

Michel Machado Gomes

**MODELAGEM, ANÁLISE E PROPOSTA DE RETROFIT  
DO LABORATÓRIO DE PLANEJAMENTO DE  
SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
submetido ao Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a ob-  
tenção do Grau de Bacharel em En-  
genharia Elétrica.  
Orientador: Prof. Diego Issicaba, PhD

Florianópolis

2019



Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gomes, Michel  
Modelagem, Análise e Proposta de Retrofit do  
Laboratório de Planejamento de Sistemas Elétricos /  
Michel Gomes ; orientador, Diego Issicaba, 2019.  
158 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica,  
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Eficiência  
Energética. 3. Projeto Luminotécnico. 4. Projeto de  
Climatização. I. Issicaba, Diego. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Elétrica. III. Título.

Michel Machado Gomes

**Modelagem, Análise e Proposta de Retrofit do Laboratório de  
Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica**

Este Trabalho foi julgado adequado como parte dos requisitos para  
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado, em  
sua forma final, pela Banca Examinadora

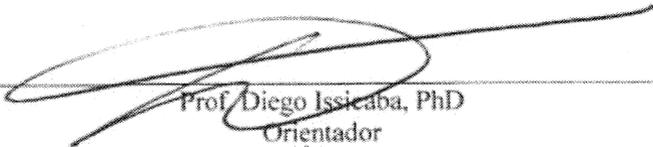
Florianópolis, 09 de julho de 2019



---

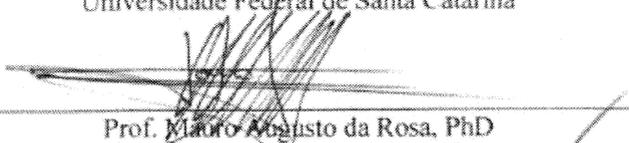
Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, em  
exercício

**Banca Examinadora:**



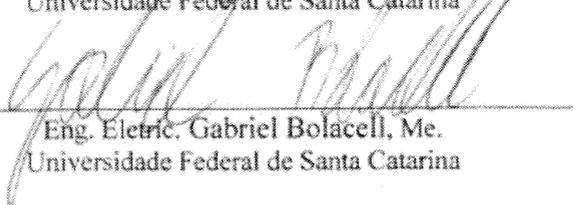
---

Prof. Diego Issicaba, PhD  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Mauro Augusto da Rosa, PhD  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Eng. Elétric. Gabriel Bolacell, Me.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a Noeli Lucia Pires, Adalberto Antão da Cunha, Giovana Pires da Cunha e Aracely Pires da Cunha, que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que chegasse até esta etapa de minha vida.



## AGRADECIMENTOS

Ao meu grande amigo Pedro Coeli Carl que me apoiou durante toda esta jornada até aqui, me motivando e compartilhando os bons e maus momentos ao meu lado.

Aos amigos colegas, pelas experiências compartilhadas durante todos esses anos, pelos momentos estressantes que passamos juntos estudando e principalmente pelos ótimos momentos que passamos durante esta jornada.

Ao professor Diego Issicaba, por toda sua paciência durante a orientação e por me dar a oportunidade de realizar este trabalho, me motivando e incentivando e que possibilitaram a realização deste trabalho possível.

Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante a graduação.

Ao curso de Engenharia Elétrica, e às pessoas com quem convivi ao longo desses anos.



*“... a mind needs books as a sword needs  
a whetstone, if it is to keep its edge.”*

George R.R. Martin, *A Game of  
Thrones*



## RESUMO

A busca por sistemas energeticamente eficientes tem se tornado cada vez maior, em especial no setor da construção civil. Sabe-se que atualmente as edificações representam aproximadamente 50% de todo o consumo energético do Brasil. As edificações públicas no Brasil representam uma parcela significativa do consumo final de energia do país. Os principais responsáveis pelo consumo energético de uma edificação são o sistema de iluminação artificial e o sistema de climatização, chegando a consumir aproximadamente 70% do consumo total de um edifício. Dessa forma, a procura pela eficientização de edificações tem se tornado mais comum. Dentro desse panorama, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise do atual desempenho energético do LABPLAN através de softwares de simulações energéticas além de avaliar o nível de conforto térmico e visual de seus usuários. Para atingir tal objetivo foi realizado o levantamento das informações da edificação, suas estruturas e características internas, a partir de um modelo tridimensional criado através de informações levantadas. Com base no modelo criado, foi possível avaliar a atual situação do desempenho energético do LABPLAN bem como avaliar as condições de conforto dos usuários. Além disso, através de um modelo de informação da edificação foi possível a implementação de um modelo dinâmico para criação de diversos cenários de análise e buscar melhorar as condições de utilização e sua eficiência. Uma proposta de retrofit foi sugerida, através de uma atualização dos sistemas de iluminação e climatização, sendo possível obter uma economia de aproximadamente 15% de toda energia consumida pelo laboratório e ainda melhorar o desempenho da edificação aumentando o conforto e o bem estar de seus usuários.

**Palavras-chave:** BIM; Climatização; Edificação; Eficiência Energética; Iluminação; Simulações



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ferramentas de modelagem do Revit.....	60
Figura 2	Modelo 2D do Laboratório modelado no Revit.....	60
Figura 3	Modelo tridimensional criado automaticamente pelo Revit.....	61
Figura 4	Modelo Tridimensional de Toda Edificação.....	61
Figura 5	Modelo tridimensional implementado no DIALux EVO	62
Figura 6	Localização do LabPlan obtida através do Google Earth	64
Figura 7	Ângulo de inclinação em relação ao norte obtido através do Google Earth com auxílio do Revit.....	65
Figura 8	Caminho do Sol gerado com base nos dados previstos para o ano de 2019.....	66
Figura 9	Configurações de energia do Revit.....	66
Figura 10	Tabela com os parâmetros de construção usados no modelo de energia.....	67
Figura 11	Gráfico de ocupação do edifício. ....	68
Figura 12	Espaços definidos no Revit.....	68
Figura 13	Parâmetros da análise de energia dos espaços. ....	69
Figura 14	Parâmetros da análise de energia para o tipo de espaço.	69
Figura 15	Modelo de energia gerado pelo Revit.....	70
Figura 16	Configurações para o cálculo de carga térmica dos espaços do modelo de energia.....	71
Figura 17	Informações da localização e temperaturas do projeto..	72
Figura 18	Cargas mensais de aquecimento obtidas através da simulação feita pelo Revit.....	72
Figura 19	Cargas mensais de resfriamento obtidas através da simulação feita pelo Revit.....	73
Figura 20	Fatores de desempenho do edifício considerados para a simulação do Revit.....	75
Figura 21	Consumo de energia anual do LabPlan.....	76
Figura 22	Consumo de energia mensal estimado através da simulação no Revit - Cenário Atual.....	77
Figura 23	Pico de consumo de energia mensal estimado através da simulação no Revit - Cenário Atual.....	77

Figura 24	Temperaturas médias anuais para a região onde se localiza o LabPlan .....	78
Figura 25	Incidência solar média no telhado do edifício onde se encontra o LabPlan .....	79
Figura 26	Configurações realizadas para a análise de potencial de geração fotovoltaica .....	79
Figura 27	Resultados da simulação fotovoltaica realizada pelo Revit	80
Figura 28	Resultados da simulação realizada no Revit .....	81
Figura 29	Modelo 2D com mapeamento de luminárias e inclusão de mobiliário .....	84
Figura 30	Modelo 3D com inserção de luminárias e mobiliários. Parte a.....	85
Figura 31	Modelo 3D com inserção de luminárias e mobiliários. Parte b .....	85
Figura 32	Configuração do perfil de utilização do ambiente.....	87
Figura 33	Planta baixa da recepção com a indicação das áreas de passagens .....	87
Figura 34	Planos de trabalho definidos para realizar a análise ....	88
Figura 35	Resultado da distribuição de iluminância na área de passagem da recepção .....	89
Figura 36	Resultado da distribuição de iluminância do balcão da recepção.....	90
Figura 37	Padrão de utilização do ambiente selecionada para a simulação no DIALux.....	91
Figura 38	Plano de trabalho definido para a Copa.....	91
Figura 39	Resultado da distribuição de iluminância no plano de trabalho definido para a copa.....	92
Figura 40	Plano de trabalho do chão do corredor.....	93
Figura 41	Resultado da distribuição de iluminância no corredor ..	94
Figura 42	Componentes do sistema de iluminação da área de circulação.....	95
Figura 43	Resultados numéricos obtidos através da simulação no DIALux.....	96
Figura 44	Resultados numéricos obtidos através da simulação no DIALux.....	96
Figura 45	Perfil de utilização selecionado para a Sala Multiúso ...	97

Figura 46	Plano de trabalho definido para a sala Multiúso.....	98
Figura 47	Especificações das Luminárias da Sala Multiúso do Lab-Plan. Fonte: Adaptado de Catálogo de Luminárias Lumicenter ...	98
Figura 48	Gráfico de distribuição de Iluminância no plano de trabalho.....	99
Figura 49	Valores calculados pelo <i>software</i> .....	100
Figura 50	Resultado final da simulação da Sala Multiúso .....	101
Figura 51	Planos de trabalho definidos para a sala dos servidores.	101
Figura 52	Componentes do sistema de iluminação da área de circulação.....	102
Figura 53	Perfil de utilização selecionado para a sala do Prof. Diego Issicaba .....	104
Figura 54	Plano de trabalho definido para a sala do Prof. Diego Issicaba .....	104
Figura 55	Resultado obtido na simulação da sala do professor Diego	105
Figura 56	Resultados numéricos obtidos através da simulação no DIALux.....	106
Figura 57	Resultado final da simulação da sala do professor Diego Issicaba .....	106
Figura 58	Luminária utilizada para a simulação.....	107
Figura 59	Lâmpada F032W 840 da OSRAM. Adaptado de Catálogo OSRAM.....	108
Figura 60	Plano de trabalho selecionado para a sala 6.....	108
Figura 61	Resultado da distribuição de iluminância da Sala 6 ...	109
Figura 62	Resultados numéricos obtidos através da simulação no DIALux EVO.....	110
Figura 63	Planos de trabalho definidos para sala 8, 9 e 10.....	111
Figura 64	Resultado da distribuição de iluminância da Sala 8 ...	112
Figura 65	Padrão de distribuição de luz da luminária utilizada na simulação.....	113
Figura 66	Resultado da distribuição de iluminância da Sala 9 ...	114
Figura 67	Resultado da distribuição de iluminância na Sala 10 ...	115
Figura 68	Detalhe das estações de trabalho presentes na sala 12A	116
Figura 69	Planos de trabalho definidos para a sala 12A.....	117
Figura 70	Resultado da distribuição de iluminância na sala 12A ..	118
Figura 71	Resultados numéricos obtidos na simulação realizada no	

DIALux.....	118
Figura 72 Lâmpadas e luminárias utilizadas na sala 12C .....	120
Figura 73 Planos de trabalho definidos para a sala 12C.....	121
Figura 74 Resultado da distribuição de iluminância para a área de passagem da Sala 12C.....	122
Figura 75 Resultado da distribuição de iluminância para o plano de trabalho adicional da Sala 12C .....	122
Figura 76 Resultado da distribuição de iluminância para as estações de trabalho de 1 a 5.....	122
Figura 77 Resultado da distribuição de iluminância para as estações de 6 a 13.....	123
Figura 78 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a recepção.....	128
Figura 79 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a copa.....	129
Figura 80 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para o corredor .....	130
Figura 81 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a copa.....	132
Figura 82 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a copa.....	133
Figura 83 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a sala dos servidores.....	135
Figura 84 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a sala 3.....	136
Figura 85 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para as salas 6 e 10.....	138
Figura 86 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para as salas 8 e 9 .....	139
Figura 87 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a sala 12A.....	141
Figura 88 Resultado final da simulação com o sistema de ilumina- ção proposto para a sala 12C.....	143
Figura 89 Cargas mensais de refrigeração do LabPlan após as alte- rações propostas.....	146
Figura 90 Diferenças de operação entre as tecnologias Inverter x Convencional. Fonte: <a href="http://www.adias.com.br/o-que-e-o-ar-condicionado-inverter">www.adias.com.br/o-que-e-o-ar-condicionado- inverter</a> .....	148

Figura 91 Fatores de desempenho da edificação para a proposta analisada.....	149
Figura 92 Consumo mensal de energia simulado pelo Revit para a análise do sistema proposto.....	150
Figura 93 Resultados de consumo de energia para os dois cenários analisados.....	151



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Refletâncias úteis para as superfícies de um ambiente. Adaptado de NBR 8995-1 (2013) .....	44
Tabela 2	Aparência de cor e sua temperatura correlata. Adaptado da NBR 8995-1 (2013) .....	48
Tabela 3	Materiais e suas propriedades considerados para o modelo. ....	63
Tabela 4	Estimativa de potência dos ambientes do laboratório... ..	64
Tabela 5	Cargas de refrigeração de cada ambiente do laboratório obtido através da simulação feita pelo Revit .....	74
Tabela 6	Levantamento do sistema de iluminação do laboratório .....	82
Tabela 7	Resumo de ambientes, tarefas ou atividades presentes em edifícios de escritórios conforme a NBR 8995-1 (ABNT 2013). Fonte: Adaptada NBR 8995-1 (2013) .....	84
Tabela 8	Relação de ambientes, tipos e funções. ....	86
Tabela 9	Tabela de equipamentos utilizados no projeto. ....	126
Tabela 10	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a recepção. ....	127
Tabela 11	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a copa. ....	129
Tabela 12	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a circulação. ....	130
Tabela 13	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a circulação. ....	131
Tabela 14	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala multiúso. ....	132
Tabela 15	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala multiúso. ....	134
Tabela 16	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para as sala 1, 3, 4, 5 e 7. ....	135
Tabela 17	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 6 .....	137
Tabela 18	Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 8 .....	137
Tabela 19	Comparação dos resultados da simulação atual e da pro-	

posta para a sala 9.....	137
Tabela 20 Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 10.....	137
Tabela 21 Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 12A.....	140
Tabela 22 Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 12C.....	141
Tabela 23 Alterações propostas e alteradas no modelo de energia feito no Revit.....	145
Tabela 24 Alterações propostas e alteradas no modelo de energia feito no Revit.....	146
Tabela 25 Cargas de resfriamento simuladas pelo Revit e cargas de refrigeração dimensionadas para o sistema de climatização.....	147
Tabela 26 Equipamentos de climatização escolhidos para a proposta e suas respectivas potências de refrigeração.....	148

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	<i>Arquitetura, Engenharia e Construção</i>
ASHRAE	<i>American Society Of Heating, Refrigerating And A-C Engineers Fdn</i>
AVAC	
BEN	<i>Balanço Energético Nacional</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CGIEE	<i>Comitê Gestor de Indicadores de Níveis de Eficiência Energética</i>
$E_m$	<i>Iluminância Média</i>
EE	<i>Eficiência Energética</i>
ENCE	<i>Etiqueta Nacional de Conservação de Energia</i>
GT-Edificações	<i>Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações</i>
LabPlan	<i>Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
PBE	<i>Programa Brasileiro de Etiquetagem</i>
UGR	<i>Índice de Ofuscamento Unificado da CIE</i>



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	27
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	27
1.2	JUSTIFICATIVAS .....	29
1.3	OBJETIVOS .....	30
1.3.1	Objetivo Gerais .....	30
1.3.2	Objetivos Específicos .....	30
1.4	ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	31
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E METODOLOGIA UTILIZADA</b> .....	33
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	33
2.2	USO DA ENERGIA EM EDIFICAÇÕES .....	34
2.3	CONCEITOS BÁSICOS DE ILUMINAÇÃO .....	36
2.3.1	Grandezas Fotométricas .....	38
2.3.2	Radiação Solar, Luz e Cores .....	39
2.3.3	Fluxo Energético .....	39
2.3.4	Densidade de Potência .....	40
2.3.5	Fluxo Luminoso .....	40
2.3.6	Iluminância .....	40
2.3.7	Luminância .....	41
2.4	ANÁLISE DE CONFORTO VISUAL .....	42
2.4.1	Especificações para projetos luminotécnicos .....	42
2.4.2	Distribuição da luminância .....	43
2.4.3	Iluminância e sua distribuição .....	44
2.4.3.1	Iluminâncias recomendadas na área de tarefa .....	45
2.4.3.2	Escala de Iluminância .....	46
2.4.3.3	Uniformidade .....	46
2.4.4	Ofuscamento .....	46
2.4.4.1	Ofuscamento desconfortável .....	47
2.4.5	Aspectos da cor .....	47
2.4.5.1	Aparência de cor .....	48
2.4.5.2	Reprodução de cor .....	48
2.5	BUILDING INFORMATION MODELING .....	49
2.5.1	Conceitos Básicos .....	49
2.5.2	Definições .....	50
2.5.3	Principais Usos e Benefícios do BIM .....	51
2.6	SOFTWARES UTILIZADOS .....	52
2.6.1	Revit .....	52

<b>2.6.2</b>	<b>DIALux EVO</b> .....	54
2.7	METODOLOGIA UTILIZADA .....	55
<b>2.7.1</b>	<b>Estudo da Volumetria</b> .....	55
2.7.1.1	Modelo Geométrico Para Análises Energéticas .....	56
2.7.1.2	Modelo Geométrico Para Análise Luminotécnica .....	56
<b>2.7.2</b>	<b>Estudo Energético</b> .....	56
2.7.2.1	Modelo Energético da Edificação .....	57
2.7.2.2	Análise Termo-energética .....	57
2.7.2.3	Cálculo Luminotécnico .....	57
2.7.2.4	Resultados .....	58
2.8	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	58
<b>3</b>	<b>MODELAGEM E ANÁLISE DO LABPLAN</b> .....	59
3.1	MODELAGEM E ESTUDO DA VOLUMETRIA .....	59
<b>3.1.1</b>	<b>Modelo Geométrico Para Análises Energéticas</b> ....	59
<b>3.1.2</b>	<b>Modelo Geométrico Para Análise Luminotécnica</b> ..	61
3.2	ANÁLISES ENERGÉTICAS .....	62
<b>3.2.1</b>	<b>Parâmetros e Considerações</b> .....	63
<b>3.2.2</b>	<b>Modelo Analítico de Energia</b> .....	65
<b>3.2.3</b>	<b>Simulação e resultados</b> .....	70
3.2.3.1	Estimativa de cargas térmicas do laboratório.....	71
3.2.3.2	Estimativa de consumo energético do laboratório .....	74
3.2.3.3	Estimativa de geração fotovoltaica .....	78
3.3	ANÁLISE DE ILUMINAÇÃO .....	81
<b>3.3.1</b>	<b>Dimensões, Materiais de Acabamento e equipamentos de iluminação do LabPlan</b> .....	81
<b>3.3.2</b>	<b>Parâmetros e Considerações</b> .....	82
<b>3.3.3</b>	<b>Simulação e resultados</b> .....	83
3.3.3.1	Recepção .....	86
3.3.3.2	Copa .....	90
3.3.3.3	Corredor .....	92
3.3.3.4	Circulação .....	94
3.3.3.5	Sala Multiuso .....	97
3.3.3.6	Sala dos servidores .....	100
3.3.3.7	Salas dos Professores.....	103
3.3.3.8	Sala 6.....	106
3.3.3.9	Sala 8, 9 e 10 .....	109
3.3.3.10	Salas 12A e 12B .....	115
3.3.3.11	Sala 12C .....	119
3.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	123
<b>4</b>	<b>PROPOSTA DE RETROFIT</b> .....	125
4.1	PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	125

<b>4.1.1</b>	<b>Equipamentos e considerações</b> .....	125
<b>4.1.2</b>	<b>Simulação e resultados</b> .....	126
4.1.2.1	Recepção .....	127
4.1.2.2	Copa .....	128
4.1.2.3	Corredor .....	129
4.1.2.4	Circulação .....	131
4.1.2.5	Sala Multiúso .....	131
4.1.2.6	Sala dos Servidores .....	133
4.1.2.7	Sala 1, 3, 4, 5 e 7 .....	134
4.1.2.8	Sala 6, 8, 9, e 10 .....	136
4.1.2.9	Salas 12A e 12B .....	138
4.1.2.10	Sala 12C .....	140
4.2	<b>PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO</b> .....	142
<b>4.2.1</b>	<b>Redução da carga térmica dos ambientes</b> .....	142
<b>4.2.2</b>	<b>Projeto de climatização</b> .....	145
4.3	<b>ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE CONSUMO</b> .....	149
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	153
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	157



# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações iniciais do trabalho bem como seu contexto, motivação, objetivos e a estrutura do documento.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2018 (EPE 2018), as edificações são responsáveis por aproximadamente 50% de todo o consumo energético do Brasil. Devido à expressividade com que as edificações afetam o consumo energético no país, tem-se uma grande oportunidade de otimizar o consumo através de soluções de eficiência energética e ainda melhorar as condições de trabalho e permanência nos ambientes.

