06	4,41E-07
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,85E-06	1,42E-07
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,04E-06	1,85E-07
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	8,28E-06	8,34E-07
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	4,54E-05	4,73E-06
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	4,62E-06	4,66E-07
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	2,01E-07	1,83E-08
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	6,70E-09	5,14E-10
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	3,04E-10	1,84E-11
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	1,68E-11	7,46E-13
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	1,12E-12	3,43E-14
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	7,97E-14	1,56E-15
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	6,08E-15	7,16E-17
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	4,03E-16	2,66E-18
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	2,30E-17	7,94E-20
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	7,13E-19	1,20E-21
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	8,56E-21	6,58E-24
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	9,87E-25	3,25E-28
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

H.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.135 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-5,13$	$x=-4,27$	$x=-3,42$	$x=-2,56$
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	5,04	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	24,63	0,00	13,63	0,00

y _{real}	y _{relativo}	x=-5,13	x=-4,27	x=-3,42	x=-2,56
2,349	-1,571	65,48	10,93	53,51	0,46
2,545	-1,374	155,81	32,27	145,19	22,32
2,741	-1,178	344,64	68,75	340,23	64,29
2,938	-0,982	446,68	90,96	446,01	89,54
3,134	-0,785	334,51	72,90	326,01	64,54
3,330	-0,589	202,55	52,38	187,30	37,70
3,527	-0,393	208,61	53,33	193,67	38,93
3,723	-0,196	351,33	75,58	343,77	68,08
3,920	0,000	446,56	90,70	446,07	89,43
4,116	0,196	325,66	65,07	320,51	59,96
4,312	0,393	143,79	29,71	132,88	19,55
4,509	0,589	60,28	9,49	48,34	0,00
4,705	0,785	22,17	0,00	11,32	0,00
4,901	0,982	3,87	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.136 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y _{real}	y _{relativo}	x=-1,71	x=-0,85	x=-0,0
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	7,18	0,00	3,78
2,349	-1,571	45,58	0,00	42,51
2,545	-1,374	135,35	18,81	136,50
2,741	-1,178	327,32	66,63	343,32
2,938	-0,982	433,76	95,20	455,39
3,134	-0,785	311,30	64,23	323,46
3,330	-0,589	174,13	31,70	172,94
3,527	-0,393	180,44	33,19	179,83
3,723	-0,196	329,07	68,55	342,81
3,920	0,000	433,93	95,20	455,67
4,116	0,196	307,67	61,63	322,28
4,312	0,393	123,27	15,76	123,66
4,509	0,589	40,55	0,00	37,37
4,705	0,785	4,99	0,00	1,63
4,901	0,982	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00

y real	y relativo	x=-1,71	x=-0,85	x=-0,0
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00
7,454	3,534	0,00	0,00	0,00

Tabela H.137 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y real	y relativo	x=0,0	x=0,85	x=1,71	x=2,56
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	0,00	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	3,78	0,00	1,55	0,00
2,349	-1,571	42,51	0,00	39,75	0,00
2,545	-1,374	136,50	14,73	134,20	13,94
2,741	-1,178	343,32	64,58	344,95	67,64
2,938	-0,982	455,39	94,37	460,59	99,73
3,134	-0,785	323,46	60,43	322,88	61,81
3,330	-0,589	172,94	25,33	168,63	23,00
3,527	-0,393	179,83	26,93	175,68	24,76
3,723	-0,196	342,81	65,12	342,88	67,02
3,920	0,000	455,67	94,44	460,96	99,87
4,116	0,196	322,28	59,32	323,31	61,93
4,312	0,393	123,66	11,63	121,22	10,68
4,509	0,589	37,37	0,00	34,64	0,00
4,705	0,785	1,63	0,00	0,00	0,00
4,901	0,982	0,00	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.138 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,23\text{m}$ no eixo y.

y real	y relativo	x=3,42	x=4,27	x=5,13
0,385	-3,534	0,00	0,00	0,00
0,582	-3,338	0,00	0,00	0,00
0,778	-3,142	0,00	0,00	0,00
0,974	-2,945	0,00	0,00	0,00
1,171	-2,749	0,00	0,00	0,00
1,367	-2,553	0,00	0,00	0,00

y_{real}	y_{relativo}	$x=3,42$	$x=4,27$	$x=5,13$
1,563	-2,356	0,00	0,00	0,00
1,760	-2,160	0,00	0,00	0,00
1,956	-1,964	0,00	0,00	0,00
2,152	-1,767	1,28	0,00	2,63
2,349	-1,571	39,19	0,00	39,65
2,545	-1,374	134,24	14,00	133,14
2,741	-1,178	348,05	68,80	344,21
2,938	-0,982	464,20	101,60	459,75
3,134	-0,785	324,87	62,03	320,43
3,330	-0,589	167,37	21,81	164,59
3,527	-0,393	174,56	23,62	171,71
3,723	-0,196	345,18	67,44	340,60
3,920	0,000	464,60	101,77	460,20
4,116	0,196	326,18	62,94	322,53
4,312	0,393	121,11	10,72	120,21
4,509	0,589	34,10	0,00	34,65
4,705	0,785	0,00	0,00	0,64
4,901	0,982	0,00	0,00	0,00
5,098	1,178	0,00	0,00	0,00
5,294	1,374	0,00	0,00	0,00
5,490	1,571	0,00	0,00	0,00
5,687	1,767	0,00	0,00	0,00
5,883	1,964	0,00	0,00	0,00
6,079	2,160	0,00	0,00	0,00
6,276	2,356	0,00	0,00	0,00
6,472	2,553	0,00	0,00	0,00
6,668	2,749	0,00	0,00	0,00
6,865	2,945	0,00	0,00	0,00
7,061	3,142	0,00	0,00	0,00
7,257	3,338	0,00	0,00	0,00
7,454	3,534	0,00	0,00	0,00

Tabela H.139 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para $z=0,23\text{m}$ no eixo y .

y_{real}	y_{relativo}	$\Delta D_{\text{individual}}$	$\Delta D_{\text{acumulado}}$
0,385	-3,534	0,000E+00	0,0000
0,582	-3,338	0,000E+00	0,0000
0,778	-3,142	0,000E+00	0,0000
0,974	-2,945	0,000E+00	0,0000
1,171	-2,749	0,000E+00	0,0000
1,367	-2,553	0,000E+00	0,0000
1,563	-2,356	0,000E+00	0,0000
1,760	-2,160	0,000E+00	0,0000
1,956	-1,964	1,755E-16	0,0000
2,152	-1,767	2,364E-13	0,0000
2,349	-1,571	3,681E-11	0,0000
2,545	-1,374	3,837E-09	0,0001
2,741	-1,178	2,136E-07	0,0045
2,938	-0,982	7,541E-07	0,0159
3,134	-0,785	1,664E-07	0,0035
3,330	-0,589	1,142E-08	0,0002
3,527	-0,393	1,344E-08	0,0003
3,723	-0,196	2,147E-07	0,0045
3,920	0,000	7,559E-07	0,0160
4,116	0,196	1,613E-07	0,0034
4,312	0,393	2,523E-09	0,0001
4,509	0,589	2,346E-11	0,0000
4,705	0,785	1,441E-13	0,0000

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
4,901	0,982	5,298E-17	0,0000
5,098	1,178	0,000E+00	0,0000
5,294	1,374	0,000E+00	0,0000
5,490	1,571	0,000E+00	0,0000
5,687	1,767	0,000E+00	0,0000
5,883	1,964	0,000E+00	0,0000
6,079	2,160	0,000E+00	0,0000
6,276	2,356	0,000E+00	0,0000
6,472	2,553	0,000E+00	0,0000
6,668	2,749	0,000E+00	0,0000
6,865	2,945	0,000E+00	0,0000
7,061	3,142	0,000E+00	0,0000
7,257	3,338	0,000E+00	0,0000
7,454	3,534	0,000E+00	0,0000

H.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.140 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y'=0,00m$.