Em diversos países do mundo, tem-se a utilização de normas e certificações energéticas com o intuito de estimular as soluções sustentáveis e melhorar o desempenho energético das edificações. Normas como a *ASHRAE 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* (ASHRAE 2013) atuam como um *Benchmark* para a eficiência energética, indo desde o sistema de iluminação da edificação e passando por todos os sistemas elétricos mecânicos e hidráulicos. No Brasil, existe a ISO 50001:2011 (Qualidade 2012), que tem como objetivo permitir que os edifícios estabeleçam os sistemas e processos necessários para que o desempenho energético, que inclui a eficiência da edificação e seu uso, seja melhorado.

Com o custo da energia cada vez mais alto e as questões de sustentabilidade cada vez mais em vista, surge uma preocupação maior com o desperdício de energia. Por exemplo, segundo dados do programa (Sustentável 2019), em 2018 o Campus da UFSC Reitor João David Ferreira Lima teve um consumo anual de energia de 26.469.321 kWh, o que gerou um orçamento em torno de 18 milhões de reais. Mesmo com um grande incentivo ao racionamento e ao uso responsável da energia, o campus ainda conta com um grande consumo energético, devido ao fato que seus equipamentos são antigos. Usualmente, os maiores responsáveis pelo consumo energético em uma edificação são os sistemas de climatização e de iluminação.

Um dos projetos pioneiros implementados no Brasil é do Campus da Univali em Biguaçu, primeiro campus universitário do país a gerar

100% de sua energia (Mezoni 2018). Através do *retrofit* energético do sistema de iluminação, no qual foram substituídas aproximadamente 1,4 mil lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, foi possível reduzir em 57% o consumo energético do sistema de iluminação, e, em conjunto com a substituição de 81 condicionadores de ar por equipamentos mais modernos, foi possível zerar o consumo energético através de um sistema fotovoltaico com capacidade anual de geração de 196 MWh.

O projeto Campus Sustentável (Unicamp 2018) desenvolvido através da parceria da Unicamp com a CPFL Energia visa estabelecer um modelo de gestão e eficiência energética que possa ser utilizado por outros centros universitários do Brasil e da América Latina. Através de um *retrofit* do sistema de iluminação e refrigeração, implementação de um sistema de geração de energia fotovoltaico, uso de veículos elétricos pelo campus e gerenciamento de informações relativas ao consumo e demanda dos edifícios, estima-se uma economia de aproximadamente R\$ 1 milhão anual com os gastos de energia.

Atualmente o Brasil conta com muitos edifícios antigos, os quais possuem equipamentos obsoletos com um alto consumo energético. Através do *retrofit* energético, é possível remodelar os sistemas de climatização e iluminação com o objetivo de reduzir a quantidade de equipamentos e realizar a substituição dos equipamentos antigos por novos com uma eficiência superior. Através da metodologia BIM (*Building Information Modeling*) pode-se ainda ter um ganho significativo na qualidade do projeto. Através dessa metodologia pode-se criar um modelo tridimensional do projeto com todas as informações necessárias para o bom funcionamento da edificação, indo desde o desenvolvimento do projeto, passando pelas etapas de construção, operação e uma possível reforma ou demolição da edificação. As construções sustentáveis não dependem apenas do consumo energético e da eficiência da edificação, mas sim de um conjunto de premissas que vão desde o planejamento da obra, passando pelo processo construtivo procurando usar materiais ecologicamente corretos e usa-los de maneira eficiente evitando desperdícios, até o treinamento pessoal das pessoas que irão operar a construção. A metodologia BIM é muito importante para o desenvolvimento de construções sustentáveis, pois é possível mapear todos os processos da construção, desde seu planejamento até sua operação, contando com todas as informações necessárias a respeito da edificação e dos materiais e equipamentos que se encontram no edifício.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

Devido a nossa matriz energética ser predominantemente hídrica, (EPE 2018), depende-se no Brasil diretamente das condições meteorológicas para manter as usinas em plena operação. Períodos de estiagem, comuns nos últimos anos, prejudicam a capacidade de geração das usinas hidroelétricas.

Com o déficit gerado pelas estiagens e devido ao aumento da demanda de energia dos últimos anos, as usinas termoelétricas são ativadas para garantir o abastecimento. Pode-se notar também através do Balanço Energético Nacional (EPE 2018) que o uso de energias não renováveis vem crescendo nos últimos anos. Além dos danos ambientais causados pelas usinas termoelétricas, a energia proveniente dessas fontes tem um custo mais elevado devido ao alto custo de operação desse tipo de usina, afetando diretamente o consumidor final.

Uma forma de amenizar o problema é através do incentivo a projetos de Eficiência Energética (EE) que visam diminuir a demanda de energia do país. Uma das medidas adotadas pelo Brasil foi a implantação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (Conpet 2012), que é regulamentado pelo INMETRO e informa ao consumidor o nível de eficiência do equipamento que ele irá adquirir. Para edificações, o PBE marca o desenvolvimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que possui uma avaliação do edifício em sua envoltória, sistema de iluminação e sistema de climatização.

Com o objetivo de diminuir a demanda de energia do país, no ano de 2014 foi publicada uma instrução normativa (Ministério 2014) que dispõe de algumas regras para o uso da ENCE em projetos de instituições federais novas ou em projetos que recebam um *retrofit*, uma vez que os prédios antigos são grandes consumidores de energia. Nesse cenário o trabalho em questão objetiva realizar um levantamento da atual situação dos sistemas de iluminação e climatização do Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica (LabPlan), localizado no Campus Reitor João David Ferreira Lima da UFSC. Foi realizada uma estimativa de consumo energético atual e foi sugerida uma proposta *retrofit* do LabPlan que busca diminuir a demanda de energia e oferecer um melhor conforto térmico e visual para os usuários do Laboratório.

Além de mudanças técnicas será proposta a implementação de um projeto de conscientização sobre o uso eficiente da energia. Toda a análise e modelagem foi feita através do conceito BIM que busca otimizar e tornar todo o ciclo construtivo, seja de uma edificação nova ou de um *retrofit*, mais eficiente e sustentável.

## 1.3 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos do trabalho bem como a descrição do processo realizado durante a análise.

### 1.3.1 Objetivo Gerais

Este trabalho tem por objetivo a realização de uma análise em nível de eficiência energética do LabPlan, bem como em níveis de conforto visual e conforto térmico para as pessoas que frequentam o laboratório. Através da análise realizada com ajuda dos *softwares* Revit e DiaLux, e do modelo tridimensional modelado, é proposto um *retrofit* dos sistemas de climatização e iluminação afim de melhorar a eficiência energética e o conforto nas dependências do LabPlan.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento da estrutura do LabPlan para realizar o modelo tridimensional no *software* Revit.
- Desenvolver modelo através do conceito BIM (*Building Information Modeling*), onde tem-se todas as informações da edificação.
- Realizar o levantamento do sistema de iluminação do laboratório bem como dos equipamentos que consomem energia elétrica.
- Realizar um levantamento do sistema elétrico do laboratório, que inclui os pontos de iluminação, tomadas, quadros de distribuição e de passagem e tudo que compõe o sistema do .
- Realizar a modelagem do LabPlan no *software* DiaLux Evo que servirá de base para as simulações de iluminação artificial.
- Realizar uma avaliação dos resultados do sistema de iluminação atual do laboratório para uma validação de acordo com a norma NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação em Ambientes de Trabalho ISOCIE8995.
- Realizar uma avaliação do sistema de climatização atual do laboratório, bem como verificação de como está o nível e conforto térmico dos ambientes de uso prolongado.

- Através das análises realizadas e da avaliação da atual condição do LabPlan será realizada uma proposta de *retrofit* do sistema de iluminação, priorizando as recomendações da norma e atendendo ao conforto visual dos usuários, com o intuito de diminuir a quantidade de luminárias e a quantidade de  $w/m^2$  reduzindo a carga consumida pelo laboratório e tornando o ambiente mais confortável aos usuários.
- Realizar uma proposta de *retrofit* do sistema de climatização, priorizando a conforto térmico dos usuários nos ambientes de permanência prologado, adotando soluções que podem diminuir a necessidade de condicionadores de ar e com o uso de equipamentos novos com maior eficiência.
- Através dos dois cenários analisados (atual e proposto) será feita uma avaliação do impacto que as medidas de eficiência podem trazer para o LabPlan, o qual poderemos validar através das simulações realizadas.

## 1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este documento está organizado como segue:

**Capítulo 1:** Neste capítulo, apresentam-se os conceitos iniciais a respeito do tema do trabalho, bem como a motivação para o desenvolvimento deste documento. São apresentados alguns exemplos de iniciativas que vem sendo implementadas no país. São apresentadas as justificativas e os objetivos do estudo em questão. A ultima seção tem por fim a descrição da estrutura do documento.

**Capítulo 2:** Neste capítulo são apresentados fundamentos e discussões a respeito do panorama da eficiência energética no Brasil. São introduzidas os conceitos básicos a respeito de eficiência de energia em edificações, sistemas de iluminação artificial e BIM. Também são apresentados os *softwares* e normas utilizados durante o desenvolvimento do trabalho. Ao final desse capítulo é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da análise.

**Capítulo 3:** Neste capítulo é realizada a implementação da metodologia da análise proposta de maneira a esclarecer os parâmetros e considerações utilizados durante a análise. São apresentadas

as metodologias de modelagem da edificação, desde o levantamento de áreas até as considerações tomadas durante seu desenvolvimento. Também são realizadas as configurações dos modelos tridimensionais criados para a realização das simulações dos ambientes para o cenário atual do laboratório. Durante o andamento do capítulo são apresentados os resultados das análises energéticas, que englobam o consumo energético do edifício bem como as cargas térmicas de seus ambientes, e também os resultados da análise do sistema de iluminação do laboratório.

**Capítulo 4:** Neste capítulo são apresentadas as mudanças propostas para o laboratório com o intuito de reduzir o consumo energético e tornar a edificação mais eficiente. São apresentadas as propostas de projeto para os sistemas de iluminação mais eficiente e em acordo com as exigências da norma, e também do projeto do sistema de climatização que busca trazer mais conforto aos usuários e reduzir a energia gasta com sistemas de climatização. Ao final desse capítulo foi realizado um comparativo do panorama atual do LabPlan com as mudanças propostas e quais benefícios e economias tais mudanças podem proporcionar.

**Capítulo 5:** Neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho bem como possíveis implementações e atualizações que podem ser feitas no LabPlan.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E METODOLOGIA UTILIZADA

Neste capítulo são apresentados os conceitos e fundamentos básicos utilizados durante a análise. Nas seções 2.1 e 2.2 é apresentado o panorama geral da eficiência energética no país, e como as edificações são um fator importante para o tema. Nas seções 2.3 e 2.4 são apresentados os principais conceitos e normativas utilizadas durante a análise realizada do laboratório. Na seção 2.5 é apresentado o ambiente escolhido para a realização da análise, enquanto na seção 2.6 são apresentados os programas utilizados para realização dos modelos e análises. Por fim na seção 2.7 é apresentada a metodologia utilizada para realização do trabalho e na seção 2.8 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética significa fazer mais com menos, pode-se entender isso como uma base conceitual para o devido trabalho. Segundo (Abresco) a eficiência energética é uma atividade que busca otimizar o uso das fontes de energia, ou seja, através do uso racional da energia e do emprego de equipamentos mais eficientes têm-se uma redução no consumo de energia. Também segundo (Abresco, s.d.) a eficiência energética pode ser definida como a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

Atualmente a EE tem sido alcançada não somente através de equipamentos mais eficientes e do uso consciente da energia, mas também através da arquitetura das construções. Segundo (Lamberts 2014) a EE é um atributo inerente a edificação, que tem a capacidade de mensurar o potencial da edificação em oferecer conforto térmico, visual e acústico aos usuários com um baixo consumo de energia, ou seja edifícios mais eficientes podem oferecer conforto aos usuários em todas as épocas do ano com um baixo consumo da energia.

Ainda segundo (Lamberts 2014) a eficiência energética é sustentada pela Tríade de Vitruvius, que são os três elementos fundamentais da arquitetura: Firmitas, Utilitas e Venusta.

Firmitas está relacionado com a estrutura da edificação. O uso racional e eficiente dos materiais utilizados na construção podem tra-

zer uma redução no consumo de energia da construção, trazendo uma eficiência para o projeto já em sua implementação. Através da realização de um estudo do impacto no consumo energético empregado nos materiais e transportes utilizados durante a construção podemos escolher materiais e processos com menor impacto no consumo de energia e consequentemente mais sustentáveis.

Utilitas está relacionada a utilidade da estrutura arquitetônica, que inclui os conceitos de conforto visual, térmico e acústico dos usuários. Tais conceitos podem ser vistos como pontos de partida para a eficiência energética dos ambientes, os quais quando otimizados necessitam de menos equipamentos de climatização e iluminação e materiais para se obter o conforto necessários para os usuários.

Venustas está relacionada com a beleza da edificação que deve contemplar equipamentos e materiais mais eficientes e possibilitar o uso eficiente dos ambientes da edificação.

Muito se fala sobre a eficiência de novas construções devido ao grande aumento da demanda de energia e sua baixa oferta. Além de diversas campanhas de conscientização sobre o uso racional e consciente da energia a tecnologia nos proporciona equipamentos cada vez mais eficientes e com baixo consumo energético e também nos proporciona soluções tecnológicas que ajudam a reduzir o consumo em edificações.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) tem investido cada vez mais, na conscientização do uso eficiente da energia. O selo de eficiência energética faz parte de um dos programas do PROCEL que ajuda o consumidor a saber qual equipamento é mais eficiente que os demais. Além do Selo o consumidor também conta com a ajuda da Etiqueta de Cores do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO que em parceria com o PROCEL classifica os equipamentos de “A” até “E” no qual “A” são os mais eficientes e “E” são os menos eficientes.

## 2.2 USO DA ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

Segundo (EPE 2018) o consumo energético das edificações corresponde a um valor de aproximadamente 50% do consumo total de energia no Brasil.

Em 2001, devido à crise energética que o Brasil enfrentou, foi iniciado o processo de regulamentação do consumo energético de edificações, através da Lei Nº 10.295. Entre as medidas que a lei exige uma das mais relevantes é a designação para que o Poder Executivo

desenvolva mecanismos que promovam a eficiência energética em edifícios construídos a partir da publicação da lei. Ela também definiu níveis máximos de consumo de energia e níveis mínimos de eficiência para equipamentos fabricados e comercializados no Brasil. A partir da publicação da lei foi necessária a criação do CGIEE (Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética) para avaliar os equipamentos e construções e também do GT - Edificações (Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações) que regulamentou e elaborou os procedimentos necessários para realizar a avaliação da EE em qualquer edificação construída no Brasil.

O consumo de energia em edificações pode ser separado em três setores: residencial, público e comercial. Segundo (EPE 2018) o consumo de cada setor no ano de 2017 foi respectivamente: 25,5%, 8,2% e 17,1% o que representa 50,8% do consumo total de energia no país. Com isso políticas que promovem a eficientização de edifícios podem trazer uma grande redução na demanda de energia nacional.

Nos últimos anos o a mobilização de organizações de associações que trabalham no incentivo as praticas de construção sustentável e economia de energia vem crescendo. Dentre os principais objetivos destes grupos estão a busca por certificação e etiquetagem de edificações projetadas e desenvolvidas com o intuito de maximizar seu desempenho energético, bem como a readequação de edificações existentes.

Atualmente, no Brasil, existem mais de 200 edificações certificadas LEED e 27 edifícios contemplados com o Selo Procel Edificações. Ainda de acordo com a (Eficiency 2015) através dos dados de economia gerado pelas edificações certificadas é possível que através de esforços adicionais as edificações brasileiras poderiam apresentar um potencial mínimo de redução de 30% ou mais no consumo energético do país.

Apesar do setor público representar uma parcela de cerca 1,4% da demanda de energia do país, sabe-se que, como visto anteriormente, representa um valor significativo no consumo final de energia. Ainda segundo (Lamberts 2014) os maiores consumidores de energia em edificações públicas são os sistemas de iluminação, cerca de 23%, e o sistema de climatização, cerca de 48%, o que totaliza 71% do consumo total dos edifícios.

De acordo com (PBE 2014) as edificações públicas são imóveis construídos ou adaptados com recursos públicos para exercício de atividade administrativa ou para prestação de serviços públicos. Atualmente a maioria das edificações públicas no Brasil são antigas, com equipamentos obsoletos e com alto consumo energético. Tais edifícios

geram grandes desperdícios de energia, pois contam com equipamentos não normatizados e antigos além da falta de soluções arquitetônicas e tecnológicas afim de minimizar o uso da energia elétrica.

Nesse cenário foi instaurada a instrução normativa Nº 2. de 04 de junho de 2014, que foi publicada no Diário Oficial da União, e definiu regras e diretrizes para a compra de equipamentos que consomem energia por parte da Administração Pública Federal e também a obrigação do uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edifícios federais novos e para edificações que recebam um retrofit.

### 2.3 CONCEITOS BÁSICOS DE ILUMINAÇÃO

Como visto anteriormente 23% do consumo de edificações públicas provêm do sistema de iluminação que muitas vezes é mal dimensionado e mal otimizado além de contar com equipamentos de baixa eficiência energética e alto consumo de energia. Portanto projetos luminotécnicos são extremamente importantes em projetos de eficiência energética pois afetam o conforto visual dos usuários da edificação e também o consumo energético da mesma.

Os sistemas de iluminação artificial possuem dois objetivos básicos, segundo (Osram 2010) o primeiro objetivo é a obtenção de uma boa condição de visão associada à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente, este primeiro objetivo está ligado diretamente a atividade laborativas e produtivas, como trabalhos em escritórios e salas de estudo. O segundo objetivo do sistema de iluminação seria sua utilização como principal instrumento de ambientação em um espaço, tal objetivo está mais ligados a atividades não produtivas como lazer e estar.

Durante a elaboração do projeto de uma nova edificação, muitas vezes os sistemas luminotécnicos não recebem a devida importância, muitos vezes sendo dimensionadas por um determinado número de luminárias/ $m^2$ . O que gera em muitos casos locais com um péssimo conforto visual e muitas vezes com um número excessivo de luminárias. Durante a elaboração de um estudo luminotécnico deve-se levar em consideração algumas premissas que irão auxiliar o projetista a elaborar um bom projeto. Segundo (Osram 2010) existem três perguntas que devem ser feitas pelo projetista antes de iniciar o projeto que são:

- Como a luz deverá ser distribuída pelo ambiente?
- Como a luminária irá distribuir a Luz?

- Qual a ambientação que queremos proporcionar através da luz em determinado espaço?

Pode-se então concluir que os sistemas de iluminação estão intimamente ligados a função que será exercida em determinado espaço.

Para responder a primeira pergunta que foi feita acima pode-se classificar os sistemas de iluminação quanto a sua distribuição de luz da seguinte forma:

- Iluminação Geral

Caracterizado pela distribuição uniforme das luminárias no teto do ambiente, levando em consideração sua área. Embora seja um sistema mais flexível não é o mais adequado, pois muitas vezes os sistemas de iluminação geral não atendem a necessidade de ambientes mais amplos e que necessitam de um alto nível de iluminância. Este é o sistema mais comum empregado atualmente em grades edifícios de escritórios.

- Iluminação Localizada

Caracterizado pela alocação de luminárias em locais de interesse. As luminárias são posicionadas de tal forma que possibilitam grandes níveis de iluminância no plano de trabalho. Este sistema proporciona menor consumo energético do sistema de iluminação e também possibilita um controle maior da iluminação no ambiente de interesse.

- Iluminação de Tarefa

Caracterizado pelo uso de luminárias próximas ao plano de trabalho, iluminando apenas a área principal do plano. Este sistema também tem um menor consumo energético e possibilita uma boa flexibilidade dos efeitos luminotécnicos no ambiente desejado.

- Iluminação de Emergência

Caracterizado pelas luminárias instaladas em ambientes de passagens e circulação, como corredores e escadas. São utilizados durante uma eventual falha no sistema principal de iluminação. Este sistema necessita de um nível de iluminação que permita uma boa visualização e evite acidentes em casos de evacuações. Também deve-se levar em conta que os ambientes a serem iluminados podem ser penetrados por fumaça. O sistema deve sinalizar absolutamente todos os pontos de evacuação da edificação. Tal projeto deve estar de acordo com a norma ABNT NBR 10898:2013 (Técnicas 2013).

Respondendo o segundo questionamento, pode-se classificar as luminárias quanto a sua radiação do fluxo luminoso:

- Iluminação Direta  
Geralmente proporcionadas por luminárias embutidas diretamente no teto, que fornecem uma iluminação direta e vertical que incide diretamente no plano de trabalho.
- Iluminação Indireta  
Luminárias suspensas geralmente distribuídas homoganeamente nos ambientes de forma que seus fluxos luminosos apontem diretamente para o teto, o que resulta numa iluminação indireta e difusa no plano de trabalho.
- Iluminação Direta-Indireta  
Luminárias suspensas geralmente distribuídas homoganeamente nos ambientes de forma que seus fluxos luminosos apontem uma parte para o teto uma parte para o plano de trabalho, tal proporção é definida pelo projetista de acordo com as necessidades do ambiente.

E por fim para respondermos a terceira pergunta pode-se classificar os sistemas de iluminação quanto a forma de luz de ambientação adequada ao espaço:

- Iluminação de Destaque;
- Iluminação de Efeito;
- Iluminação Decorativa;
- Iluminação Dimerizada;
- Iluminação Arquitetônica;
- Iluminação de Fachadas e Monumentos.

### **2.3.1 Grandezas Fotométricas**

Para o entendimento adequado dos conceitos de luminotécnica existem algumas grandezas importantes que merecem certa atenção.

### 2.3.2 Radiação Solar, Luz e Cores

O Sol é uma fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos de onda. O espectro eletromagnético da radiação solar possui três principais formas de radiação a infravermelha - responsável pela sensação e calor - a ultravioleta - possui efeito bactericida - e o espectro visível ou luz que é uma radiação composta por fótons capazes de sensibilizar o olho de uma pessoa normal.

A luz é portanto uma forma de radiação eletromagnética que possibilita a produção de uma sensação visual, seu comprimento de onda está compreendido entre 380 e 780 nm. A sensibilidade visual do olho humano para a luz não varia apenas com o comprimento de onda do espectro mas também com a quantidade de luminosidade do ambiente. O olho humano possui diferentes sensibilidades para a Luz, durante o período noturno nossa maior percepção está para o comprimento de onda na faixa de 550nm, que correspondem a cores amarelo esverdeadas e no período matutino para comprimentos de onda na faixa de 510nm que corresponde as cores verdes azuladas.

Tem-se a tendência de pensar que a cor de um determinado objeto é intrínseca a ele. Na realidade a cor de um objeto é definida pela iluminação que está incidindo nele. Por exemplo, ao se iluminar um objeto da cor azul com uma fonte de luz branca ele irá aparentar ser da cor azul, pois o objeto tende a refletir a porção azul do espectro de radiação absorver todos os demais comprimentos de onda. Agora se utilizarmos um filtro que bloqueie o comprimento de onda azul o objeto irá aparentar ter uma cor preta, pois é irá refletir muito pouca luz.

### 2.3.3 Fluxo Energético

O fluxo energético (P) é o somatório da potência de todos os equipamentos de iluminação instalados na edificação. Basicamente a Potência total instalada vai ser a potência de cada lâmpada utilizada no projeto multiplicada pela quantidade de cada lâmpada utilizada somada a potência consumida pelos reatores e transformadores.

$$P = \frac{nw^*}{1000} \text{ [Kw]} \quad (2.1)$$

- $w^*$  = Potência consumida pelo conjunto lâmpada e acessórios.
- $n$  = número de luminárias

### 2.3.4 Densidade de Potência

Densidade de potência (D) é dada pela potência total em Watt para cada metro quadrado de área.

$$D = \frac{1000P_t}{A} \quad [W/m^2] \quad (2.2)$$

Essa grandeza é muito útil para cálculos e dimensionamentos de sistemas de iluminação. Para a realização de um projeto eficiente devemos realizar a comparação de diferentes sistemas de iluminação. Esses sistemas, para fins de comparação devem permitir o alcance de um mesmo nível de iluminância com diferentes densidades de potência. O conceito de iluminância é abordado na seção 2.3.6.

Para poder realizar uma avaliação mais precisa da eficiência de um sistema de iluminação utiliza-se a equação de densidade de potência relativa. A equação nos permite avaliar a densidade de potência de um determinado ambiente para cada 100 Lux de iluminância fornecido no ambiente.

$$D_r = \frac{D}{\frac{E}{100}} \quad [W/m^2/100Lux] \quad (2.3)$$

Tal medida nos permite avaliar com mais acurácia a verdadeira eficiência de um sistema.

### 2.3.5 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é a radiação total emitida por um fonte luminosa compreendida entre os comprimentos mencionados anteriormente (380 a 780nm). Tal medida é expressa em Lumens [lm].

### 2.3.6 Iluminância

O nível de iluminância de uma determinada superfície está relacionada com a luz emitida por uma determinada fonte a uma certa distância. É expressa em Lux [lx] e a equação que expressa tal grandeza é:

$$E = \frac{\varphi}{A} \quad [lm/m^2] \quad (2.4)$$

Na prática a iluminância é a quantidade de luz dentro de um determinado ambiente e pode ser medida através de um luxímetro. Como o fluxo luminoso de uma fonte não é uniforme o nível de iluminância não será o mesmo para todos os pontos do ambiente. Por esse motivo durante uma análise luminotécnica considera-se a iluminância média ( $E_m$ ) mantida no ambiente. Existem normas como a (ABNT 2013) que definem os valores de  $E_m$  para cada tipo de ambiente de acordo com a atividade que será realizada no local relacionado ao conforto visual dos usuários.

O valor da iluminância média ( $E_m$ ) necessária em um determinado ambiente é definido de acordo com a exigência visual da atividade que será realizada. Para saber o valor necessário para cada ambiente devemos consultar a (ABNT 2013), norma brasileira que defini os valores mínimos de iluminância média que cada ambiente deve possuir. Além disso deve ser considerado um fator de depreciação no momento de dimensionar a quantidade de luminárias pois devido ao desgaste das luminárias e ao acúmulo de poeira o fluxo luminoso sofre uma perda, com esse fator evitamos que o nível de iluminância fique abaixo do mínimo previsto em norma.

### 2.3.7 Luminância

A luminância é a grandeza que representa a luz refletida por uma determinada superfície, representa a sensação de claridade que é sentida pelo sistema visual ao olhar para um superfície iluminada. Pode ser definida como a intensidade luminosa que emana de uma superfície, através de sua superfície aparente.

$$L = \frac{I}{A \cos \alpha} \quad [\text{cd}/\text{m}^2] \quad (2.5)$$

Na qual:

- L = Luminância em  $\text{cd}/\text{m}^2$
- I = Intensidade Luminosa em  $\text{cd}$
- A = Área Projetada  $\text{m}^2$
- $\alpha$  = Ângulo considerado

A fórmula anterior permite estimar a Luminância de uma determinada superfície, mas na prática medir a Intensidade luminosa de uma superfície pode ser muito difícil o que nos leva a equação 2.6

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad (2.6)$$

Na qual:

- $\rho$  = Coeficiente de reflexão da superfície
- E = Iluminância sobre a superfície em *lux*

Através dessa equação pode-se determinar a luminância de uma determinada superfície através de seu coeficiente de reflexão, valor tabelado, e o valor de iluminância na superfície que pode ser determinado pela equação 2.4.

## 2.4 ANÁLISE DE CONFORTO VISUAL

Os parâmetros e indicadores utilizados nesta análise fazem parte dos padrões exigidos pela norma NBR 8995-1 (ABNT 2013), publicada no ano de 2013. Baseado nos padrões europeus a norma destaca os principais fatores que devem ser considerados durante a avaliação de sistemas de iluminação. São especificados os requisitos de iluminação para áreas de trabalho internas e os requisitos para que os usuários desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente e confortável.

### 2.4.1 Especificações para projetos luminotécnicos

Segundo a norma NBR 8995-1 (ABNT 2013) a prática de uma boa iluminação para ambientes de trabalho vão além de fornecer uma boa visualização da tarefa. É primordial que a execução das tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. Através dessa premissa o sistema de iluminação deve satisfazer aspectos quantitativos e qualitativos exigido pelo ambiente.

Ainda segundo a norma (ABNT 2013) a iluminação deve assegurar:

- Conforto visual, dando aos usuários do ambiente uma sensação de bem-estar,
- Desempenho visual, ficando os usuários capacitados a realizar suas tarefas visuais, rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos,

- Segurança visual, ao olhar ao redor e detectar perigos.

Para satisfazer estes objetivos é necessário averiguar todos os parâmetros que contribuem para o ambiente luminoso. Segundo a norma (ABNT 2013) os principais parâmetros são:

- Distribuição da luminância,
- Iluminância,
- Ofuscamento,
- Direcionalidade da Luz,
- Aspectos da cor da luz e superfícies,
- Cintilação,
- Luz natural,
- Manutenção.

Adicionalmente à iluminação a norma (ABNT 2013) cita outros parâmetros ergonômicos visuais que atuam no sistema visual dos usuários, como:

- As propriedades intrínsecas da tarefa (tamanho, forma, posição, cor e refletância do detalhe e do fundo)
- A capacidade oftálmica do operador (acuidade visual, percepção de profundidade, percepção da cor)

Estes fatores podem otimizar o desempenho visual sem a necessidade de aumentar os níveis de iluminância no ambiente.

### **2.4.2 Distribuição da luminância**

A distribuição da luminância no campo de visão do usuário controla o nível de adaptação dos olhos ao ambiente, o que pode afetar a visibilidade da tarefa. Segundo a NBR 8995-1 (ABNT 2013) uma adaptação bem balanceada do luminância é necessária para ampliar:

- A acuidade visual (nitidez e visão),
- A sensibilidade ao contraste (discriminação das diferenças relativamente pequenas de iluminância),

Superfície	Refletância
Teto	0,6 - 0,9
Paredes	0,3 - 0,8
Planos de trabalho	0,2 - 0,6
Piso	0,1 - 0,5

Tabela 1 – Refletâncias úteis para as superfícies de um ambiente. Adaptado de NBR 8995-1 (2013)

- A eficiência das funções oculares (como acomodação, convergência, contrações pupilares, movimento dos olhos etc.).

A distribuição da luminância sem uniformidade afeta o conforto visual dos usuários e segundo a norma (ABNT 2013) convém que sejam evitadas:

- Luminâncias muito altas que podem levar ao ofuscamento,
- Contrastes de luminâncias muito altos causam fadiga visual devido à contínua readaptação dos olhos,
- Luminâncias muito baixas e contrastes de luminâncias muito baixos resultam em um ambiente de trabalho sem estímulo e tedioso,
- Convém que seja dada atenção a adaptação na movimentação de zona para zona no interior do edifício.

A norma ainda definiu as faixas úteis de refletâncias para as superfícies internas dos ambientes que podem ser vistas na Tabela 1. As refletâncias junto com as iluminâncias nas superfícies são importantes para determinar a luminância sobre elas.

### 2.4.3 Iluminância e sua distribuição

A distribuição de iluminância nas áreas de trabalho e em seu entorno imediato, segundo a NBR 8995-1 (ABNT 2013), tem um maior impacto sobre como uma pessoa percebe e realiza a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. A norma também determina que em ambientes com layout de áreas de trabalho é desconhecido, toda a área onde a tarefa tem a possibilidade de ocorrer é considerada a área de tarefa.

### 2.4.3.1 Iluminâncias recomendadas na área de tarefa

A norma NBR 8995-1 (ABNT 2013) determina valores de iluminância que devem ser mantidos na área da tarefa no plano de referência que pode ser horizontal, vertical ou inclinado. A norma determina que os valores de iluminância média para cada tarefa não pode estar abaixo do valor determinado por ela, independente da idade e condições da instalação. Os valores determinados pela norma são válidos para uma condição visual normal e segundo a NBR 8995-1 (ABNT 2013) os seguintes fatores são levados em conta:

- Requisitos para a tarefa visual,
- Segurança,
- Aspectos psicofisiológicos assim como conforto visual e bem-estar,
- Economia,
- Experiência prática.

A norma permite que os valores de iluminância sejam ajustados em pelo menos um nível na escala da iluminância, caso as condições visuais forem diferentes do que se assume como normal. Em caso de aumento na iluminância, segundo a NBR 8995-1 (ABNT 2013), é conveniente quando:

- Contrastes excepcionalmente baixos estão presentes na tarefa,
- O trabalho visual é crítico,
- A correção de erros é onerosa,
- A capacidade de visão dos usuários está abaixo do normal.

Em caso de diminuição da iluminância, segundo a NBR8995-1 (ABNT 2013), é conveniente quando:

- Os detalhes são de um tamanho excepcionalmente grande ou de alto contraste,
- A tarefa é realizada por um tempo excepcionalmente curto.

A norma também ressalta que em ambientes onde ocorre trabalho contínuo a iluminância não pode ser mantida abaixo de 200 lux, independente da atividade realizada no ambiente.