Y real	Y bal	y ₁	y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00	0,00E+00
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,75E-16	6,06E-19
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,36E-13	1,56E-15
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	3,68E-11	4,34E-13
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,84E-09	7,50E-11
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,14E-07	6,53E-09
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	7,54E-07	3,35E-08
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,66E-07	1,01E-08
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,14E-08	8,76E-10
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,34E-08	1,22E-09
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,15E-07	2,16E-08
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	7,56E-07	7,88E-08
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	1,61E-07	1,62E-08
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	2,52E-09	2,29E-10
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	2,35E-11	1,80E-12
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	1,44E-13	8,71E-15
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	5,30E-17	2,36E-18
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.141 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y=0,50m$.

Y real	Y bal	y ₁	y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
0,385	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,582	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,778	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,974	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,171	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,367	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,563	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,760	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,956	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,75E-16	5,78E-20
2,152	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	2,36E-13	1,82E-16
2,349	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	3,68E-11	6,21E-14
2,545	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	3,84E-09	1,32E-11
2,741	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,14E-07	1,41E-09
2,938	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	7,54E-07	8,89E-09
3,134	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	1,66E-07	3,25E-09
3,330	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,14E-08	3,49E-10
3,527	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,34E-08	5,97E-10
3,723	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	2,15E-07	1,30E-08
3,920	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	7,56E-07	5,80E-08
4,116	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,61E-07	1,47E-08
4,312	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,52E-09	2,54E-10
4,509	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,35E-11	2,45E-12
4,705	0,196	0,131	0,393	0,101	1,44E-13	1,45E-14
4,901	0,393	0,393	0,655	0,091	5,30E-17	4,82E-18
5,098	0,589	0,655	0,916	0,077	0,00E+00	0,00E+00
5,294	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
5,490	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
5,687	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
5,883	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
6,079	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
6,276	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
6,472	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
6,668	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
7,061	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.142 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y=1,0m$.

Y real	Y bal	y ₁	y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
0,385	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,582	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,778	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
0,974	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,171	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,367	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
1,563	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
1,760	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	0,00E+00	0,00E+00
1,956	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	1,75E-16	6,06E-19
2,152	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,36E-13	1,56E-15
2,349	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	3,68E-11	4,34E-13
2,545	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	3,84E-09	7,50E-11
2,741	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,14E-07	6,53E-09
2,938	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	7,54E-07	3,35E-08
3,134	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,66E-07	1,01E-08
3,330	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,14E-08	8,76E-10

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
3,527	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,34E-08	1,22E-09
3,723	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	2,15E-07	2,16E-08
3,920	0,000	-0,131	0,131	0,104	7,56E-07	7,88E-08
4,116	0,196	0,131	0,393	0,101	1,61E-07	1,62E-08
4,312	0,393	0,393	0,655	0,091	2,52E-09	2,29E-10
4,509	0,589	0,654	0,916	0,077	2,35E-11	1,80E-12
4,705	0,785	0,916	1,178	0,060	1,44E-13	8,71E-15
4,901	0,982	1,178	1,440	0,044	5,30E-17	2,36E-18
5,098	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
5,294	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
5,490	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
5,687	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
5,883	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
6,079	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
6,276	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
6,472	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,668	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
6,865	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,061	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,257	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
7,454	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

I - CÁLCULO DA ESTRUTURA 05 PARA O BOEING 747-400

I.a - Dano na base sem varredura transversal

Tabela H.143 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-1,47m$ no eixo y

y_{real}	$y_{relativo}$	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_{t\ max}$
-2,17	-3,534	1,06	-13,17	-5,79	3,12
-1,98	-3,338	1,99	-15,59	-6,75	4,28
-1,78	-3,142	3,03	-18,54	-8,06	5,71
-1,59	-2,945	4,60	-22,16	-9,45	7,59
-1,39	-2,749	6,52	-26,55	-11,27	9,99
-1,19	-2,553	9,48	-31,77	-13,15	13,31
-1,00	-2,356	13,53	-37,71	-15,49	17,85
-0,80	-2,160	20,06	-43,81	-17,75	24,66
-0,60	-1,964	30,07	-48,45	-20,45	35,07
-0,41	-1,767	47,20	-47,18	-23,02	52,51
-0,21	-1,571	75,84	-27,38	-27,03	82,49
-0,01	-1,374	122,25	54,58	-28,80	132,84
0,18	-1,178	159,92	172,46	-17,48	184,76
0,38	-0,982	156,76	131,13	-0,21	156,76
0,57	-0,785	124,54	-2,66	5,06	124,74
0,77	-0,589	105,16	-46,39	0,79	105,17
0,97	-0,393	116,01	-24,53	-4,02	116,12
1,16	-0,196	148,38	89,01	-2,88	148,52
1,36	0,000	163,78	179,32	12,20	186,02
1,56	0,196	136,22	96,76	27,12	150,03
1,75	0,393	88,15	-13,21	28,52	95,62
1,95	0,589	53,95	-44,27	24,04	59,51
2,15	0,785	34,36	-49,04	21,41	39,54
2,34	0,982	22,44	-45,47	18,58	27,20
2,54	1,178	15,25	-39,55	16,34	19,75
2,73	1,374	10,45	-33,48	13,90	14,48
2,93	1,571	7,34	-28,02	11,98	11,02

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
3,13	1,767	5,05	-23,38	10,05	8,25
3,32	1,964	3,49	-19,55	8,61	6,35
3,52	2,160	2,23	-16,41	7,22	4,70
3,72	2,356	1,35	-13,84	6,22	3,57
3,91	2,553	0,59	-11,75	5,24	2,51
4,11	2,749	0,05	-10,02	4,55	1,80
4,31	2,945	-0,43	-8,59	3,85	1,10
4,50	3,142	-0,76	-7,40	3,37	0,65
4,70	3,338	-1,08	-6,40	2,87	0,17
4,89	3,534	-1,29	-5,55	2,52	0,00