### 2.4.3.2 Escala de Iluminância

A norma NBR 8995-1 (ABNT 2013) determina que a menor diferença no efeito subjetivo da iluminância é representada por um fator de 1,5. Ainda segundo a norma em condições normais de iluminação, aproximadamente 20 lux de iluminância horizontal é necessária para diferenciar as características da face humana, e é o menor valor considerada na escala de iluminância. A escala recomendada pela norma é:

- 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1.000 - 1.500 - 2.000 - 3.000 - 5.000 Lux

### 2.4.3.3 Uniformidade

A uniformidade é dada pela equação 2.7. A iluminância deve-se alterar de forma gradual no ambiente, e a área de tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível. De acordo com a NBR 8995-1 (ABNT 2013) o valor da uniformidade na área de tarefa não pode ser menor do que 0,7, e no entorno imediato não pode ser inferior a 0,5.

$$\frac{E_{Min}}{E_{Max}} \quad (2.7)$$

Vale ressaltar que a norma permite que em ambientes que possuem grandes áreas de tarefa os quais tenham uma uniformidade maior que 0,6, possa ser assumido que o fator de uniformidade maior que 0.7 é sempre atendido nas áreas de tarefa individual.

### 2.4.4 Ofuscamento

De acordo com a NBR 8995-1 (ABNT 2013) o ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão do usuário, que pode ser experimentada tanto como um ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitador. Ele também pode ser causado por reflexões em superfícies especulares, normalmente conhecido como reflexões veladores ou ofuscamento refletido.

A norma ainda saliente que é importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes.

No interior de locais de trabalho, o ofuscamento desconfortável

é geralmente ocasionado por luminárias em excesso, com refletores brilhantes ou por janelas. Segundo a norma se os limites referentes ao ofuscamento desconfortável forem atendidos, o ofuscamento inabilitador não é, em geral, um problema.

#### 2.4.4.1 Ofuscamento desconfortável

A NBR 8995-1 (ABNT 2013) determina que o valor referente ao índice de ofuscamento desconfortável de um sistema de iluminação deve ser determinado através do método tabular do *Índice de Ofuscamento Unificado da CIE* (UGR), baseado na equação 2.8:

$$UGR = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 w}{p^2} \quad (2.8)$$

No qual:

- $L_b$  é a iluminância de fundo [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]
- $L$  é a iluminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ],
- $w$  é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador [esferorradiano],
- $p$  é o índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão.

A norma determina ainda que os índices de ofuscamento determinados para os ambientes não podem ser excedidos.

Os valores determinados pela norma foram obtidos através da escala UGR, na qual cada passo da escala representa uma mudança significativa no efeito de ofuscamento, e 13 representa o ofuscamento desconfortável menor perceptível para o usuário. A escala de UGR é:

- 13 - 16 - 19 - 22 - 25 - 28

#### 2.4.5 Aspectos da cor

Segundo a NBR 8995-1 (ABNT 2013) as qualidade da cor de uma determinada lâmpada próxima à cor branca são determinadas por dois atributos que devem ser considerados separadamente:

- A aparência de cor da própria lâmpada,
- Sua capacidade de reprodução de cor, que afeta a aparência da cor de objetos e das pessoas iluminadas pela lâmpada.

#### 2.4.5.1 Aparência de cor

A norma NBR 8995-1 caracteriza a "aparência da cor" de uma lâmpada como a cor aparente da luz emitida por ela.

As lâmpadas são divididas em três grupos, de acordo com suas temperaturas de correlata  $T_{cp}$ . Na Tabela 2 é possível observar a temperatura da cor e sua  $T_{cp}$

Aparência da cor	Temperatura de cor correlata ( $T_{cp}$ )
Quente	Abaixo de 3.300K
Intermediária	3.300K a 5.300K
Fria	Acima de 5.300K

Tabela 2 – Aparência de cor e sua temperatura correlata. Adaptado da NBR 8995-1 (2013)

Ainda de acordo com a norma, a escolha da cor é uma questão psicológica, estética e do que é considerado natural. A escolha irá depender da iluminância que se deseja obter no ambiente, além de fatores como a cor do ambiente e do mobiliário, clima do local e tarefas que serão realizadas no local.

#### 2.4.5.2 Reprodução de cor

Para o desempenho eficiente de tarefas visuais assim como causar uma sensação de bem-estar e conforto o usuário, é necessário que as cores do ambiente, objetos e da pele humana sejam reproduzidas de maneira correta e natural, e de modo a fazer com que as pessoas tenham uma aparência atrativa e saudável.

De acordo com a ISO 3864 () para a segurança dos usuários as cores devem ser sempre reconhecíveis e claramente discriminadas.

Para gerar um indicador objetivo das propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz, segundo a NBR 8995-1 (ABNT 2013), foi introduzido o índice feral de reprodução de cor  $R_a$ . Seu valor máximo é 100 e diminui conforme a qualidade de reprodução de cor da

fonte de luz diminui.

A NBR 8995-1 não recomenda fontes emissoras de luz com  $R_a$  inferior a 80 em ambientes onde os usuários trabalham ou permanecem por longos períodos.

## 2.5 BUILDING INFORMATION MODELING

O primeiro uso documentado do termo *Building Modeling*, em inglês, da maneira como é usada hoje, foi em um artigo de *Simon Ruffle* no ano de 1985 (Whitley 2017). Com isso a empresa *GMW Computers Ltd.*, fabricante do *software* RUCAPS que foi utilizado na realização da reforma do *London's Heathrow Airport*, projeto pioneiro envolvendo BIM. Embora o termo tenha sido citado durante anos, apenas do ano de 2002 os termos *Building Information Modeling* e *Building information Model* se tornaram popular no mercado. A empresa *Autodesk* publicou um artigo intitulado *Building Information Modeling* o qual mudou a maneira com a qual a indústria mundial da construção pensa sobre como a tecnologia pode ser aplicada nos desenvolvimento, construção e operação de edifícios.

### 2.5.1 Conceitos Básicos

Modelagem da informação da Construção é um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria da construção civil, também chamada de indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). O BIM é entendido por diversos autores não apenas como um conjunto de *softwares* mas sim como uma metodologia de projeto (Krygiel 2008).

Segundo (Eastman 2014) o BIM possibilita o desenvolvimento de um modelo geométrico virtual de uma edificação no formato digital. Tal modelo, quando completo, deve possuir a geometria exata da edificação e é capaz de fornecer os dados relevantes e necessários para dar suporte a construção, à fabricação e ao fornecimento dos materiais necessário para a implementação do projeto.

Ainda de acordo com (Krygiel 2008) a chegada do BIM fez com que os engenheiros e construtores envolvidos no projeto de um edifício olhem para todo o processo construtivo de forma unificada onde teremos um único projeto que irá abranger desde o design inicial passando pela fase de construção, operação e reforma ou demolição.

O BIM possibilita a criação um modelo geométrico 3D para-

métrico que será responsável pela concepção de todas os planos, seções, elevações e detalhes (Krygiel 2008). Tal modelo não é apenas um conjunto de linhas coordenadas, mas sim representações interativas do projeto, ou seja, ao alterarmos algum elemento em determinada vista, todo o modelo será atualizado para a nova configuração. Esse sistema de projeto permite um grande controle do modelo geométrico em relação a qualidade, controle e organização dos documentos gerados, e fornece boas ferramentas para análises de estrutura, consumo energético e operação do edifício.

### 2.5.2 Definições

A modelagem da informação da construção chamada de Building Information Modeling (BIM), é, segundo (Underwood e Isikdag, 2010 apud MANZIONE, 2013), um processo baseado em modelos digitais, compartilhados e integrados denominados Building Information Models.

Pode-se então classificar os Building information models como um conjunto de modelos digitais compartilhados e ricos em informações inerentes a edificação, enquanto o Building information Modeling pode ser definido como um processo que permite toda a gestão da informação referente a edificação.

Ainda segundo (Underwood e Isikdag, 2010 apud MANZIONE, 2013) é possível identificar as principais características dos Building Information Models como:

- Orientado a Objetos: Os modelos criados são definidos em um ambiente orientado a objetos;
- Ricos em dados e abrangentes: Os modelos tem abrangência e fidelidade a todas as características físicas/funcionais dos elementos construtivos;
- Tridimensionais: Os modelos criados representam a geometria sempre em três dimensões;
- Relacionados espacialmente: As relações espaciais entre os elementos da edificação são mantidas de maneira hierárquica no modelo criado;
- Semanticamente Ricos: Os modelos conseguem abranger uma grande quantidade de informação semântica sobre os elementos do edifício;

- Possibilidade de geração de vistas: As vistas do modelo são subconjuntos do modelo que podem ser geradas automaticamente com base no modelo principal.

De acordo com a General Services Administration (Administration 2007), é possível definir o Building information modeling como um processo de desenvolvimento atrelado ao uso de *softwares* que permite modelar não apenas para realizar a documentação dos projetos, mas sim para simular a construção e a operação de edifícios, sejam eles novos ou em processo de recuperação. O modelo criado através dos *softwares* é denominado de Building Information Model, rico em dados inerentes a edificação, com representação paramétrica que permite a extração das mais variadas vistas para diferentes usuários que podem analisar as informações para fornecer uma retroalimentação e buscar melhorias para a edificação.

BIM também pode ser definido, segundo (Eastman 2014) como uma tecnologia de modelagem e uma coleção de processos associados com a intenção de produzir, comunicar e analisar modelos de edificações.

Os autores caracterizam os Building Information Models como elementos que são representados de forma digital através de objetos que possuem "conhecimento" de cada elemento e que podem ser agregados através da computação gráfica para possuírem propriedades, atributos e regras paramétricas.

### 2.5.3 Principais Usos e Benefícios do BIM

Muitos autores estudaram diversas formas de aplicação do BIM, os autores associam a suas aplicação benefícios e potenciais melhorias de processos. Segundo (Eastman 2014) pode-se categorizar os benefícios de acordo com as fases do ciclo de vida da edificação.

- Fase de Concepção de projeto: Nessa etapa são realizados os estudos preliminares de conceitos e viabilidade da construção;
- Projeto: Nessa etapa temos a possibilidade de uma visualização tridimensional precisa da edificação. As mudanças realizadas no projeto são alteradas automaticamente evitando a necessidade de retrabalhos e dando uma maior agilidade durante a execução do projeto. Também nos permite uma visualização precisa de incorências nos sistemas do projeto, e a extração de quantitativos precisos dos materiais que serão utilizados durante a execução do

projeto. Durante a fase de projeto também temos a possibilidade de realizar simulações energéticas afim de otimizar o projeto;

- **Execução:** Durante a etapa de execução do projeto podemos sincronizar o planejamento da obra de acordo com os objetos do modelo. O modelo nos permite encontrar interferências físicas entre seus objetos antes da execução da obra, evitando transtornos durante sua implementação.
- **Operação:** Permite uma otimização da operação dos sistemas ativos da edificação.

Ainda segundo (Krygiel 2008) é possível elencar três benefícios básicos durante a criação de um modelo em um ambiente BIM:

- **Simulação 3D vs. Representação 2D:** O BIM permite não apenas avaliar a aparência física do edifício mas também permite visualizar colisões entre os diversos sistemas presentes na edificação, realizar diversos tipos de simulação e também extrair quantitativos precisos de materiais;
- **Precisão vs. Estimativas:** Os modelos BIM possuem um nível de precisão tanto para as análises quantitativas como qualitativas que superam os métodos de projetos e documentações tradicionais.
- **Eficiência vs. Redundância:** Através das vistas geradas automaticamente nos modelos tridimensionais vários processos de retrabalho suscetíveis a erro são minimizados.

## 2.6 SOFTWARES UTILIZADOS

Nesta seção são introduzidos os *softwares* que foram utilizados durante a análise, comentando um pouco sobre seus históricos e suas principais características e funcionalidades.

### 2.6.1 Revit

O Autodesk Revit é o atual líder do mercado de ferramentas que trabalham no ambiente BIM, muito conhecido e utilizado em projetos de arquitetura, devido ao seu potencial de modelagem tridimensional.

Com desenvolvimento inicial em 1997 no estado americano de Massachusetts o Revit teve sua primeira versão oficial lançada no ano de 2000. Em 2002 a então chamada Revit Technology, foi adquirida pela Autodesk, e a partir de então o Revit passou a fazer parte do catálogo de produtos da Autodesk.

Desde o começo do desenvolvimento do Revit, o objetivo era permitir que os arquitetos engenheiros e outros profissionais da construção pudessem criar e documentar um edifício através da criação de um modelo paramétrico em um ambiente tridimensional, o qual contivesse todas as informações inerentes a edificação, ou seja, um *software* que fosse capaz de operar segundo o conceito de Modelagem da informação.

Na mesma época diversos *softwares* como o ArchiCAD e Reflex, permitiam que os profissionais trabalhassem com um modelo virtual da construção que era controlado através de parâmetros. Entretanto o Revit utiliza um editor de família gráfico ao invés de linguagem de programação para representação dos parâmetros e todas as relações, visualizações e anotações entre os componentes do modelo são capturadas e armazenadas para que qualquer alteração feita seja propagada automaticamente para todo o modelo.

O Revit permite que um arquivo de dados seja compartilhado entre vários profissionais. Planos, seções, elevações e legendas, estão totalmente interligados e caso algum usuário realize uma mudança em determinada vista ou seção, a mesma será propagada para todo o projeto automaticamente.

Todo o modelo desenvolvido no Revit é criado utilizando objetos tridimensionais, ou seja, toda criação de paredes, vigas, pilares, tetos, janelas, portas e outros objetos são baseado em modelos tridimensionais prontos que permitem alterarmos alguns parâmetros de acordo com a necessidade. Além disso o *software* permite a criação de modelos 2D e 3D próprios ou importa-los de outra plataforma CAD nos formatos - DWG, DXF, DGN, SAT ou SKP.

A extensão do projeto criado no Revit é a - RVT. Os componentes paramétricos, também chamados de famílias, como portas, janelas, paredes e outros componentes são armazenados no formato - RFA.

O Revit atualmente possui as versões *Architecture* para projetos arquitetônicos, *Structure* para projetos estruturais e o *MEP* para projetos elétricos, hidráulicos e de instalações mecânicas. O programa ainda apresenta a interface gbXML, uma ferramenta de projetos que facilita a transferência de dados da construções para outros *softwares* de análises, e também possui a capacidade de realizar importação de modelos do SketchUp (Eastman 2014).

Durante a etapa de análise energética segundo a própria Autodesk o *software* permite simular um número máximo de superfícies, aberturas e espaços:

- Superfícies: externas: 8192;
- Superfícies: Internas: 8192;
- Superfícies: Subterrâneas: 8192;
- Superfícies: com Sombra: 1024;
- Aberturas: 8192;
- Espaços: 4096.

## 2.6.2 DIALux EVO

O *DIALux* é atualmente um dos *softwares* de simulação mais populares do mundo. Desenvolvido pela empresa alemã *DIAL GmbH* o *software* é disponibilizado gratuitamente e conta com 26 idiomas, entre eles o português.

Segundo a empresa, o *software* conta com mais de 400 mil usuários em 180 países. Ao todo 135 empresas de 29 países fornecem seus catálogos de produtos como plug-ins, em um sistema de parceria o que possibilita a gratuidade do *software*. Dentre as empresas parceiras estão a Osram e a Philips, duas das maiores fabricantes mundiais de lâmpadas.

O *software* vem sendo desenvolvido desde 1994, quando saiu sua primeira versão. Em mais de 20 anos de desenvolvimento o *software* já passou por diversas atualizações e reformulações. Atualmente o DIALux se encontra na versão 8.1.

Segundo informações do Escritório de Eficiência Energética e a Energia Renovável, órgão do Departamento de energia dos Estados Unidos, o núcleo de funcionamento do DIALux responde a normas internacionais como a DIN EN 12464-1 (2005) que é idêntica NBR 8995-1 (ABNT 2013). O *software* se baseia nessa norma para gerar resultados de cálculo de níveis de iluminância, uniformidade além de fornecer relatórios com a densidade de potência instalada, índice de ofuscamento, entre outros parâmetros. Os resultados gerados pelo programa são validados segundo a norma CIE 171:2006. E com isso é possível dizer que os resultados apresentados pelo *software* são confiáveis, tanto para os valores obtidos quanto para as imagens produzidas por ele.

Um dos grandes destaques do DIALux é a possibilidade de uma grande liberdade na escolha de luminárias e lâmpadas diferentes, devido ao seu sistema de parcerias. Além disso é possível importar arquivos de fotometria de qualquer fabricante e em qualquer formato normatizado - IES, Eulumdat, CIBSE, TM14 e LTLi.

## 2.7 METODOLOGIA UTILIZADA

Esse trabalho irá realizar uma análise qualitativa e quantitativa da atual situação energética do LabPlan mensurando seu consumo energético e o conforto interno dos usuários utilizando os Building Information Models, tais resultados serão comparados com um cenário fictício do LabPlan afim de verificarmos os impactos das medidas de eficiência energética tanto no consumo do laboratório quanto no conforto de seus usuários.

Para a realização desta análise, será realizada a implementação de um modelo tridimensional digital do laboratório na situação atual, tal modelo será utilizado para realizar as simulações de consumo energético, carga térmica dos ambientes e também para avaliar o sistema de iluminação artificial do laboratório, a partir do modelo criado será realizada uma proposta de retrofit energético e posteriormente uma análise comparativa dos dois cenários destacando as principais mudanças e seus benefícios. Tais modelos serão realizados da maneira mais precisa possível para conseguirmos bons resultados.

O LabPlan, laboratório que será analisado, se encontra nas imediações da Universidade Federal de Santa Catarina no município de Florianópolis (-27.600085, -48.517451). A seguir teremos a descrição das etapas e sub-etapas do processo de modelagem de análise.

### 2.7.1 Estudo da Volumetria

Nesta seção é descrito a metodologia utilizada para a implementação dos modelos tridimensionais utilizados na análise, desde o levantamento de dados até a implementação via *software*. Será descrito com detalhes as etapas de modelagem e dimensionamento realizadas no ambiente de cada programa utilizado.

### 2.7.1.1 Modelo Geométrico Para Análises Energéticas

Inicialmente foi realizado o levantamento de áreas do LabPlan, bem como todo o levantamento de janelas, portas e móveis que se encontram nos ambientes do laboratório.

Para realizar a implementação do modelo foi utilizada a ferramenta Revit da Autodesk que nos permite criar um Building Information Model. Através do BIM temos todas as informações inerentes a edificação.

A filosofia BIM foi implementada durante o todo o processo o que nos permite realizar um projeto mais dinâmico e integrado.

Ao final da modelagem temos como resultado um modelo tridimensional do laboratório que serviu de base para as análises energéticas e para os cálculos luminotécnicos.

### 2.7.1.2 Modelo Geométrico Para Análise Luminotécnica

Através do *software* DIALux Evo foi criado um modelo tridimensional para avaliarmos todo o sistema luminotécnico do LabPlan, tal modelo é fiel ao anterior, mas conta com informações como alguns mobiliários e refletâncias das paredes e dos pisos, tais informações são de extrema importância para o dimensionamento eficiente do sistema de iluminação.

Através desse modelo foram realizadas todas as simulações luminotécnicas de acordo com os requisitos da norma NBR/ISO 8995 - Iluminação em Ambientes de trabalho. Foi então realizada uma comparação do atual sistema com os requisitos da norma.

Também Foi realizada uma proposta de retrofit do sistema de iluminação seguindo todos os critérios estabelecidos pela norma e buscando uma alta eficiência do sistema de iluminação através de uma baixa densidade de potência nos ambientes.

## 2.7.2 Estudo Energético

Nesta seção são descritos os métodos utilizados para análise de consumo energético e desempenho térmico da edificação, bem como as ferramentas disponibilizadas pelos programas utilizados e suas principais funções e aplicações.

### 2.7.2.1 Modelo Energético da Edificação

Após a etapa de modelagem do laboratório foi realizada a criação do modelo energético que foi utilizado durante as análises de energia. Durante esta etapa foi realizado um levantamento de todo o sistema de iluminação bem como de todos os equipamentos que consomem energia. Tais informações são extremamente importantes para obtermos uma estimativa de consumo energético precisa.

Após a realização do levantamento o modelo foi atualizado, sendo adicionado a cada ambiente seus sistemas de iluminação e também seus equipamentos.

A partir desse modelo foi realizada a estimativa de consumo do laboratório para os dois cenários considerados, o do sistema atual e do sistema proposto.

Como resultado obteve-se dois modelos energéticos - atual e proposto - que foi analisado através das ferramentas fornecidas pela Autodesk.

### 2.7.2.2 Análise Termo-energética

Com o modelo energético da edificação pronto, foi realizada uma simulação termo-energética para avaliar o desempenho térmico da edificação. É possível então avaliar quais são os ambientes mais críticos, muito frios ou muito quentes, bem como quais sofrem um maior ganho de calor e quais sofrem a maior perda de calor.

Através desses resultados é possível propor soluções passivas para tornar o laboratório mais agradável e tentar reduzir a carga energética de equipamentos condicionadores de ar.

A análise foi realizada através da plataforma Insight disponibilizada pela Autodesk que permite testar os mais diversos cenários e verificar qual a solução mais adequada para cada ambiente.

### 2.7.2.3 Cálculo Luminotécnico

A partir do modelo tridimensional criado foi realizado o cálculo luminotécnico através do *software* DIALux EVO. Foram realizadas duas análises, um da atual situação e sua conformidade com a norma NBR/ISO 8995 - 1, e outra com um projeto proposto de acordo com as normativas e com nível alto de eficiência.

A análise em questão objetivou analisar a atual situação do sistema de iluminação do LabPlan e procurar melhorar a eficiência das instalações e também o conforto visual de seus usuários.

Além de tornar o sistema mais eficiente a proposta visa tornar os ambientes mais agradáveis aos seus usuários.

#### 2.7.2.4 Resultados

Com todas as simulações prontas, foi analisada a atual situação do laboratório e feita uma proposta de possíveis soluções que também foram simuladas para fins de comparação.

### 2.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO

A busca por sistemas energeticamente mais eficientes tem se tornado cada vez mais comum. Através do advento da tecnologia é possível reduzir consideravelmente o consumo de energia de edificações, através de equipamentos mais eficientes e sistemas bem dimensionados.

A avaliação dos indicadores de eficiência de uma edificação é importante para realizar um projeto de retrofit energético apropriado. Através desses indicadores é possível visualizar quais sistemas consomem mais energia e quais os fatores que influenciam nas dinâmicas energéticas do edifício. Essas informações possibilitam aos projetistas focarem seus esforços nos fatores que mais afetam o consumo dos edifícios. Além disso tais indicadores servem para avaliar o conforto dos usuários no ambiente. Através de análises luminotécnicas e das dinâmicas térmicas do ambiente é possível dimensionar os sistemas de climatização e iluminação de maneira eficiente e ainda proporcionar maior conforto aos usuários.

### 3 MODELAGEM E ANÁLISE DO LABPLAN

Neste capítulo apresentam-se os processos de modelagem e análise que foram utilizados no trabalho. São apresentados os métodos utilizados para o levantamento de informações a respeito do edifício modelado e a respeito das aproximações realizadas durante a modelagem. Na seção 3.1 é apresentado o processo utilizado para a obtenção dos dados da estrutura bem como a metodologia utilizada na implementação de cada modelo geométrico utilizado. Na seção 3.2 são apresentadas todas as considerações utilizadas para a realização do modelo de energia do laboratório bem como todo o processo de modelagem e análise dos resultados obtidos durante as simulações. Na seção 3.3 é apresentado o processo utilizado para a análise luminotécnica evidenciando os principais parâmetros analisados durante as simulações realizadas. Na seção 3.4 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

#### 3.1 MODELAGEM E ESTUDO DA VOLUMETRIA

A modelagem da edificação da maneira mais precisa possível garante uma boa precisão e acurácia durante as simulações. Não foi possível ter acesso aos dados estruturais do prédio o qual se localiza o LabPlan, logo se fez necessário realizar o levantamento estrutural do laboratório de maneira manual. Todas as medidas foram realizadas com o apoio de um fita métrica. Medidas de paredes, pisos, pé-direito, móveis e janelas foram levantadas. Além dessas medidas, algumas informações referentes a estrutura e materiais usados na edificação também precisaram ser levantados. Alguns dados precisaram ser estimados e/ou aproximados, como por exemplo as características físicas das estruturas da edificação, características dos vidros utilizados nas janelas e refletância das superfícies.

##### 3.1.1 Modelo Geométrico Para Análises Energéticas

Para a implementação do modelo tridimensional do LabPlan, escolhemos utilizar o *software* Revit da Autodesk. O programa nos oferece as mais variadas ferramentas para modelagem da edificação. Na Figura 1 pode-se observar a aba com as principais ferramentas utilizadas durante a modelagem no Revit.

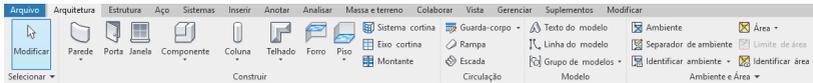


Figura 1 – Ferramentas de modelagem do Revit

Através do levantamento de áreas e do levantamento do sistema estrutural, que foi realizado no laboratório, e com as ferramentas fornecidas pelo *software*, tornou-se simples o desenho inicial do projeto em 2D, como pode-se observar na Figura 2.

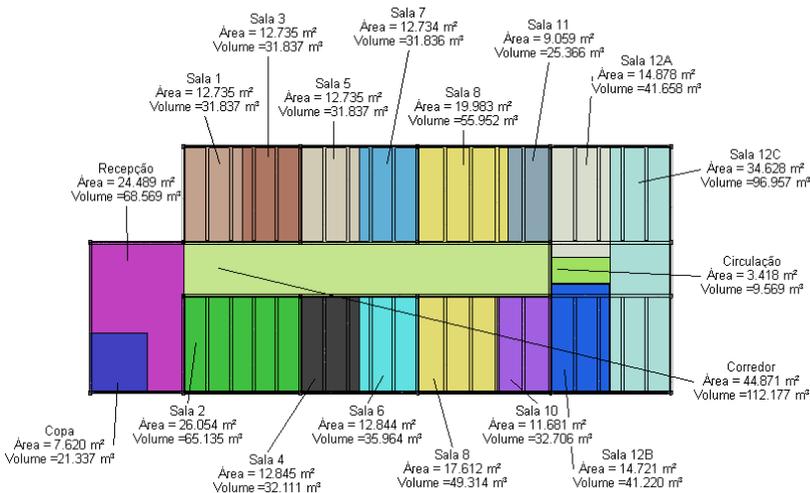


Figura 2 – Modelo 2D do Laboratório modelado no Revit

O levantamento de todas as informações inerentes a edificação foi necessário devido ao fato de que são de suma importância para as simulações termo-energéticas. Vale ressaltar também que já no desenho 2D são alocadas as colunas, vigas e contrapisos, gerando além de um projeto arquitetônico base, um projeto estrutural da edificação.

A partir do modelo 2D criado, o Revit é capaz de criar automaticamente o modelo tridimensional da edificação. Pode-se observar o resultado na Figura 3. Nota-se que apenas um pavimento foi criado, referente a planta baixa que foi desenhada conforme a Figura 2.

Para uma análise de consumo energético apenas esse modelo tridimensional já seria o suficiente. Entretanto, como foi realizada uma

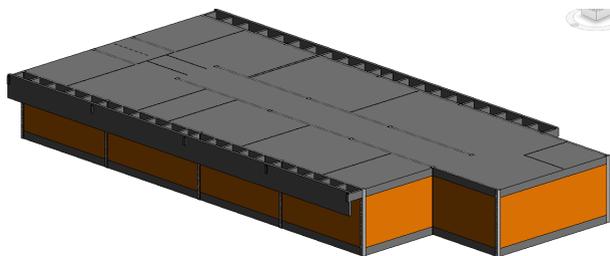


Figura 3 – Modelo tridimensional criado automaticamente pelo Revit

análise termo-energética, tanto a altura em que se encontra o ambiente simulado bem como os ambientes que trocam calor com o mesmo, seja em cima ou em baixo, e os materiais de cada componente da edificação são importantes durante a simulação. Através do levantamento feito do prédio pode-se constatar que a maior parte da edificação é igual simplificando o trabalho. Além disso, o nível de detalhamento dos andares inferiores não tem relevância para os cálculos podendo ser ignorados.

O resultado final do modelo tridimensional, criado no Revit, pode ser observado na Figura 4. Nota-se na imagem que um segundo “bloco” do edifício foi modelado por questões estéticas.

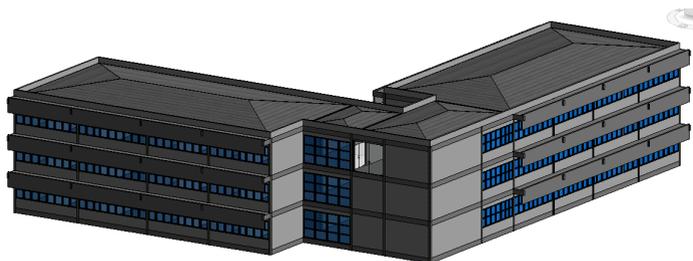


Figura 4 – Modelo Tridimensional de Toda Edificação

### 3.1.2 Modelo Geométrico Para Análise Luminotécnica

Para a criação do modelo geométrico usado nas análises luminotécnicas optou-se por utilizar o *software* DIALux EVO, que possibilita não só realizar a modelagem da edificação de forma simples como também todo o dimensionamento e simulação dos sistemas de iluminação

artificial. Com o modelo da edificação já modelado no Revit, optou-se por criar um arquivo .dwg, a partir do modelo criado, conforme a Figura 2, para facilitar a modelagem no DIALux EVO.

Além da planta baixa da edificação, foi necessário realizar o levantamento dos móveis e características de cada ambiente a fim de obtermos resultados precisos. O modelo em questão se difere do anterior pois não necessita de entrada de dados inerentes a construção, como espessura de paredes, materiais utilizados na construção etc. O modelo criado a partir do *software* DIALux EVO pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 – Modelo tridimensional implementado no DIALux EVO

Nota-se uma certa simplicidade quanto a sua estrutura, se comparado ao outro modelo. Tais simplificações são feitas devido ao foco no cálculo luminotécnico.

### 3.2 ANÁLISES ENERGÉTICAS

Após a implementação do modelo tridimensional no Revit, foi necessário realizar a configuração dos materiais utilizados na construção do laboratório e suas características como propriedades térmicas dos materiais, espessura das paredes, pisos e lajes, materiais de isolamento térmico, se utilizado e etc. Além de realizar a configuração das estruturas foi necessário definir os ambientes e o padrão de utilização para cada um deles, bem como a quantidade de pessoas que frequentam o ambiente e suas cargas elétricas.

### 3.2.1 Parâmetros e Considerações

Para realizar a modelagem da edificação no Revit foi realizado um levantamento das informações da edificação. Informações como altura do pé-direito da edificação, espessura das paredes, levantamento de áreas foram levantadas através de medição realizada com trena métrica.

Algumas informações como material das paredes, lajes, contrapiso, pisos e janelas tiveram que ser estimadas. Para a estimativa foi realizada uma avaliação desses componentes e comparados com os materiais e suas especificações presentes no Anexo Geral V - Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (INMETRO) disponibilizados pelo INMETRO através da portaria nº 50/2013. A partir desta comparação foram escolhidos os componentes mais próximos do que está presente na edificação. Na Tabela 3 é possível notar os materiais seccionados e suas propriedades.

Estrutura	Descrição	Transmissão Térmica U [W/m <sup>2</sup> K]	Fator Solar	Alpha [%]
Parede	Sem Revestimento Interno Tijolo Maciço (10,0x6,0x22,0cm) Sem Revestimento Externo	3,65	-	-
Forro	Laje Maciça (10,0cm) Câmara de ar (>5,0cm) Telha de Fibrocimento	2,06	-	-
Forro 2	Forro de Gesso (1,0cm) Laje Nervurada - Altura 22,5cm Câmara de Ar (>5,0cm) Telha de Fibrocimento	1,55	-	-
Piso	Laje Nervurada - Altura 22,5cm Contrapiso (2,0cm) Piso Cerâmico (0,75cm)	2,22	-	-
Vidros	Vidro Laminado Incolor	5,7	0,44	22

Tabela 3 – Materiais e suas propriedades considerados para o modelo.

Além das informações dos componentes da edificação, foram coletadas informações a respeito das cargas elétricas de cada ambiente do laboratório. Novamente algumas aproximações e considerações foram feitas devido ao fato de que o laboratório conta com equipamentos de diversas marcas e modelos. Com isso foi estimado uma carga para cada ambiente baseada nos equipamentos de uso geral ali presentes. Na Tabela 4 é possível observar a carga estimada para cada ambiente sendo evidenciada a finalidade de utilização da energia.

As estimativas feitas para cada ambiente foram baseadas nos equipamentos e sistemas presentes em cada ambiente em conjunto com a tabela de estimativa de consumo de equipamentos elétricos da PROCEL (PROCEL). Vale ressaltar também que a estimativa não levou em

Ambiente	Potência do Sistema de Iluminação [W]	Potência do Sistema de Climatização [W]	Potência Estimada dos Equipamentos [W]
Recepção	280	1200	1000
Copa	70	Não Climatizado	2500
Corredor	630	1200	300
Circulação	34	1200	100
Sala 1	120	822	500
Sala 2	360	1644	1000
Sala 3	120	822	500
Sala 4	120	822	500
Sala 5	120	822	500
Sala 6	140	822	1500
Sala 7	120	822	500
Sala 8	280	822	1500
Sala 9	280	822	1500
Sala 10	280	822	1500
Sala 11	140	1500	22000
Sala 12A	140	926	1500
Sala 12B	140	822	1500
Sala 12C	562	2400	1500

Tabela 4 – Estimativa de potência dos ambientes do laboratório

conta a idade e a eficiência de cada equipamento.

Também foram coletadas informações a respeito da quantidade de usuários em cada ambiente. Para esta análise foi considerada a quantidade total de usuários em cada ambiente, segundo o layout presente no próprio laboratório. Segundo as informações levantadas o LabPlan conta com aproximadamente 47 usuários.



Figura 6 – Localização do LabPlan obtida através do Google Earth

As informações da localização e do entorno da edificação também foram levantadas. Através da ferramenta *Google Earth*, foi possível determinar a sua localização geográfica e seu ângulo de posicionamento em relação ao norte. Além disso também foi possível levantar as informações do entorno e da altura das edificações ao redor. Na Figura 6 é possível visualizar a imagem da localização do laboratório obtida através do *Google Earth*.

Através da bússola do aplicativo *Google Earth* foi possível de-

terminar o ângulo de inclinação em relação ao norte com a ajuda das ferramentas de desenho que o *software* oferece. Na Figura 7 pode-se visualizar o ângulo obtido através da análise no valor de  $16,57^{\circ}$ , esse ângulo é utilizado para determinar a incidência solar na edificação.

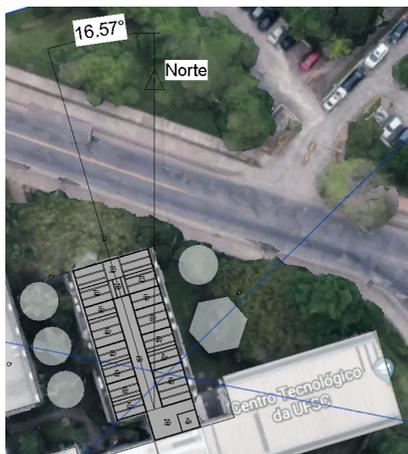


Figura 7 – Ângulo de inclinação em relação ao norte obtido através do Google Earth com auxílio do Revit

O caminho do sol é gerado pelo Revit após a configuração de posicionamento geográfico da edificação e pode ser visto na Figura 8. Nota-se na Figura 6 que todo o entorno da edificação possui influência na incidência de sol na edificação. Além de ser utilizado para determinar a capacidade de geração fotovoltaica da edificação esse dado também pode ser utilizado para determinar os ganhos de calor do prédio no decorrer do dia.

### 3.2.2 Modelo Analítico de Energia

Para realizar a simulação de energia no Revit, é necessário criar um modelo analítico de energia, que servirá de base para as simulações. Através do modelo tridimensional criado e configurado como visto na seção 3.2.1 foi necessário realizar as configurações do modelo de energia. Na Figura 9 é possível visualizar as configurações disponibilizadas pelo Revit.