Tabela H.144 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=-0,73m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-2,17	-3,534	2,76	-15,38	-2,32	3,05
-1,98	-3,338	3,84	-18,11	-2,52	4,12
-1,78	-3,142	5,13	-21,34	-2,69	5,40
-1,59	-2,945	6,63	-25,07	-2,85	6,89
-1,39	-2,749	8,31	-29,17	-2,92	8,53
-1,19	-2,553	10,00	-33,30	-2,93	10,19
-1,00	-2,356	11,34	-36,64	-2,71	11,49
-0,80	-2,160	11,58	-37,61	-2,30	11,69
-0,60	-1,964	9,35	-33,48	-1,53	9,40
-0,41	-1,767	2,60	-20,18	-0,64	2,61
-0,21	-1,571	-10,42	6,74	0,08	6,74
-0,01	-1,374	-27,83	49,37	-0,28	49,37
0,18	-1,178	-40,24	88,88	-0,93	88,88
0,38	-0,982	-37,81	78,99	-0,96	79,00
0,57	-0,785	-25,50	39,71	-1,12	39,73
0,77	-0,589	-17,76	20,43	-0,16	20,43
0,97	-0,393	-22,17	31,03	1,12	31,05
1,16	-0,196	-34,55	67,49	1,19	67,50
1,36	0,000	-41,20	91,91	1,05	91,92
1,56	0,196	-32,61	63,73	0,71	63,74
1,75	0,393	-15,38	17,76	0,01	17,76
1,95	0,589	-0,58	-13,80	0,52	0,00
2,15	0,785	7,93	-30,71	1,39	7,98
2,34	0,982	11,26	-37,08	2,25	11,36
2,54	1,178	11,58	-37,27	2,74	11,73
2,73	1,374	10,45	-34,42	3,03	10,66
2,93	1,571	8,82	-30,41	3,06	9,05
3,13	1,767	7,11	-26,25	3,02	7,38
3,32	1,964	5,55	-22,39	2,87	5,84
3,52	2,160	4,20	-19,02	2,71	4,51
3,72	2,356	3,06	-16,14	2,51	3,38
3,91	2,553	2,11	-13,73	2,34	2,45
4,11	2,749	1,34	-11,71	2,14	1,68
4,31	2,945	0,70	-10,04	1,97	1,05
4,50	3,142	0,18	-8,63	1,79	0,53
4,70	3,338	-0,24	-7,46	1,64	0,12
4,89	3,534	-0,58	-6,47	1,48	0,00

Tabela H.145 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=0,00m$ no eixo y .

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-2,17	-3,534	2,82	-14,51	1,60	2,96
-1,98	-3,338	3,94	-16,97	2,29	4,18
-1,78	-3,142	5,19	-19,90	3,21	5,60
-1,59	-2,945	7,00	-23,37	4,36	7,61

y_{real}	y_{relativo}	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_t \text{ max}$
-1,39	-2,749	9,19	-27,42	5,83	10,09
-1,19	-2,553	12,44	-32,01	7,60	13,70
-1,00	-2,356	16,81	-36,90	9,77	18,53
-0,80	-2,160	23,72	-41,48	12,26	25,95
-0,60	-1,964	34,16	-44,23	15,20	37,01
-0,41	-1,767	51,83	-41,30	18,48	55,36
-0,21	-1,571	81,09	-21,90	22,24	85,68
-0,01	-1,374	128,10	54,14	23,53	134,95
0,18	-1,178	166,25	162,24	13,84	178,23
0,38	-0,982	163,27	126,54	-0,82	163,28
0,57	-0,785	131,01	5,08	-4,84	131,20
0,77	-0,589	111,58	-33,69	-0,68	111,59
0,97	-0,393	122,46	-14,47	4,11	122,58
1,16	-0,196	154,88	88,58	3,58	155,07
1,36	0,000	170,20	168,52	-9,08	178,47
1,56	0,196	142,24	93,30	-21,85	150,57
1,75	0,393	93,58	-8,78	-23,13	98,56
1,95	0,589	58,75	-38,17	-19,39	62,48
2,15	0,785	38,60	-44,26	-16,03	41,60
2,34	0,982	26,22	-42,61	-12,93	28,57
2,54	1,178	18,63	-38,34	-10,35	20,46
2,73	1,374	13,50	-33,45	-8,05	14,84
2,93	1,571	10,10	-28,74	-6,19	11,06
3,13	1,767	7,53	-24,52	-4,61	8,18
3,32	1,964	5,72	-20,88	-3,40	6,15
3,52	2,160	4,24	-17,79	-2,40	4,50
3,72	2,356	3,16	-15,20	-1,66	3,31
3,91	2,553	2,22	-13,03	-1,06	2,29
4,11	2,749	1,53	-11,22	-0,64	1,56
4,31	2,945	0,90	-9,70	-0,29	0,91
4,50	3,142	0,45	-8,43	-0,06	0,45
4,70	3,338	0,02	-7,35	0,13	0,02
4,89	3,534	-0,29	-6,43	0,23	0,00

Tabela H.146 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23\text{m}$ e $x'=0,73\text{m}$ no eixo y .

y_{real}	y_{relativo}	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	$\epsilon_t \text{ max}$
-2,17	-3,534	2,76	-15,38	-2,32	3,05
-1,98	-3,338	3,84	-18,11	-2,52	4,12
-1,78	-3,142	5,13	-21,34	-2,69	5,40
-1,59	-2,945	6,63	-25,07	-2,85	6,89
-1,39	-2,749	8,31	-29,17	-2,92	8,53
-1,19	-2,553	10,00	-33,30	-2,93	10,19
-1,00	-2,356	11,34	-36,64	-2,71	11,49
-0,80	-2,160	11,58	-37,61	-2,30	11,69
-0,60	-1,964	9,35	-33,48	-1,53	9,40
-0,41	-1,767	2,60	-20,18	-0,64	2,61
-0,21	-1,571	-10,42	6,74	0,08	6,74
-0,01	-1,374	-27,83	49,37	-0,28	49,37
0,18	-1,178	-40,24	88,88	-0,93	88,88
0,38	-0,982	-37,81	78,99	-0,96	79,00
0,57	-0,785	-25,50	39,71	-1,12	39,73
0,77	-0,589	-17,76	20,43	-0,16	20,43
0,97	-0,393	-22,17	31,03	1,12	31,05
1,16	-0,196	-34,55	67,49	1,19	67,50
1,36	0,000	-41,20	91,91	1,05	91,92
1,56	0,196	-32,61	63,73	0,71	63,74
1,75	0,393	-15,38	17,76	0,01	17,76

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
1,95	0,589	-0,58	-13,80	0,52	0,00
2,15	0,785	7,93	-30,71	1,39	7,98
2,34	0,982	11,26	-37,08	2,25	11,36
2,54	1,178	11,58	-37,27	2,74	11,73
2,73	1,374	10,45	-34,42	3,03	10,66
2,93	1,571	8,82	-30,41	3,06	9,05
3,13	1,767	7,11	-26,25	3,02	7,38
3,32	1,964	5,55	-22,39	2,87	5,84
3,52	2,160	4,20	-19,02	2,71	4,51
3,72	2,356	3,06	-16,14	2,51	3,38
3,91	2,553	2,11	-13,73	2,34	2,45
4,11	2,749	1,34	-11,71	2,14	1,68
4,31	2,945	0,70	-10,04	1,97	1,05
4,50	3,142	0,18	-8,63	1,79	0,53
4,70	3,338	-0,24	-7,46	1,64	0,12

Tabela H.147 - Deformação máxima na fibra inferior da base para $z=0,23m$ e $x'=1,47m$ no eixo y.