Dentre as configurações disponíveis vale ressaltar as seguintes:

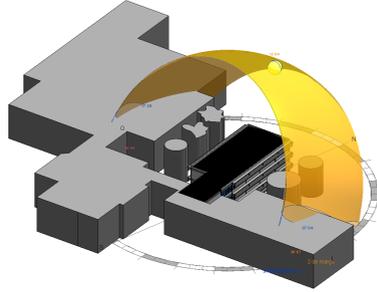


Figura 8 – Caminho do Sol gerado com base nos dados previstos para o ano de 2019

Parâmetro	Valor
<b>Comum</b>	
Tipo de construção	Escritório
Localização	Rua Delfino Conti, 386 - Trindade, Florianópolis
Nível de referência	Nível 1
<b>Modelo detalhado</b>	
Exportar categoria	Espaços
Exportar complexidade	Complexo com montantes e superfícies sombre
Fase do projeto	Fase 1
Tolerância de espaço estreito	0.3048 m
Serviço de construção	Sistemas divididos com ventilação mecânica co
Construção de edifício	<Construção>
Classe de infiltração de construção	Nenhum
Exportar valores padrão	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de relatório	Detalhado
<b>Modelo de energia</b>	
Resolução do espaço analítico	0.4572 m
Resolução da superfície analítica	0.3048 m
Deslocamento de núcleo	3.6000 m
Dividir zonas de perímetro	<input checked="" type="checkbox"/>
Construções conceituais	Editar...
Percentual de destino da vidraça	40%
Altura de destino do parapeito	0.7500 m
A vidraça está sombreada	<input type="checkbox"/>
Profundidade da sombra	0.6000 m
Percentual de destino da clarabóia	0%
Largura e profundidade da clarabóia	0.9144 m
<b>Modelo de energia - Serviços de construção</b>	
Tabela de operações de construção	Instalação 12/5
Sistema AVAC	Ventilação/Ar-condicionado compacto 11.3 EER
Informações sobre o ar exterior	Editar...

Figura 9 – Configurações de energia do Revit

- Construção do edifício - Nessa configuração são determinados os materiais e valores de transmissão térmicas utilizados durante a criação do modelo de energia. Na Figura 10 é possível visualizar

os parâmetros utilizados para a análise. Vale notar que os valores definidos na seção 3.2.1 tiveram que ser aproximados de acordo com os materiais disponíveis na biblioteca do Revit;

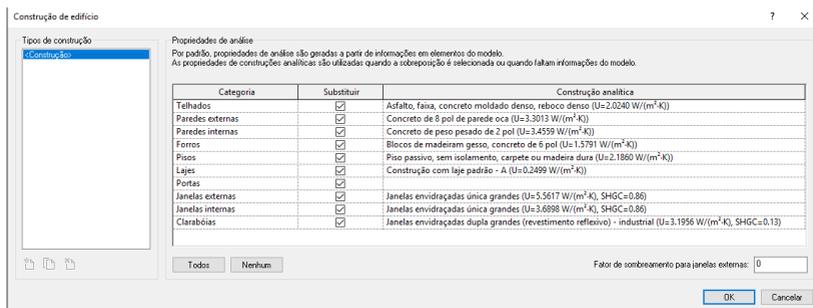


Figura 10 – Tabela com os parâmetros de construção usados no modelo de energia

- Resolução do espaço analítico e Resolução da superfície analítica - Esses dois parâmetros fornecem informações importantes que são utilizadas pelo algoritmo que gera o modelo de energia. Tais configurações afetam diretamente o tempo e processamento do modelo. Para valores maiores o tempo de processamento tende a reduzir, já para valores menores o tempo de processamento para criação do modelo pode aumentar significativamente. Embora valores menores possam aumentar o tempo de processamento, não necessariamente o modelo será mais preciso, pois em alguns casos a redução desses valores pode ocasionar omissão de espaços;
- Tabela de operação da construção - Esse parâmetro fornece informação sobre as suposições de ocupação. Para esta análise foi selecionado a tabela 12/5, 12h de operação durante 5 dias semanais. Na Figura 11 é possível visualizar o gráfico de operação.

Após essas configurações foi preciso definir os espaços, que são os componentes utilizados durante os cálculos da simulação de energia. Os espaços são responsáveis por armazenar uma diversidade de parâmetros utilizados durante a análise. Na Figura 12, é possível visualizar os espaços definidos para esta análise junto com seus dados de área e volume.

Dentre os parâmetros dos espaços destacam-se os relacionados a análise de energia que podem ser visualizados na Figura 13. O espaço é

## Instalação 12/5

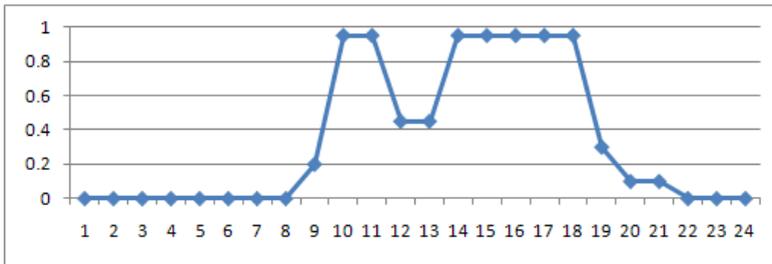


Tabela da instalação 12/5 em dias úteis

Figura 11 – Gráfico de ocupação do edifício.

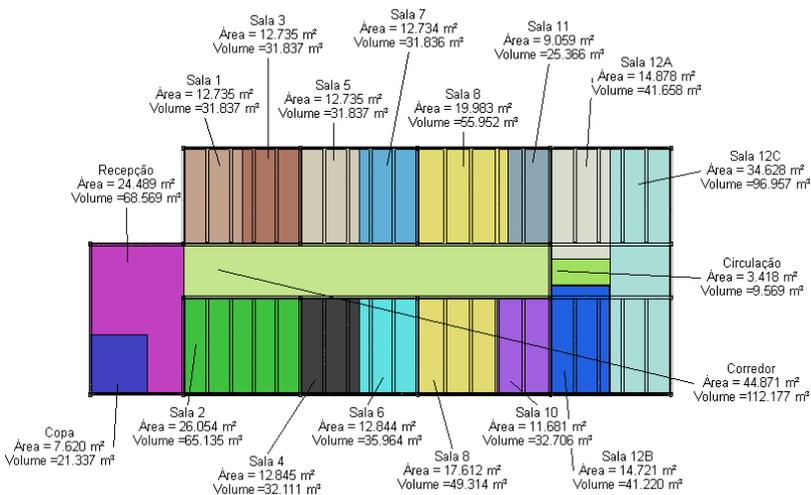


Figura 12 – Espaços definidos no Revit.

então configurando quanto ao seu tipo de utilização como *Ocupação* ou *Plenum* (para o caso de shafts) e seu tipo de climatização. Além de possibilitar a adição de informações e ocupação e cargas elétricas do ambiente.

Além disso é possível configurar qual a função de utilização dos espaços. O Revit trás configurações pré-determinadas para algumas

Análise da energia	
Zona	1
Plenum	<input type="checkbox"/>
Ocupação	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de condição	Resfriado
Tipo de espaço	Laboratório - ...
Tipo de construção	<Construção>
Pessoas	Editar...
Cargas elétricas	Editar...
Carga calculada de aquecimento	0.00 W
Carga de aquecimento do projeto	0.00 W
Carga calculada de resfriamento	9661.21 W
Carga de resfriamento do projeto	0.00 W

Figura 13 – Parâmetros da análise de energia dos espaços.

atividades, para a análise em questão exceto os corredores, recepção e copa todos os ambientes foram configurados como um espaço do tipo *Laboratório - Escritório*. Os parâmetros definidos para tal tipo de ambiente pode ser visto na Figura 14.

Parâmetro	Valor
<b>Análise da energia</b>	
Área por pessoa	20.000 m <sup>2</sup>
Ganho de calor sensível por pessoa	73.27 W
Ganho de calor latente por pessoa	58.61 W
Densidade de carga de iluminação	15.07 W/m <sup>2</sup>
Densidade de carga de potência	16.15 W/m <sup>2</sup>
Contribuição de iluminação do plenum	20.0000%
Tabela de ocupação	Ocupação de escritório comum - 08:00 a
Tabela de iluminação	Iluminação do escritório - 06:00 a 23:00
Tabela de potência	Iluminação do escritório - 06:00 a 23:00
Ar exterior por pessoa	4.72 L/s
Ar exterior por área	0.91 L/(s·m <sup>2</sup> )
Alterações do ar por hora	0.000000
Método de ar externo	por Pessoa e por Área

Figura 14 – Parâmetros da análise de energia para o tipo de espaço.

Vale ressaltar que alguns parâmetros como a *Densidade de carga de iluminação* e a *Densidade de carga de potência* foram alteradas para os valores levantados e estimados do LabPlan. Além disso os parâmetros *Tabela de ocupação*, *de iluminação* e *de potência* também foram alterados para os horários de funcionamento do laboratório.

Todos os demais parâmetros que não foram modificados, são valores padrão em acordo com as normas da ASHRAE (ASHRAE 2013). Com os espaços criados e configurados adequadamente, foram criadas as zonas, que são utilizadas para determinar alguns parâmetros do sistema de climatização de cada espaço. Foram definidos como *set points* de temperatura, ou como referindo no Revit, *Ponto de resfriamento e Temperatura de resfriamento do ar* com os valores de 25 °C e 22 °C respectivamente, com exceção da sala dos servidores que ficou com um *set point* de 25 °C e 20 °C respectivamente, devido aos equipamentos presentes na sala necessitarem de uma carga de resfriamento maior.

Após todas as configurações o modelo de energia pôde ser gerado, seu resultado pode ser visto na Figura. Através desse modelo foram realizados as simulações de consumo e energia, cargas térmicas dos ambientes e cargas de resfriamento do sistema de climatização para cada espaço criado.

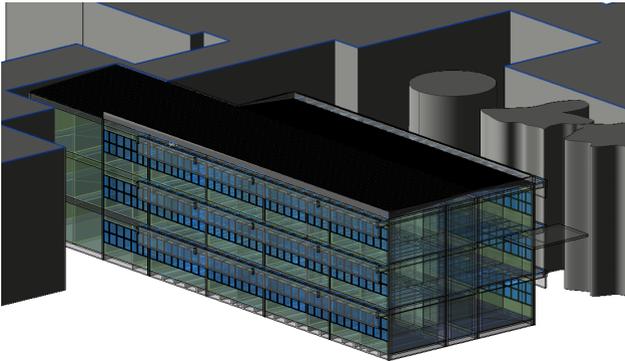


Figura 15 – Modelo de energia gerado pelo Revit

### 3.2.3 Simulação e resultados

O Revit possibilita a realização de diversas simulações e análises diferentes. É possível simular desde sistema estrutural do edifício até seus sistemas hidráulicos e elétricos. Neste trabalho o Revit foi utilizado para simulação e análise do consumo de energia da edificação que inclui os sistemas de iluminação, climatização e a estimativa de consumo dos equipamentos. Também foi utilizado para a análise de incidência

solar na edificação afim de verificar seu potencial de geração fotovoltaica e também foi realizada uma simulação termo-energética afim de verificar as cargas de aquecimento e resfriamento de cada ambiente do laboratório.

### 3.2.3.1 Estimativa de cargas térmicas do laboratório

Com o modelo de energia pronto, foi utilizada a ferramenta de cálculo para *Cargas de aquecimento e resfriamento* do Revit estimar os ganhos e a perdas de calor dentro dos espaços criados no modelo de energia. Ao executar o cálculo o sistema se baseia as informações de energia que foram configuradas para cada espaço, levando em conta o número de pessoas que ocupam o ambiente, a potência do sistema de iluminação e a potência dos equipamentos presentes no espaço. Tais parâmetros podem ser visualizados na Figura 16.

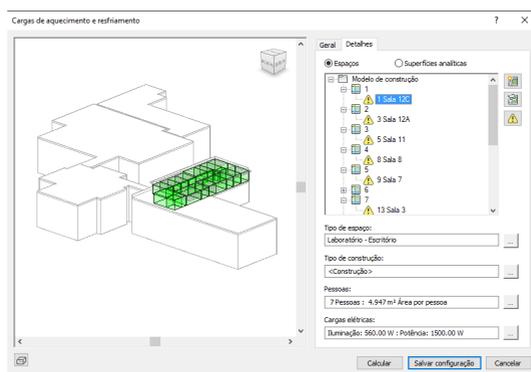


Figura 16 – Configurações para o cálculo de carga térmica dos espaços do modelo de energia

Através das informações de localização informadas durante a modelagem o Revit tem acesso aos dados da estação meteorológica, nomeada de 833732, que se encontra próximo ao endereço do LabPlan. Através destes dados o Revit tem informações de temperaturas médias anuais além de dados de distribuição e velocidade dos ventos e de umidade relativa do ar.

As informações sobre a localização e clima são os primeiros itens evidenciados após a realização dos cálculos e podem ser observadas na Figura 17. Através desses dados o Revit é capaz de calcular as cargas

de resfriamento e aquecimento da edificação.

Localização e clima	
Projeto	Retrofit LABPLAN
Endereço	Rua Delfino Conti, 386 - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-365
Tempo de cálculo	terça-feira, 25 de junho de 2019 22:40
Tipo de relatório	Detalhado
Latitude	-27.60°
Longitude	-48.52°
Bulbo seco de verão	31 °C
Bulbo molhado de verão	24 °C
Bulbo seco de inverno	9 °C
Faixa diária média	9 °C

Figura 17 – Informações da localização e temperaturas do projeto

Na Figura 18 é possível observar o gráfico de cargas mensais de aquecimento, que foi gerado através do cálculo realizado no Revit. Vale ressaltar que os valores negativos do gráfico representam perdas de calor para o meio, enquanto os valores positivos representam ganhos de calor para o meio. É possível perceber que durante os meses de inverno ocorre uma grande perda de calor pelas janelas e pelas paredes, devido ao baixo isolamento térmico dos vidros e das paredes externas da edificação.

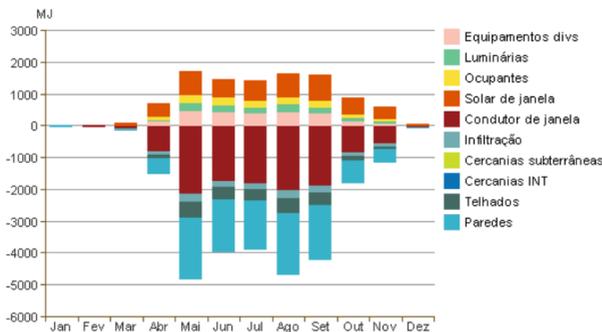


Figura 18 – Cargas mensais de aquecimento obtidas através da simulação feita pelo Revit

Já na Figura 19 é possível visualizar as cargas mensais de resfriamentos dos laboratório. É possível notar que os *equipamentos* são os maiores responsáveis pelos ganhos de calor dos ambientes, isso é ocorre devido aos servidores presentes na sala 11 do laboratório, eles possuem uma potência nominal de aproximadamente 17 kW e emanam grandes quantidades de calor para o ambiente. Vale destacar também que mesmo com todo o sombreamento no entrono da edificação e dos

brises pertencentes a estrutura no edifício a um grande ganho de calor proveniente das janelas do laboratório que ocupam uma área de aproximadamente 85 m<sup>2</sup> nas paredes externas do LabPlan.

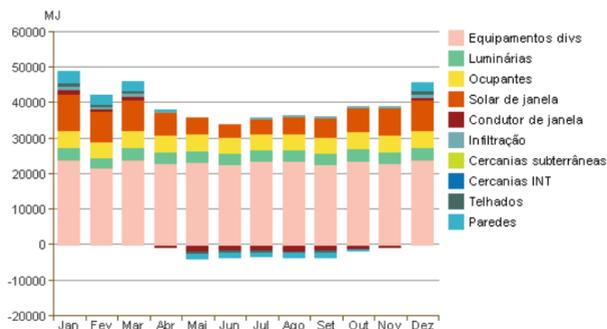


Figura 19 – Cargas mensais de resfriamento obtidas através da simulação feita pelo Revit

Vale ressaltar que a própria Autodesk, através do *Sustainability Workshop de 2016* reconheceu que as simulações realizadas através da plataforma DOE-2, utilizada pelo Revit, tendem a superestimar as cargas térmicas dos ambientes. Logo é recomendado o uso dos resultados afim de comparações de alternativas de projeto e não como valores numéricos absolutos.

Além dos gráficos é possível obter as informações de pico da *carga de resfriamento* necessária para cada ambiente, baseados nos cálculos das cargas térmicas, além de fornecer o valor detalhado dos componentes responsáveis pelas cargas de resfriamento e aquecimento de cada ambiente. O valor de pico *carga de resfriamento* corresponde ao valor necessário que o sistema de climatização necessita disponibilizar para resfriar o ambiente.

O valor de pico da *carga de resfriamento* é definido no dia o qual ocorre o maior ganho de calor no ambiente. Esse valor é utilizado para o dimensionamento de sistemas de climatização. Através dele é possível se determinar qual a capacidade de refrigeração necessária para cada ambiente, auxiliando no dimensionamento para o caso de sistemas de climatização centrais, e para o caso de unidades compactas, como o caso dos Split High Wall, auxiliando na escolha do aparelho que será instalado em cada ambiente.

Na Tabela 5, é possível visualizar os valores de pico de carga de resfriamento para cada espaço definido no modelo de energia. A

unidade *Tonelada de Refrigeração* é equivalente a 12.000 BTU/h e é a unidade mais utilizada durante a realização de projetos de sistemas de climatização.

Ambiente	Pico de Carga de Resfriamento [TR - Toneladas de Refrigeração]
Recepção	2.4
Copa	0.9
Corredor	1.1
Circulação	0.1
Sala 1	1.1
Sala 2	1.7
Sala 3	1.0
Sala 4	0.7
Sala 5	1.0
Sala 6	0.9
Sala 7	1.0
Sala 8	1.1
Sala 9	1.8
Sala 10	0.9
Sala 11	5.7
Sala 12A	1.3
Sala 12B	0.6
Sala 12C	2.3
Total	23.8

Tabela 5 – Cargas de refrigeração de cada ambiente do laboratório obtido através da simulação feita pelo Revit

Nota-se que a *Sala 11* ficou com um pico de carga de resfriamento bem elevado, isso ocorre devido a grande potência dos servidores presentes naquele ambiente que juntos possuem uma potência nominal de *17.600 Watts*. Vale lembrar que como dito anteriormente os valores de cargas térmicas utilizados para a determinação do pico de carga de resfriamento podem superestimar as cargas provenientes dos equipamentos elétricos.

### 3.2.3.2 Estimativa de consumo energético do laboratório

Após a configuração do modelo de energia com as cargas de iluminação foi selecionado o sistema de climatização que será simulado. Aqui o *software* restringiu a análise a alguns sistemas, em sua maioria de sistemas centrais de climatização. Assim se fez a escolha do sistema *Ventilação/Ar-condicionado compacto 11.3 EER*, tal sistema é

o mais próximo do sistema *Split High Wall* que existe nos espaços do laboratório.

O valor de EER é a relação entre a capacidade total de resfriamento do equipamento e sua potência nominal. Quanto maior o valor de EER de um equipamento maior é a sua eficiência. Vale notar que o valor de EER considerado para os equipamentos do laboratório foi de 11. Tal valor foi considerado baseado no levantamento de equipamentos de climatização do laboratório. Também é importante notar que a idade dos equipamentos não é levada em conta na simulação, logo perdas de eficiência com o tempo, principalmente nos trocadores de calor do equipamentos não foram consideradas no consumo de energia.

Para rodar a simulação é criado um arquivo que é enviado para o servidor virtual da Autodesk, evitando um tempo muito longo de simulação, que ficou em torno de 10 minutos por simulação. Após pronta a simulação é possível visualizar seus resultados na opção *Resultados e Comparações*.

A simulação resulta em diversos resultados. Na Figura 20 é possível observar os *Fatores de Desempenho do edifício* que foram considerados na simulação, vale ressaltar que alguns parâmetros como *potência média de iluminação e coeficiente de janela externa*, são calculados pelo *software* baseado nas configurações feitas no modelo.

### Fatores de desempenho do edifício

Localização:	Florianópolis, Santa Catarina
Estação de meteorologia:	833732
Temperatura externa:	Máx: 32°C/Mínimo: 4°C
Área do piso:	307 m <sup>2</sup>
Área da parede externa:	71 m <sup>2</sup>
Potência média de iluminação:	12.49 W/m <sup>2</sup>
Pessoas:	44 pessoas
Coeficiente de janela externa:	1,05
Custo de eletricidade:	R\$ 0,52/kWh
Custo de combustível:	R\$ 1,75/Tê mica

Figura 20 – Fatores de desempenho do edifício considerados para a simulação do Revit

O valor de custo de eletricidade foi retirado da tabela de tarifa convencional da Celesc (Celesc 2018). O custo do combustível que pode ser visto na Figura 20 não foi levado em consideração na devido ao fato de não estar presente no sistema energético do LabPlan, mas é válido

ressaltar que o *software* é capaz de simular o consumo de sistemas de aquecimento a gás tanto para água quanto para ambientes.

O gráfico de consumo do laboratório pode ser visualizado na Figura 21. Os valores do gráfico são referentes ao período de um ano, de acordo com os resultados obtidos através da simulação laboratório possui um custo anual de energia estimado em R\$ 107.956,00.

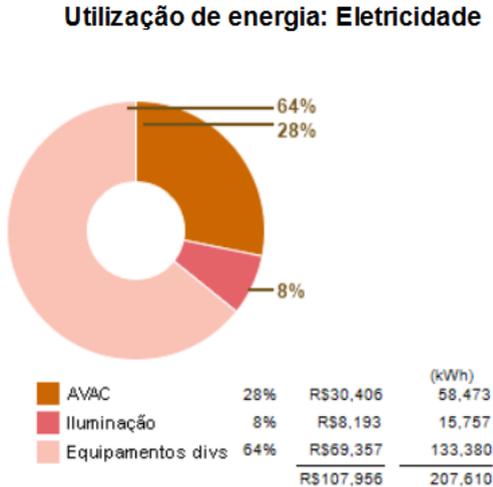


Figura 21 – Consumo de energia anual do LabPlan

Pode-se notar que 64% do consumo de energia provem dos equipamentos do laboratório, com um consumo anual de 133.380,00 kWh, esse fato ocorre devido ao servidores possuírem uma potência nominal de 17,600 Watts e operarem por 24h diárias, apenas a carga dos servidores representam aproximadamente todo o consumo de equipamentos do laboratório. O sistema de refrigeração também é um grande consumidor de energia, chegando a consumir 58.473,00 kWh/ano, representando um total de 28% de toda energia consumida pelo LabPlan. Os outros 8% de consumo provem do sistema de iluminação com um consumo anual de 15.757,00 kWh.

O consumo mensal de energia pode ser visualizado através do gráfico na Figura 22. Como era esperado os meses que compreendem os períodos mais quentes do ano possuem um consumo de energia maior que o restante. Vale ressaltar que na análise não foram considerados

sistemas de aquecimento para o ambiente, logo os valores de consumo do sistema de climatização correspondem apenas ao resfriamento dos ambientes.

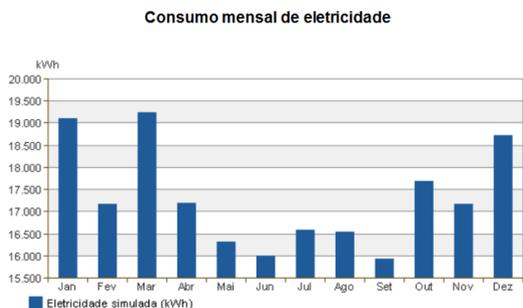


Figura 22 – Consumo de energia mensal estimado através da simulação no Revit - Cenário Atual

Na Figura 23 é possível visualizar o pico de demanda mensal do laboratório. Vale notar que entre os meses de Abril a Maio ocorre uma queda de demanda de energia significativa. Pode-se concluir que durante este período provavelmente o sistema de climatização não teve uma grande demanda de energia devido a temperaturas mais amenas ocasionando o vale no gráfico.

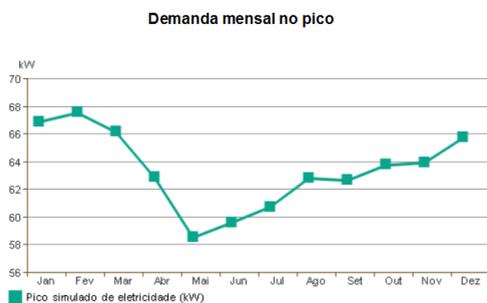


Figura 23 – Pico de consumo de energia mensal estimado através da simulação no Revit - Cenário Atual

Através do gráfico na Figura 24, é possível notar que o período do ano com a média de temperatura mais baixo se localiza entre os meses de Abril a Maio, mesmo mês que ocorre a queda de demanda de energia.

Os gráficos climáticos são gerados automaticamente pelo Revit, com base nos dados fornecidos pela estação climática selecionada.

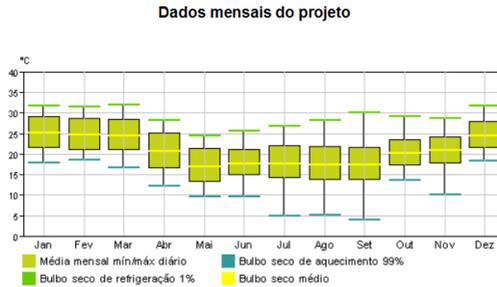


Figura 24 – Temperaturas médias anuais para a região onde se localiza o LabPlan

### 3.2.3.3 Estimativa de geração fotovoltaica

Através do modelo tridimensional criado é possível realizar um estudo de incidência solar no edifício e avaliar seu potencial para um sistema de geração fotovoltaica. Através da geolocalização definida o Revit tem acesso às estações climáticas próximas da região selecionada e isso permite ao *software* utilizar os dados climáticos coletados na região para gerar os resultados da simulação, isso em conjunto com o ângulo de inclinação da edificação em relação ao norte gera o mapeamento solar realizado pelo Revit como visto na Figura 8.

Através do mapeamento solar realizado e do sombreamento causado pelo entorno da edificação, foi possível estimar a insolação média no telhado do edifício, além do potencial de geração fotovoltaica.

A simulação realizada se baseou no ano de 2019, para o período compreendido entre 01/01/2019 a 21/12/2019. Além disso a incidência solar foi analisada apenas na cobertura superior da edificação, visto que é o local mais viável para uma possível instalação fotovoltaica.

Na Figura 25 é possível observar o resultado da *Incidência Solar Média* obtida através da simulação realizada no Revit. É possível notar que a cobertura possui uma boa distribuição da incidência solar, e que os sombreamentos do entorno não interferem de maneira relevante.

Para a simulação do potencial de geração fotovoltaico da edificação foram realizadas algumas configurações que podem ser visualizadas

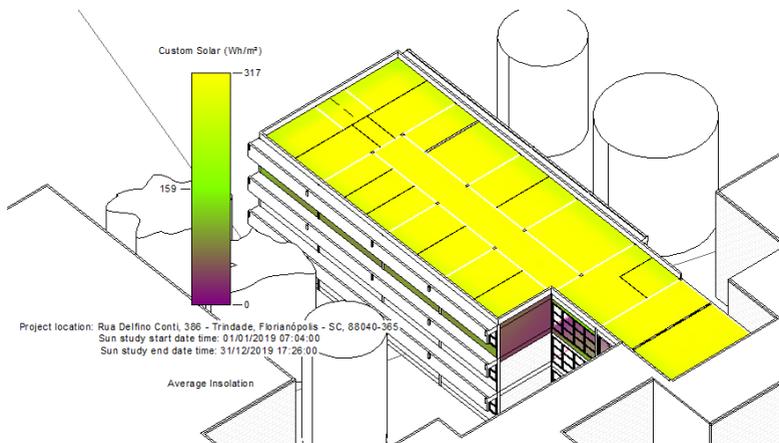


Figura 25 – Incidência solar média no telhado do edifício onde se encontra o LabPlan

na Figura 27. O valor da tarifa foi fixado em R\$ 0,52/kWh, a área selecionada para análise foi apenas a região do telhado. As demais áreas ficaram de fora da análise.

Study Settings ? X

Weather Data: ID 833732 - Rua Delfino Conti, 386 - Trindade, Florian

Analysis Period: Full Annual

Building Area: <user entered> 0 m²

Building Energy: EUI kWh/m²/year

Electricity Cost: R\$0,52 / kWh 0.0 % escalation

Panel Type: 16.0% \$2.86/Installed Watt

Coverage: 50% of selected surface area

Payback Filter: 20 year payback limit

Analysis Grid: 0.95 meter grid, 490 analysis points

Coarse Fine

Apply

Figura 26 – Configurações realizadas para a análise de potencial de geração fotovoltaica

Também foi determinado uma porcentagem de 50% para a cober-

tura do telhado, ou seja, apenas 50% da área selecionada será utilizada para a simulação do sistema. Isso foi feito devido ao espaço necessário entre os módulos e as muretas de proteção do telhado, há espaços onde não é possível instalar os módulos, além de espaços que devem ser deixados para equipes de manutenção e troca de equipamentos.

A simulação foi realizada levando em conta módulos com eficiência de 16% e com custo de R\$ 2,86 / Wp, esse valor é utilizado para a estimativa de payback da simulação.

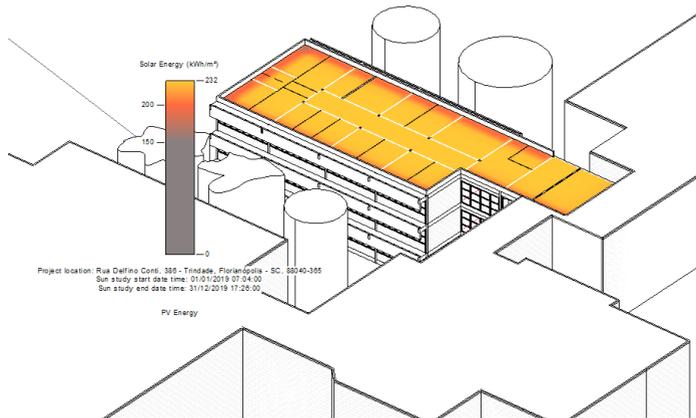


Figura 27 – Resultados da simulação fotovoltaica realizada pelo Revit

O resultado da simulação pode ser visto na Figura 27. Nota-se que as sombras do entorno não trazem grande impacto para a incidência solar no telhado do edifício. O telhado do edifício tem um potencial de geração fotovoltaica estimado pelo *software* de aproximadamente  $40.000 \text{ kWh/Ano}$  que pode trazer um economia de aproximadamente R\$ 22.000,00 na conta de luz do edifício que podem ser visualizados na Figura 28.

Aqui vale ressaltar que o valor do *payback* calculado pelo simulador, de 4,3 anos, leva em consideração apenas o valor dos módulos fotovoltaicos, sem levar em consideração o valor dos inversores utilizados no sistema nem custos de instalação e equipamentos adicionais.

Vale ressaltar que a análise realizada pelo Revit é apenas uma estimativa de geração fotovoltaica, servindo apenas como um *background* para análise. Para uma análise com maior acurácia, precisão e nível de detalhamento a ferramenta *PVSyst* é mais apropriada.

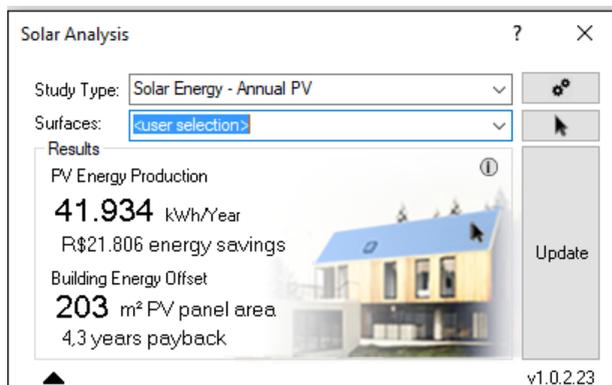


Figura 28 – Resultados da simulação realizada no Revit

### 3.3 ANÁLISE DE ILUMINAÇÃO

Com o modelo tridimensional pronto foi preciso ajustar os ambientes de acordo com o levantamento que foi realizado no laboratório, como cores de paredes, pisos e objetos, alturas dos planos de trabalho, a função de utilização para cada ambiente e os tipos e quantidade de luminárias e lâmpadas em cada ambiente. Com todos os parâmetros ajustados é foi realizada a simulação e posteriormente o comparativo com os parâmetros solicitados pela norma NBR ISO/CIE 8995:2013 (ABNT 2013).

#### 3.3.1 Dimensões, Materiais de Acabamento e equipamentos de iluminação do LabPlan

Os ambientes do laboratório tiveram todas as medidas e acabamentos levantados através de trenas métricas, bem como elementos de forro, mobiliário e o posicionamento do sistema de iluminação. Na Figura 2 pode-se verificar a planta baixa do laboratório a qual consta a informação da área de cada ambiente, além disso abaixo pode-se observar abaixo algumas medidas importantes e usadas durante a análise.

- Área Interna Total:  $307m^2$
- Pé-Direito: 2.8m
- Peitoril das Janelas: 0.80m

- Altura do plano de trabalho: 0.75m

O levantamento de equipamentos de iluminação feito no laboratório pode ser visto na Tabela 6.

Ambiente	Nº de luminárias	Nº de lâmpadas	Pot. das lâmpadas
Recepção	4	16	32 Watts
Copa	1	2	32 Watts
Corredor	9	-	-
Circulação	1	2	16 Watts
Sala Multiúso	6	24	14 Watts
Sala dos servidores	2	4	32 Watts
Sala 6	2	4	32 Watts
Sala 8	4	8	32 Watts
Sala 9	4	8	32 Watts
Sala 10	2	4	32 Watts
Sala 12A	2	4	32 Watts
Sala 12B	2	4	32 Watts
Sala 12C	10	20	4x 12 Watts 16x 32 Watts
Prof. Mauro Rosa	2	8	14 Watts
Prof. Diego Issicaba	2	8	14 Watts
Prof. Ildemar Decker	2	8	14 Watts
Prof. Erlon Finardi	2	8	14 Watts
Prof. Antonio Aquino	2	8	14 Watts

Tabela 6 – Levantamento do sistema de iluminação do laboratório

O levantamento foi utilizado durante a primeira análise luminotécnica.

### 3.3.2 Parâmetros e Considerações

Durante o ano de 2013 a norma de iluminância de interiores NBR 5413 (ABNT 1992) foi revogada, em seu lugar foi estabelecida a NBR/ISO CIE 8995-1:2013 - Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1 (ABNT 2013). Essa nova norma, baseada em normas europeias, trás um revisão com mudanças de aspectos qualitativos e uma revisão quantitativa que determina qual a iluminância média<sup>1</sup> que devemos manter em determinado ambiente.

Com isso além de a norma especificar os níveis de iluminância conforme a tarefa ou atividade a ser desempenhada no ambiente

---

<sup>1</sup>“Valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida”

para cada tarefa ou atividade foram especificados valores máximos para ofuscamento, valores mínimos para o índice de reprodução de cores e também foram feitas recomendações relacionadas com a utilização da iluminação natural e também quanto a manutenção dos sistemas de iluminação e a sua durabilidade.

Na seção 4 da NBR 8995-1 trás alguns critérios de conforto visual que estão relacionados á distribuição das luminâncias nos ambientes, indicando as faixas de refletâncias úteis para as superfícies do ambiente, entretanto a norma não menciona necessidade de comprovação de tal informação.

A norma também avalia a distribuição de luminância de acordo com as iluminâncias recomendadas no entorno imediato relativas as iluminâncias dos planos de trabalho com o intuito de diminuir mudanças bruscas que causem esforço visual aos usuários do ambiente e uniformizar a distribuição de iluminâncias.

A norma ainda estabelece critérios de iluminação de acordo com o tipo de ambiente e as tarefas e atividades que são realizadas no mesmo. Os principais requisitos avaliados pela norma são os valores estipulados para a iluminância mantida no ambiente ( $E_m$ ), o índice limite de ofuscamento desconfortável ( $UGR_L$ ), que relacionam a posição-padrão do observador e a relação entre espaçamento e altura das luminárias.

Na Tabela 7 temos um resumo dos ambientes da NBR 8995-1 conforme as atividades realizadas em um edifício de escritórios, além de ambientes comuns de escritórios a tabela também conta com algumas áreas gerais da edificação como banheiros, circulações, halls de entrada e salas de descanso. Optou-se por resumir a tabela e destacar apenas as áreas que são compatíveis com o projeto em questão.