Y real	Y relativo	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	ϵ_{xy}	ϵ_t max
-2,17	-3,534	1,06	-13,17	-5,79	3,12
-1,98	-3,338	1,99	-15,59	-6,75	4,28
-1,78	-3,142	3,03	-18,54	-8,06	5,71
-1,59	-2,945	4,60	-22,16	-9,45	7,59
-1,39	-2,749	6,52	-26,55	-11,27	9,99
-1,19	-2,553	9,48	-31,77	-13,15	13,31
-1,00	-2,356	13,53	-37,71	-15,49	17,85
-0,80	-2,160	20,06	-43,81	-17,75	24,66
-0,60	-1,964	30,07	-48,45	-20,45	35,07
-0,41	-1,767	47,20	-47,18	-23,02	52,51
-0,21	-1,571	75,84	-27,38	-27,03	82,49
-0,01	-1,374	122,25	54,58	-28,80	132,84
0,18	-1,178	159,92	172,46	-17,48	184,76
0,38	-0,982	156,76	131,13	-0,21	156,76
0,57	-0,785	124,54	-2,66	5,06	124,74
0,77	-0,589	105,16	-46,39	0,79	105,17
0,97	-0,393	116,01	-24,53	-4,02	116,12
1,16	-0,196	148,38	89,01	-2,88	148,52
1,36	0,000	163,78	179,32	12,20	186,02
1,56	0,196	136,22	96,76	27,12	150,03
1,75	0,393	88,15	-13,21	28,52	95,62
1,95	0,589	53,95	-44,27	24,04	59,51
2,15	0,785	34,36	-49,04	21,41	39,54
2,34	0,982	22,44	-45,47	18,58	27,20
2,54	1,178	15,25	-39,55	16,34	19,75
2,73	1,374	10,45	-33,48	13,90	14,48
2,93	1,571	7,34	-28,02	11,98	11,02
3,13	1,767	5,05	-23,38	10,05	8,25
3,32	1,964	3,49	-19,55	8,61	6,35
3,52	2,160	2,23	-16,41	7,22	4,70
3,72	2,356	1,35	-13,84	6,22	3,57
3,91	2,553	0,59	-11,75	5,24	2,51
4,11	2,749	0,05	-10,02	4,55	1,80
4,31	2,945	-0,43	-8,59	3,85	1,10
4,50	3,142	-0,76	-7,40	3,37	0,65
4,70	3,338	-1,08	-6,40	2,87	0,17
4,89	3,534	-1,29	-5,55	2,52	0,00

Tabela H.148 - Cálculo do dano individual e acumulado na fibra inferior da base para $z=0,23m$ no eixo y.

y_{real}	$y_{relativo}$	$\Delta D_{individual}$	$\Delta D_{acumulado}$
-2,17	-3,534	3,987E-17	0,000
-1,98	-3,338	4,043E-16	0,000
-1,78	-3,142	2,940E-15	0,000
-1,59	-2,945	2,405E-14	0,000
-1,39	-2,749	1,681E-13	0,000
-1,19	-2,553	1,313E-12	0,000
-1,00	-2,356	9,848E-12	0,000
-0,80	-2,160	8,849E-11	0,000
-0,60	-1,964	9,076E-10	0,000
-0,41	-1,767	1,282E-08	0,000
-0,21	-1,571	2,357E-07	0,005
-0,01	-1,374	4,979E-06	0,105
0,18	-1,178	3,676E-05	0,778
0,38	-0,982	1,610E-05	0,340
0,57	-0,785	3,738E-06	0,079
0,77	-0,589	1,260E-06	0,027
0,97	-0,393	2,369E-06	0,050
1,16	-0,196	1,142E-05	0,241
1,36	0,000	3,781E-05	0,800
1,56	0,196	1,062E-05	0,225
1,75	0,393	6,048E-07	0,013
1,95	0,589	2,873E-08	0,001
2,15	0,785	1,972E-09	0,000
2,34	0,982	1,676E-10	0,000
2,54	1,178	1,917E-11	0,000
2,73	1,374	2,288E-12	0,000
2,93	1,571	3,258E-13	0,000
3,13	1,767	4,069E-14	0,000
3,32	1,964	6,156E-15	0,000
3,52	2,160	6,793E-16	0,000
3,72	2,356	1,021E-16	0,000
3,91	2,553	7,825E-18	0,000
4,11	2,749	9,754E-19	0,000
4,31	2,945	2,771E-20	0,000
4,50	3,142	1,290E-21	0,000
4,70	3,338	2,444E-25	0,000
4,89	3,534	0,000E+00	0,000

I.b - Dano na base com varredura transversal

Tabela H.149 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal para $y'=0,00m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	ΔD_{Pj}
-2,17	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	3,99E-17	0,00E+00
-1,98	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	4,04E-16	0,00E+00
-1,78	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	2,94E-15	0,00E+00
-1,59	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	2,40E-14	0,00E+00
-1,39	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	1,68E-13	2,20E-17
-1,19	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,31E-12	4,32E-16
-1,00	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,85E-12	7,56E-15
-0,80	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	8,85E-11	1,49E-13
-0,60	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	9,08E-10	3,13E-12
-0,41	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,28E-08	8,46E-11
-0,21	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	2,36E-07	2,78E-09
-0,01	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	4,98E-06	9,74E-08
0,18	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,68E-05	1,12E-06
0,38	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,61E-05	7,16E-07

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
0,57	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	3,74E-06	2,26E-07
0,77	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,26E-06	9,67E-08
0,97	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,37E-06	2,15E-07
1,16	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,14E-05	1,15E-06
1,36	0,000	-0,131	0,131	0,104	3,78E-05	3,94E-06
1,56	0,196	0,131	0,393	0,101	1,06E-05	1,07E-06
1,75	0,393	0,393	0,655	0,091	6,05E-07	5,50E-08
1,95	0,589	0,654	0,916	0,077	2,87E-08	2,20E-09
2,15	0,785	0,916	1,178	0,060	1,97E-09	1,19E-10
2,34	0,982	1,178	1,440	0,044	1,68E-10	7,45E-12
2,54	1,178	1,440	1,702	0,031	1,92E-11	5,86E-13
2,73	1,374	1,702	1,964	0,020	2,29E-12	4,47E-14
2,93	1,571	1,963	2,225	0,012	3,26E-13	3,84E-15
3,13	1,767	2,225	2,487	0,007	4,07E-14	2,69E-16
3,32	1,964	2,487	2,749	0,003	6,16E-15	2,13E-17
3,52	2,160	2,749	3,011	0,002	6,79E-16	1,15E-18
3,72	2,356	3,011	3,272	0,001	1,02E-16	7,84E-20
3,91	2,553	3,272	3,534	0,000	7,83E-18	2,58E-21
4,11	2,749	3,534	3,796	0,000	9,75E-19	1,28E-22
4,31	2,945	3,796	4,058	0,000	2,77E-20	0,00E+00
4,50	3,142	4,058	4,320	0,000	1,29E-21	0,00E+00
4,70	3,338	4,320	4,581	0,000	2,44E-25	0,00E+00
4,89	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.150 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal para $y' = 0,589m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-2,17	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	3,99E-17	0,00E+00
-1,98	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	4,04E-16	0,00E+00
-1,78	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	2,94E-15	0,00E+00
-1,59	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	2,40E-14	0,00E+00
-1,39	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	1,68E-13	0,00E+00
-1,19	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	1,31E-12	0,00E+00
-1,00	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	9,85E-12	0,00E+00
-0,80	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	8,85E-11	1,16E-14
-0,60	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	9,08E-10	2,99E-13
-0,41	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,28E-08	9,85E-12
-0,21	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	2,36E-07	3,98E-10
-0,01	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	4,98E-06	1,72E-08
0,18	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	3,68E-05	2,43E-07
0,38	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,61E-05	1,90E-07
0,57	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	3,74E-06	7,31E-08
0,77	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	1,26E-06	3,85E-08
0,97	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	2,37E-06	1,05E-07
1,16	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,14E-05	6,90E-07
1,36	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	3,78E-05	2,90E-06
1,56	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	1,06E-05	9,65E-07
1,75	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	6,05E-07	6,09E-08
1,95	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,87E-08	2,99E-09
2,15	0,196	0,131	0,393	0,101	1,97E-09	1,99E-10
2,34	0,393	0,393	0,655	0,091	1,68E-10	1,52E-11
2,54	0,589	0,655	0,916	0,077	1,92E-11	1,47E-12
2,73	0,785	0,916	1,178	0,060	2,29E-12	1,38E-13
2,93	0,982	1,178	1,440	0,044	3,26E-13	1,45E-14
3,13	1,178	1,440	1,702	0,031	4,07E-14	1,24E-15
3,32	1,374	1,702	1,964	0,020	6,16E-15	1,20E-16
3,52	1,571	1,963	2,225	0,012	6,79E-16	8,00E-18
3,72	1,767	2,225	2,487	0,007	1,02E-16	6,74E-19

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
3,91	1,963	2,487	2,749	0,003	7,83E-18	2,70E-20
4,11	2,160	2,749	3,011	0,002	9,75E-19	1,65E-21
4,31	2,356	3,011	3,272	0,001	2,77E-20	2,13E-23
4,50	2,553	3,272	3,534	0,000	1,29E-21	4,25E-25
4,70	2,749	3,534	3,796	0,000	2,44E-25	3,20E-29
4,89	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.151 - Cálculo do dano acumulado na fibra inferior da base com variação transversal para $y'=1,12m$.

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-2,17	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	3,99E-17	0,00E+00
-1,98	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	4,04E-16	0,00E+00
-1,78	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	2,94E-15	0,00E+00
-1,59	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	2,40E-14	0,00E+00
-1,39	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	1,68E-13	2,20E-17
-1,19	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	1,31E-12	4,32E-16
-1,00	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	9,85E-12	7,56E-15
-0,80	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	8,85E-11	1,49E-13
-0,60	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	9,08E-10	3,13E-12
-0,41	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,28E-08	8,46E-11
-0,21	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	2,36E-07	2,78E-09
-0,01	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	4,98E-06	9,74E-08
0,18	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	3,68E-05	1,12E-06
0,38	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,61E-05	7,16E-07
0,57	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	3,74E-06	2,26E-07
0,77	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	1,26E-06	9,67E-08
0,97	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	2,37E-06	2,15E-07
1,16	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,14E-05	1,15E-06
1,36	0,000	-0,131	0,131	0,104	3,78E-05	3,94E-06
1,56	0,196	0,131	0,393	0,101	1,06E-05	1,07E-06
1,75	0,393	0,393	0,655	0,091	6,05E-07	5,50E-08
1,95	0,589	0,654	0,916	0,077	2,87E-08	2,20E-09
2,15	0,785	0,916	1,178	0,060	1,97E-09	1,19E-10
2,34	0,982	1,178	1,440	0,044	1,68E-10	7,45E-12
2,54	1,178	1,440	1,702	0,031	1,92E-11	5,86E-13
2,73	1,374	1,702	1,964	0,020	2,29E-12	4,47E-14
2,93	1,571	1,963	2,225	0,012	3,26E-13	3,84E-15
3,13	1,767	2,225	2,487	0,007	4,07E-14	2,69E-16
3,32	1,964	2,487	2,749	0,003	6,16E-15	2,13E-17
3,52	2,160	2,749	3,011	0,002	6,79E-16	1,15E-18
3,72	2,356	3,011	3,272	0,001	1,02E-16	7,84E-20
3,91	2,553	3,272	3,534	0,000	7,83E-18	2,58E-21
4,11	2,749	3,534	3,796	0,000	9,75E-19	1,28E-22
4,31	2,945	3,796	4,058	0,000	2,77E-20	0,00E+00
4,50	3,142	4,058	4,320	0,000	1,29E-21	0,00E+00
4,70	3,338	4,320	4,581	0,000	2,44E-25	0,00E+00
4,89	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

I.c - Dano na plataforma sem varredura transversal

Tabela H.152 - Cálculo da deformação máxima ϵ_{zz} no topo da plataforma.

y_{real}	$y_{relativo}$	$x=-1,47$	$x=-0,73$	$x=0,00$	$x=0,73$	$x=1,47$
-1,78	-3,142	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,59	-2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,39	-2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,19	-2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,00	-2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

y _{real}	y _{relativo}	x=-1,47	x=-0,73	x=0,00	x=0,73	x=1,47
-0,80	-2,160	1,17	0,00	6,34	0,00	1,17
-0,60	-1,964	16,50	9,95	23,18	9,95	16,50
-0,41	-1,767	49,32	26,83	56,98	26,83	49,32
-0,21	-1,571	121,01	53,01	127,47	53,01	121,01
-0,01	-1,374	287,73	91,27	286,52	91,27	287,73
0,18	-1,178	478,48	127,95	466,29	127,95	478,48
0,38	-0,982	432,79	124,97	425,68	124,97	432,79
0,57	-0,785	236,50	97,52	243,47	97,52	236,50
0,77	-0,589	160,51	84,91	172,64	84,91	160,51
0,97	-0,393	199,75	91,73	209,23	91,73	199,75
1,16	-0,196	374,67	117,02	371,99	117,02	374,67
1,36	0,000	492,34	131,83	479,65	131,83	492,34
1,56	0,196	357,83	104,31	352,72	104,31	357,83
1,75	0,393	156,44	62,93	161,60	62,93	156,44
1,95	0,589	64,88	33,49	72,54	33,49	64,88
2,15	0,785	23,73	14,12	30,80	14,12	23,73
2,34	0,982	4,53	2,29	10,15	2,29	4,53
2,54	1,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,73	1,374	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,93	1,571	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,13	1,767	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,32	1,964	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,52	2,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,72	2,356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,91	2,553	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,11	2,749	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,31	2,945	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela H.153 - Cálculo do dano individual e acumulado no topo da plataforma para z=0,23m no eixo y.

y _{real}	y _{relativo}	$\Delta D_{\text{individual}}$	$\Delta D_{\text{acumulado}}$
-1,78	-3,142	0,000E+00	0,0000000
-1,59	-2,945	0,000E+00	0,0000000
-1,39	-2,749	0,000E+00	0,0000000
-1,19	-2,553	0,000E+00	0,0000000
-1,00	-2,356	0,000E+00	0,0000000
-0,80	-2,160	4,911E-16	0,0000000
-0,60	-1,964	2,002E-13	0,0000000
-0,41	-1,767	1,428E-11	0,0000003
-0,21	-1,571	6,372E-10	0,0000135
-0,01	-1,374	2,771E-08	0,0005860
0,18	-1,178	2,611E-07	0,0055220
0,38	-0,982	1,694E-07	0,0035837
0,57	-0,785	1,231E-08	0,0002604
0,77	-0,589	2,365E-09	0,0000500
0,97	-0,393	5,976E-09	0,0001264
1,16	-0,196	9,032E-08	0,0019102
1,36	0,000	2,967E-07	0,0062752
1,56	0,196	7,233E-08	0,0015299
1,75	0,393	1,934E-09	0,0000409
1,95	0,589	4,478E-11	0,0000009
2,15	0,785	7,707E-13	0,0000000
2,34	0,982	4,182E-15	0,0000000
2,54	1,178	0,000E+00	0,0000000
2,73	1,374	0,000E+00	0,0000000
2,93	1,571	0,000E+00	0,0000000
3,13	1,767	0,000E+00	0,0000000
3,32	1,964	0,000E+00	0,0000000

Y real	Y relativo	ΔD individual	ΔD acumulado
3,52	2,160	0,000E+00	0,0000000
3,72	2,356	0,000E+00	0,0000000
3,91	2,553	0,000E+00	0,0000000
4,11	2,749	0,000E+00	0,0000000
4,31	2,945	0,000E+00	0,0000000

I.d - Dano na plataforma com varredura transversal

Tabela H.154 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y'=0,00m$.

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
-2,17	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,98	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,78	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,59	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,39	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,19	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,00	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,80	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	4,91E-16	8,28E-19
-0,60	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	2,00E-13	6,91E-16
-0,41	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,43E-11	9,43E-14
-0,21	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	6,37E-10	7,51E-12
-0,01	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,77E-08	5,42E-10
0,18	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,61E-07	7,98E-09
0,38	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,69E-07	7,53E-09
0,57	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,23E-08	7,44E-10
0,77	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,36E-09	1,81E-10
0,97	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	5,98E-09	5,43E-10
1,16	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	9,03E-08	9,10E-09
1,36	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,97E-07	3,09E-08
1,56	0,196	0,131	0,393	0,101	7,23E-08	7,29E-09
1,75	0,393	0,393	0,655	0,091	1,93E-09	1,76E-10
1,95	0,589	0,654	0,916	0,077	4,48E-11	3,44E-12
2,15	0,785	0,916	1,178	0,060	7,71E-13	4,66E-14
2,34	0,982	1,178	1,440	0,044	4,18E-15	1,86E-16
2,54	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
2,73	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
2,93	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,13	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,32	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
3,52	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
3,72	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
3,91	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,11	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,31	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,50	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,70	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,89	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.155 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y'=0,589m$.

Y real	Y bal	Y ₁	Y ₂	Pj	ΔD	ΔD Pj
-2,17	-4,123	-5,629	-5,367	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,98	-3,927	-5,367	-5,105	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,78	-3,731	-5,105	-4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,59	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,39	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,19	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00


y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-1,00	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-0,80	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	4,91E-16	6,44E-20
-0,60	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	2,00E-13	6,59E-17
-0,41	-2,356	-3,273	-3,011	0,001	1,43E-11	1,10E-14
-0,21	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	6,37E-10	1,07E-12
-0,01	-1,963	-2,749	-2,487	0,003	2,77E-08	9,57E-11
0,18	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	2,61E-07	1,72E-09
0,38	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	1,69E-07	2,00E-09
0,57	-1,374	-1,963	-1,702	0,020	1,23E-08	2,41E-10
0,77	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,36E-09	7,23E-11
0,97	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	5,98E-09	2,66E-10
1,16	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	9,03E-08	5,46E-09
1,36	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,97E-07	2,28E-08
1,56	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	7,23E-08	6,58E-09
1,75	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	1,93E-09	1,95E-10
1,95	0,000	-0,131	0,131	0,104	4,48E-11	4,67E-12
2,15	0,196	0,131	0,393	0,101	7,71E-13	7,76E-14
2,34	0,393	0,393	0,655	0,091	4,18E-15	3,80E-16
2,54	0,589	0,655	0,916	0,077	0,00E+00	0,00E+00
2,73	0,785	0,916	1,178	0,060	0,00E+00	0,00E+00
2,93	0,982	1,178	1,440	0,044	0,00E+00	0,00E+00
3,13	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
3,32	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
3,52	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,72	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,91	1,963	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
4,11	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
4,31	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
4,50	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,70	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,89	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela H.156 - Cálculo do dano acumulado no topo da plataforma com variação transversal para $y=1,12m$.


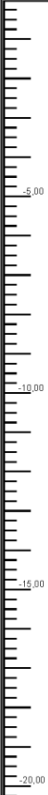

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
-2,17	-3,534	-4,843	-4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,98	-3,338	-4,581	-4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,78	-3,142	-4,320	-4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,59	-2,945	-4,058	-3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,39	-2,749	-3,796	-3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,19	-2,553	-3,534	-3,272	0,000	0,00E+00	0,00E+00
-1,00	-2,356	-3,272	-3,011	0,001	0,00E+00	0,00E+00
-0,80	-2,160	-3,011	-2,749	0,002	4,91E-16	8,28E-19
-0,60	-1,964	-2,749	-2,487	0,003	2,00E-13	6,91E-16
-0,41	-1,767	-2,487	-2,225	0,007	1,43E-11	9,43E-14
-0,21	-1,571	-2,225	-1,963	0,012	6,37E-10	7,51E-12
-0,01	-1,374	-1,964	-1,702	0,020	2,77E-08	5,42E-10
0,18	-1,178	-1,702	-1,440	0,031	2,61E-07	7,98E-09
0,38	-0,982	-1,440	-1,178	0,044	1,69E-07	7,53E-09
0,57	-0,785	-1,178	-0,916	0,060	1,23E-08	7,44E-10
0,77	-0,589	-0,916	-0,654	0,077	2,36E-09	1,81E-10
0,97	-0,393	-0,655	-0,393	0,091	5,98E-09	5,43E-10
1,16	-0,196	-0,393	-0,131	0,101	9,03E-08	9,10E-09
1,36	0,000	-0,131	0,131	0,104	2,97E-07	3,09E-08
1,56	0,196	0,131	0,393	0,101	7,23E-08	7,29E-09
1,75	0,393	0,393	0,655	0,091	1,93E-09	1,76E-10
1,95	0,589	0,654	0,916	0,077	4,48E-11	3,44E-12
2,15	0,785	0,916	1,178	0,060	7,71E-13	4,66E-14

y_{real}	y_{bal}	y_1	y_2	P_j	ΔD	$\Delta D P_j$
2,34	0,982	1,178	1,440	0,044	4,18E-15	1,86E-16
2,54	1,178	1,440	1,702	0,031	0,00E+00	0,00E+00
2,73	1,374	1,702	1,964	0,020	0,00E+00	0,00E+00
2,93	1,571	1,963	2,225	0,012	0,00E+00	0,00E+00
3,13	1,767	2,225	2,487	0,007	0,00E+00	0,00E+00
3,32	1,964	2,487	2,749	0,003	0,00E+00	0,00E+00
3,52	2,160	2,749	3,011	0,002	0,00E+00	0,00E+00
3,72	2,356	3,011	3,272	0,001	0,00E+00	0,00E+00
3,91	2,553	3,272	3,534	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,11	2,749	3,534	3,796	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,31	2,945	3,796	4,058	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,50	3,142	4,058	4,320	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,70	3,338	4,320	4,581	0,000	0,00E+00	0,00E+00
4,89	3,534	4,581	4,843	0,000	0,00E+00	0,00E+00


ANEXO A - Sondagens à Percussão SP-01

FURO		SP 01		PERFIL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						FOLHA 01/01					
		CLIENTE		Glauciano Neckel						CONTRATO		104-16			
		LOCAL		Rod. Municipal Rainha de Baixo, s/nº. Araquari/SC (Próximidades Trado 01)						INÍCIO		28/08/2016			
OBRA		Estudo do Subleito		COORD.		729555.44 E 7084228.57 N				TÉRMINO		28/08/2016			
COTA (m) (ESCALA 1:100)		AVANÇO/REVESTIMENTO (m)		NÍVEL D'ÁGUA (m)		PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)		PERFIL GEOLÓGICO / AMOSTRAS		DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DO MATERIAL		RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO N _{SP} T	
												1º 2º 3º 1º e 2º 2º e 3º		10 20 30 40	
TC CA Data: 29/08/2016 0.90						-0.93		01		Aterro: Areia alta, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Marrom.		1 4 4		8	
						-0.96		02		Aterro: Silte arenoso, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Preta.		15 15 15			
						-1.30		03		Aterro: Areia fina, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Branca.		3 10 28		38	
								04		Silte argiloso, homogêneo (solo sedimentar). Consist. média. Cor: Preta.		15 15 15			
								05		Areia fina siltsosa, homogênea (solo sedimentar), compacta. Cor: Marrom escura.		30 ^[1]		-	
						-4.10		06				12		30/12	
								07		Areia média à grossa (solo sedimentar), pouco à medianamente compacta. Cor: Marrom.		2 5 14		7 19	
								08				15 15 15			
								09				3 4 6		7 10	
								10				15 15 15			
								11				1 3 4		4 7	
								12				15 15 15			
								13				2 4 2		6 6	
								14				15 15 15			
								15							
								16							
								17							
								18							
								19							
								20							
								21							
								22							
								23							
								24							
								25							
								26							
								27							
								28							
								29							
								30							
								31							
								32							
								33							
								34							
								35							
								36							
								37							
								38							
								39							
								40							
								41							
								42							
								43							
								44							
								45							
								46							
								47							
								48							
								49							
								50							
								51							
								52							
								53							
								54							
								55							
								56							
								57							
								58							
								59							
								60							
								61							
								62							
								63							
								64							
								65							
								66							
								67							
								68							
								69							
								70							
								71							
								72							
								73							
								74							
								75							
								76							
								77							
								78							
								79							
								80							
								81							
								82							
								83							
								84							
								85							
								86							
								87							
								88							
								89							
								90							
								91							
								92							
								93							
								94							
								95							
								96							
								97							
								98							
								99							
								100							
								101							
								102							
								103							
								104							
								105							
								106							
								107							
								108							
								109							
								110							
								111							
								112							
								113							
								114							
								115							
								116							
								117							
								118							
								119							
								120							
								121							
								122							
								123							
								124							
								125							
								126							
								127							
								128							
								129							
								130							
								131							
								132							
								133							
								134							
								135							
								136							
								137							
								138							
								139							
								140							
								141							
								142							
								143							
								144							
								145							
								146							
								147							
								148							
								149							
								150							
								151							
								152							

ANEXO B - Sondagens à Percussão SP-02

FURO		SP 02				PERFIL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO					FOLHA												
		CLIENTE					GLAUCIANO NECKEL					01/01											
		LOCAL					Rod. Municipal Rainha de Baixo, s/n°, Araquari/SC (Próximidades Trado 02)					CONTRATO		104-16									
		OBRA					Estudo do subleito					COORD. 730028.43 E 7064958.67 N					INÍCIO		27/08/2016				
												TÉRMINO					27/08/2016						
																	COTA (m)					18.00	
COTA (m) (ESCALA 1:100)	AVANÇO/REVESTIMENTO (m)	NÍVEL D'ÁGUA (m)	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	PERFIL GEOLÓGICO / AMOSTRAS	DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DO MATERIAL	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO					GRÁFICO N ^o SPT												
						1°	2°	3°	1° e 2°	2° e 3°	10	20	30	40									
		1.38 Data: 29/08/2016	0.45	01	Aterro: Área siltosa, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Cinza	1																	
			1.45	02	Argila orgânica (turfa), homogêneo (solo sedimentar), consist. Muito mole. Cor: Preta	4	19	30 ⁽¹⁾	1														
			2.00	03	Área fina siltosa, homogêneo (solo sedimentar). Cor: Preta	15	15	11	23														
			3.50	04	Área fina siltosa, homogênea (solo sedimentar), muito compacta. Cor: Marrom escuro.	16	30	30 ⁽¹⁾	30														
				05	Área fina à média, homogêneo (solo sedimentar), pouco compacta à compacta. Cor: Marrom.	6	11	17	17														
				06		15	15	15	17														
						3	5	8	8														
			1	2	4	13																	
			15	15	15	3																	
					LIMITE DA SONDAGEM (m) -6.45																		
					MOTIVO: Limite da área de estudo.																		

ENSAIO DE LAVAGEM				NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO			LEGENDA		
PERÍODO	DE (m)	A (m)	AVANÇO (m)	PROF (m)	DATA	HORA	TI	TRADO IPT	
				INICIAL	-1.40	27/08/2016	10:35	TC	TRADO CONCHA
				15'	-1.35	27/08/2016	10:49	TE	TRADO ESPIRAL
				FINAL	-1.38	29/08/2016	18:00	TH	TRADO HELICOIDAL

PROFUNDIDADE REVESTIMENTO (m)		NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO		EQUIPE		RESPONSÁVEL TÉCNICO	
	-3.50	<input checked="" type="checkbox"/>	LAMA BENTONÍTICA	SONDADOR	VAGNER	 Eng. Ezequias Borges de Oliveira	
EQUIPAMENTO				AUXILIAR 1	GERALDO		
REVESTIMENTO Ø -	66.5 mm	PESO DO MARTELO -	65 Kg	AUXILIAR 2	EZEQUIAS		
AMOSTRADOR Ø INTERNO -	34.9 mm	ALTURA DE QUEDA -	75 cm				
AMOSTRADOR Ø EXTERNO -	50.8 mm						

OBS.: ANR: Amostra Não Recuperada. Classificação realizada pelo material obtido na bica de Lavagem.
 [1] - Interrompido segundo critério 6.3.12 (a) NBR 6484:2001.

ANEXO C - Sondagens à Trado

Sondagem a Trado - 01

Projeto:	Registro:
Local:	Ordem de Serviço:
Elaboração:	Laboratorista:

IDENTIFICAÇÃO	
Nº	
Data	
Latitude	26°31'27.25"S
Longitude	48°41'47.00"O
Prof. NA (Inst.)	
Prof. NA (24h)	

Camadas e classificação dos materiais:	Espessuras:
Areia Amarela	0,00 a 0,10 0,10 m
Areia Branca	0,10 a 0,30 0,20 m
Areia Preta	0,30 a 1,20 0,90 m
Limite da sondagem a trado (1,20m)	Total 1,20 m

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Local



Material 01



Material 02



Material 03

Sondagem a Trado - 02

Projeto:

Registro:

Local:

Ordem de Serviço:

Elaboração:

Laboratorista:

IDENTIFICAÇÃO	
Nº	
Data	
Latitude	28°31'1.84"S
Longitude	48°41'21.27"O
Prof. NA (Inst.)	
Prof. NA (24h)	

Camadas e classificação dos materiais:	Espessuras:	
Areia Amarela	0,00 a 0,30	0,30 m
Areia Branca	0,30 a 0,80	0,50 m
Areia Preta	0,80 a 1,90	1,10 m
Limite da sondagem a trado (1,90m)	Total	1,90 m

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Local



Material 01



Material 02



Material 03

Poço de Inspeção - Coleta de Amostra

Projeto:	Registro:
Local:	Ordem de Serviço:
Elaboração:	Laboratorista:

IDENTIFICAÇÃO	
Nº	
Data	
Latitude	26°31'27.49"
Longitude	48°41'47.11"O
Prof. NA (Inst.)	
Prof. NA (24h)	

Camadas e classificação dos materiais:	Espessuras:	
Areia Amarela	0,00 a 0,30	0,30 m
Areia Branca	0,30 a 0,50	0,20 m
Areia Preta	0,50 a 0,80	0,30 m
Limite do poço de inspeção (0,80m)	Total	0,80 m

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Local



Perfil

ANEXO D - Ensaios de Caracterização



GEOFORMA
Engenharia Ltda.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA COM SEDIMENTAÇÃO - NBR 7181

RE 694 - 07/16

Cliente: **ACADÊMICO GLAUCIANO NECKEL**

Amostra: **AM 01 - Areia cinza escuro**

Meio dispersor: **Hexametáfosfato de Sódio** Obs:

Data: **26/07/16**

Análise Granulométrica					Peneiramento Grosso					
					Peneiras		Retido (g)	Acumulado (g)	% que passa	
		Pol.	mm							
Massa Total da Amostra Seca ao Ar (Mt):		1000,00			25,000	0,00	0,00	100,00		
Massa Total da Amostra Seca (Ms):		939,39			19,000	0,00	0,00	100,00		
Massa de Material Seco Retido na 2,0 mm (Ml):		0,16			3/8*	9,520	0,00	100,00		
Massa de Material Seco ao Ar que Passa na 2,0 mm (Mh):		120,06			4	4,760	0,15	99,98		
					10	2,000	0,01	0,16		
					Peneiramento Fino					
Umidade Higroscópica					Peneiras					
Cápsula nº	95	85	60		Pol.	mm	Retido (g)	Acumulado (g)	% que passa	
Tara (g)	8,14	7,92	7,92							
Tara + Solo + Água (g)	34,58	36,46	34,78		16	1,190	0,00	0,00	99,98	
Tara + Solo (g)	32,97	34,74	33,15		30	0,590	0,77	0,77	99,30	
Massa Água (g)	1,61	1,72	1,63		40	0,420	0,58	1,35	98,79	
Massa Solo (g)	24,83	26,82	25,23		50	0,290	6,65	8,00	92,89	
Umidade (%)	6,48	6,41	6,46		100	0,149	55,04	63,04	44,10	
Umidade Média (%)	6,45				200	0,074	23,70	86,74	23,09	
Ensaio de Sedimentação		Data inicial:	28/07/16			Densímetro nº:	01			
		Hora inicial:	8:56:00			Proveta nº:	01			
Data	Hora	Tempo (s)	Temp (°C)	Leitura	id	Alt. queda (cm)	viscosidade	φ grão	% em suspensão	
28/07/16	8:56:30	30	16,0	1,0256	1,0106	12,78	1,12E-05	0,074	21,70	
28/07/16	8:57:00	60	16,0	1,0199	1,0106	13,84	1,12E-05	0,054	13,46	
28/07/16	8:58:00	120	16,0	1,0164	1,0106	14,50	1,12E-05	0,039	8,39	
28/07/16	9:00:00	240	16,0	1,0135	1,0106	14,24	1,12E-05	0,028	4,20	
28/07/16	9:04:00	480	16,0	1,0128	1,0106	14,37	1,12E-05	0,020	3,18	
28/07/16	9:11:00	900	16,0	1,0122	1,0106	14,48	1,12E-05	0,014	2,32	
28/07/16	9:26:00	1800	16,0	1,0115	1,0106	14,61	1,12E-05	0,010	1,30	
28/07/16	9:56:00	3600	16,0	1,0110	1,0106	14,71	1,12E-05	0,007	0,58	
28/07/16	10:56:00	7200	16,0	1,0106	1,0106	14,78	1,12E-05	0,005	0,00	
28/07/16	12:56:00	14400	16,0	1,0099	1,0106	14,91	1,12E-05	0,004	0,00	
28/07/16	16:56:00	28800	16,0	1,0095	1,0106	14,99	1,12E-05	0,003	0,00	
29/07/16	8:56:00	86400	15,0	1,0089	1,0109	15,10	1,16E-05	0,002	0,00	
Obs: As últimas leituras não foram calculadas pois representavam apenas a densidade do meio dispersor e as amostras já encontravam-se sedimentadas.										
Umidade Higroscópica					Massa Específica Real dos Grãos					
Cápsula nº	16	47	30		nº do Picnômetro	49	19	20	24	78
Tara (g)	7,73	8,25	7,87		Massa Solo + Água (g)	60,13	60,05	60,10	60,13	60,16
Tara + Solo + Água (g)	29,80	30,01	25,09		Massa do Solo Seco (g) (Ws)	56,15	56,08	56,13	56,15	56,18
Tara + Solo (g)	28,39	28,55	23,93		Massa Pic+Solo+Água (g) (W2)	670,33	663,39	678,84	675,96	676,63
Massa Água (g)	1,41	1,46	1,16		Massa Pic+Água(g) (W1)	635,89	629,08	644,49	641,70	642,19
Massa Solo (g)	20,66	20,30	16,06		Temperatura (°C)	18	18	18	18	18
Umidade (%)	6,82	7,19	7,22		γ _s	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986
Umidade Média (%)	7,08				Massa esp. dos grãos-ís (g/cm³)	2,582	2,572	2,574	2,561	2,580
					G (médio)	2,582				



GEOFORMA
Engenharia Ltda.

SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180

SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

RE 694 - 07/16

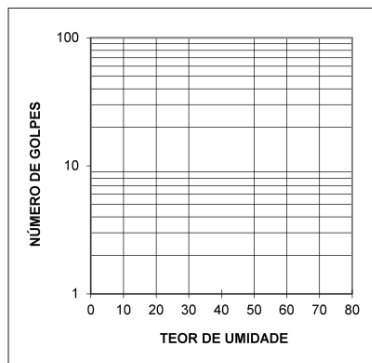
Cliente: **ACADÊMICO GLAUCIANO NECKEL**
 Amostra: **AM 01 - Areia cinza escuro**
 Data: **26/07/16**

ENSAIOS FÍSICOS

	LIMITE DE LIQUIDEZ				LIMITE DE PLASTICIDADE			
Cápsula nº								
Cápsula + Solo Úmido (g)								
Cápsula + Solo Seco (g)								
Peso da Cápsula (g)			NL				NP	
Peso da Água (g)	<i>Não apresenta limite de liquidez</i>				<i>Não apresenta limite de plasticidade</i>			
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Número de Golpes								

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
		-





MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G" - NBR 6508

RE 694 - 07/16

Cliente: ACADÊMICO GLAUCIANO NECKEL
Amostra: AM 01 - Areia cinza escuro
Data: 26/7/16
Método de remoção de Ar: Bomba de Vácuo

G					
Picnômetro N°	49	19	20	24	78
Massa Solo + Água (g)	60,13	60,05	60,10	60,13	60,16
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	56,15	56,08	56,13	56,15	56,18
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	670,33	663,39	678,84	675,96	676,63
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	635,89	629,08	644,49	641,70	642,19
Temperatura (°C)	18	18	18	18	18
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,582	2,572	2,574	2,561	2,580
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,577				
Densidade dos grãos - G	2,582				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	16	47	30
Tara (g)	7,730	8,250	7,870
Tara + Solo + Água (g)	29,800	30,010	25,090
Tara + Solo (g)	28,390	28,550	23,930
Massa Água (g)	1,410	1,460	1,160
Massa Solo (g)	20,660	20,300	16,060
Umidade (%)	6,8248	7,1921	7,2229
Umidade Média (%)	7,08		