### 3.3.3 Simulação e resultados

Inicialmente os ambientes foram simulados da maneira como são na prática, ou seja, ao modelo tridimensional foram adicionadas todas as informações levantadas no laboratório para realizar uma simulação da atual situação do sistema de iluminação do LabPlan.

Ao modelo criado na seção 3.1.2 foram adicionados o mobiliário, para ambientes com layout fixo, os elementos dos cômodos, como vigas e detalhes dos ambientes e o sistema de iluminação. Vale ressaltar que a parte do mobiliário não é de total importância para os cálculos visto que na maioria dos ambientes os móveis não trazem um grande

Tipo de Ambiente, Tarefa ou Atividade	$E_m$ (Lux)	$UGR_L$	$R_a$	Observações
1. Áreas gerais da edificação				
Saguão de Entrada	100	22	60	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, para evitar mudanças visuais bruscas.
Sala de Espera	200	22	80	
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	
Sala de descanso	100	22	80	
22. Escritórios				
Arquivamento, cópia circulação etc	300	19	80	Para trabalhos com VDT, ver 4.10
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80	
Desenho Técnico	750	16	80	
Estações de projeto assistido por computador	500	19	80	Para trabalhos com VDT, ver 4.10
Sala de reunião e conferência	500	19	80	Recomenda-se o uso de iluminação dimerizável
Recepção	300	22	80	
Arquivos	200	25	80	

Tabela 7 – Resumo de ambientes, tarefas ou atividades presentes em edifícios de escritórios conforme a NBR 8995-1 (ABNT 2013). Fonte: Adaptada NBR 8995-1 (2013)

impacto na distribuição da luminância. Na Figura 29 pode-se visualizar o resultado final do modelo para análise em 2D e nas Figuras 30 e 31 tem-se o visual do modelo em 3D.

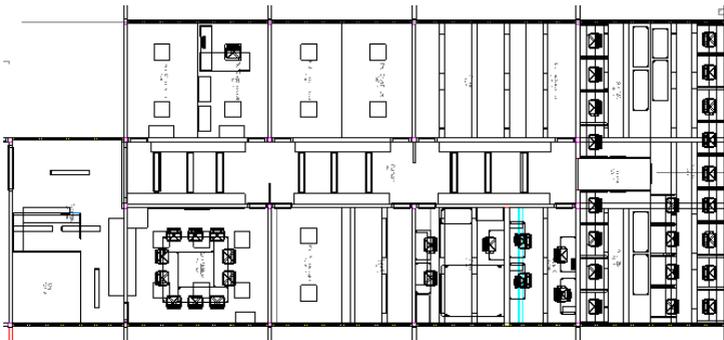


Figura 29 – Modelo 2D com mapeamento de luminárias e inclusão de mobiliário

Na Tabela 8 pode-se observar a lista de ambientes que foram simulados e analisados e suas respectivas classificações.

Através dessa classificação e da Tabela 7 foi possível definir os níveis mínimos dos parâmetros solicitados em norma e através da simulação verificar se estão sendo atendidos devidamente. A análise foi

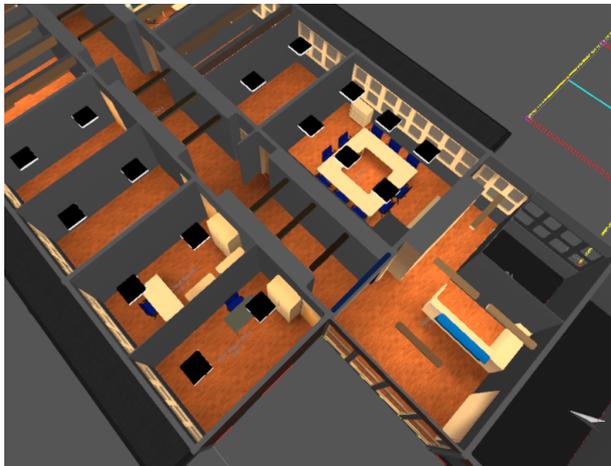


Figura 30 – Modelo 3D com inserção de luminárias e mobiliários. Parte a

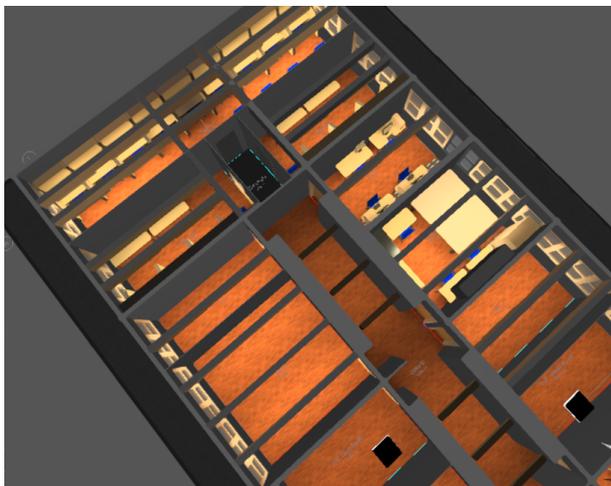


Figura 31 – Modelo 3D com inserção de luminárias e mobiliários. Parte b

feita cômodo a cômodo, destacando os planos de cálculo definidos e pontuando as incoerências com a NBR 8995-1 (ABNT 2013).

Ambiente	Classificação quanto ao tipo de ambiente	Classificação quanto ao tipo de atividade
Recepção	Ambientes de escritório	Recepção/Leitura, escrita tratamento de dados etc.
Copa	Áreas gerais da edificação	Refeitório/Descanso
Corredor	Ambientes de escritório	Circulação
Circulação	Ambientes de escritório	Circulação
Sala Multiuso	Ambientes de escritório	Reuniões, apresentações etc.
Sala dos servidores	Ambientes de escritório	Processamento de dados
Sala 6	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Sala 8	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Sala 9	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Sala 10	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Sala 12A	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Sala 12B	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Sala 12C	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Prof. Mauro Rosa	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Prof. Diego Issicaba	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Prof. Ildemar Decker	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Prof. Erlon Finardi	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.
Prof. Antônio Aquino	Ambiente de escritório	Sala para, leitura, escrita tratamento de dados etc.

Tabela 8 – Relação de ambientes, tipos e funções.

### 3.3.3.1 Recepção

Inicialmente foi realizada a configuração de análise do ambiente, para isso o *software* nos dá acesso a uma aba com as configurações de análise do ambiente selecionada, como pode ser visto na Figura 32.

Após a configuração do ambiente foi feita a inserção das luminárias conforme o mapeamento e os dados coletados no laboratório, como tamanho e tipo de luminárias e número de lâmpadas e suas características, como fluxo luminoso, potência em watts e o tipo de lâmpada.

Foram então definidas as superfícies de cálculo, ou seja, os locais nos quais a análise foi realizada. Por exemplo, na superfície do balcão de atendimento da recepção a norma estipula um  $E_m$  mínimo de 300 lux, um  $UGR_L$  de 22 e um índice de reprodução de cores de 80, tais valores devem ser medidos no plano de trabalho da recepção, podemos notar que esses valores devem ser atendidos principalmente na região do balcão de atendimento, as demais passagens, que estão marcadas na Figura 33 podem ter como o plano de uso o chão e serem consideradas

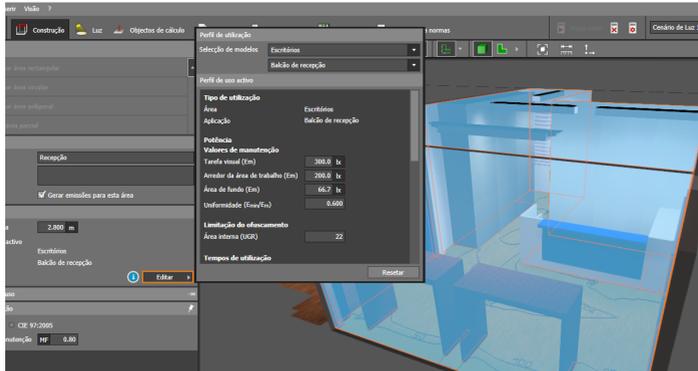


Figura 32 – Configuração do perfil de utilização do ambiente

áreas de circulação e corredores.

Levando esse fato em conta pode-se evitar o uso excessivo de luminárias em um determinado ambiente e garantir uma melhor uniformidade na distribuição de luminância nos planos que realmente interessam.

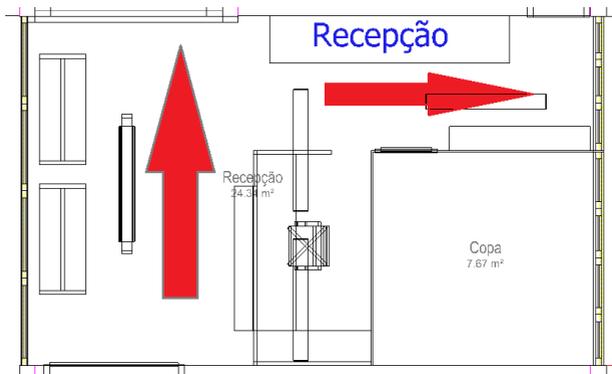


Figura 33 – Planta baixa da recepção com a indicação das áreas de passagens

Foram definidos dois planos de cálculo para fazer esta avaliação, um deles será o balcão de atendimento da recepção, levando em conta a altura do plano de trabalho que é 0.75cm, e o outro será o piso da recepção que será avaliada como área de circulação, visto que grande parte da recepção tem apenas a função de passagem. Os planos de

cálculo definidos podem ser vistos na Figura 34.



(a) Plano de trabalho do chão da recepção



(b) Plano de trabalho do balcão

Figura 34 – Planos de trabalho definidos para realizar a análise

Como resultado da simulação pode-se observar a distribuição de iluminância nos planos de trabalhos definidos. Além disso é possível extrair informações como o ofuscamento causado pelo sistema de iluminação e a uniformidade de distribuição da iluminância.

Na Figura 35 é possível visualizar a distribuição de iluminância no plano de trabalho da área de circulação da recepção. Segundo a Tabela 7 áreas de circulação necessitam de uma iluminância média de 100 Lux e de um índice de ofuscamento menor do que 28. Pode-se notar

no resultado da simulação que a iluminância média mantida no chão da recepção ficou em uma média de 294 Lux, que embora seja um valor bem acima do exigido, satisfaz a necessidade do ambiente sem causar prejuízo visual aos usuários, também nota-se que o valor do índice de ofuscamento se manteve dentro do exigido, com um valor de 23.1. Pode-se observar também que a uniformidade de distribuição de iluminância em grande parte da sala se mantém em um valor aceitável, entretanto é possível observar que em determinadas regiões, em geral nos cantos, temos valores mais baixos de iluminância, o que acaba diminuindo o valor da uniformidade embora não cause prejuízo visual aos usuários do ambiente.

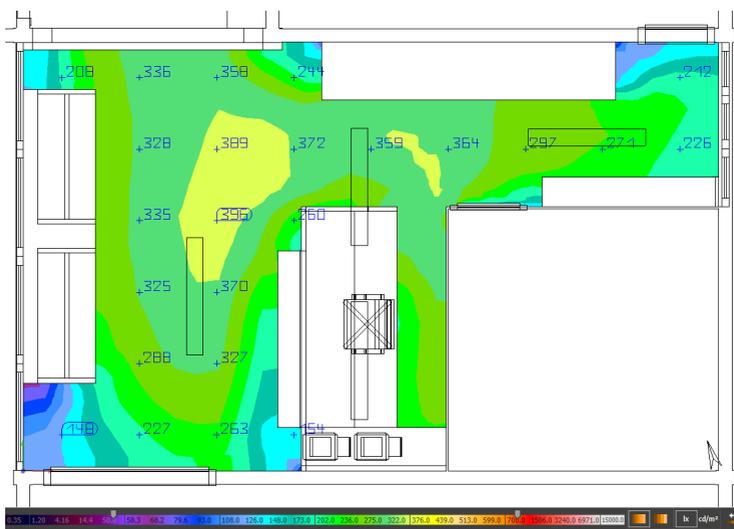


Figura 35 – Resultado da distribuição de iluminância na área de passagem da recepção

Na Figura 36, pode-se visualizar a distribuição de iluminância para o plano de trabalho do balcão de atendimento. É possível observar que o valor de iluminância média no balcão da recepção está elevado. De acordo com a Tabela 7 os valores de iluminância média e índice de ofuscamento são 300 Lux e 19 respectivamente. Através da simulação é possível notar que no balcão da recepção temos um excesso de iluminância, mesmo para realização de atividades de escrita e leitura, o valor obtido de 622 Lux é muito elevado, ocasionando desconforto visual dependendo da atividade realizada no ambiente. Vale

ressaltar que o balcão da recepção conta com uma boa uniformidade de distribuição da iluminância no valor de 0.78, tal uniformidade pode ser visualizada na Figura 36.

Pode-se concluir que apesar dos valores obtidos através da simulação estarem relativamente próximos dos exigidos em norma, o sistema de iluminação não possui um bom desempenho, com baixa eficiência uma distribuição de luminárias ruim.

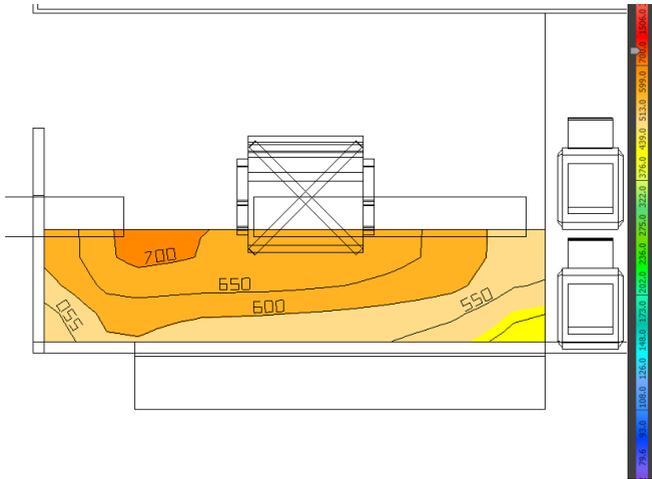


Figura 36 – Resultado da distribuição de iluminância do balcão da recepção.

### 3.3.3.2 Copa

A copa é um ambiente de refeitório, utilizada pelos usuários do laboratório para realizar refeições e afins. A configuração do padrão de utilização no DIALux foi feita como pode ser visto na Figura 37. Os dados do perfil estão de acordo com o que é exigido em norma visto, que podem ser visualizados na Tabela 7.

O plano de trabalho definido para a copa foi toda a extensão da sala a uma altura de 0.75m. Assim podemos garantir que toda a extensão da sala se encontra dentro do padrão exigido na norma, além de proporciona mais flexibilidade no layout da sala. Na Figura 38 podemos visualizar o plano de trabalho definido para o ambiente.

O sistema de iluminação da copa conta com uma luminária com

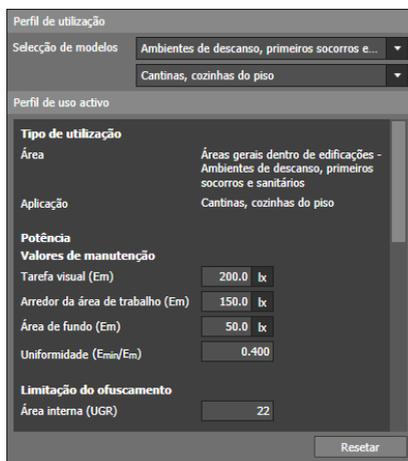


Figura 37 – Padrão de utilização do ambiente selecionada para a simulação no DIALux

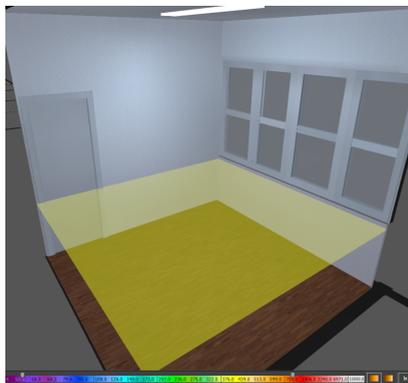


Figura 38 – Plano de trabalho definido para a Copa

capacidade para 2 lâmpadas fluorescentes T8 de 32W. As características e informações a respeito da luminária e da lampada podem ser visualizadas na Figura 58 e 59 respectivamente.

Na Figura 39 pode-se visualizar o resultado da distribuição de iluminância na copa. É possível notar que no centro da sala ocorre um excesso de iluminância, devido as características de distribuição de luz da luminária. O valor médio ficou em 331 Lux, enquanto sue índice de

ofuscamento ficou em 13.5.

Através dos resultados obtidos é possível verificar que os parâmetros da copa estão de acordo com as exigências da norma além do ambiente contar com uma boa uniformidade de distribuição de luz provendo um bom conforto visual para os usuários. Vale ressaltar que embora os parâmetros estejam de acordo ocorre um excesso de iluminação no ambiente, logo pode-se concluir que o sistema de iluminação está superdimensionado.

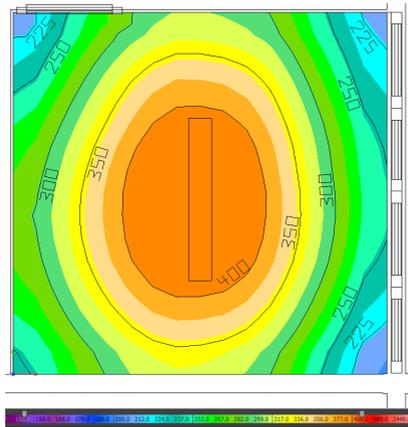


Figura 39 – Resultado da distribuição de iluminância no plano de trabalho definido para a copa

### 3.3.3.3 Corredor

Como visto anteriormente inicialmente foi realizado o ajuste do ambiente. O corredor é uma área de circulação, logo segundo a Tabela 7 áreas de circulação e corredor devem possuir uma  $E_m$  de 100 Lux, e um ofuscamento de 28 além de não necessitar de lâmpadas com um índice de reprodução de cores elevado, visto que é apenas área de circulação.

O corredor do laboratório conta com um forro de gesso rebaixado no qual as luminárias estão embutidas criando uma sistema de iluminação indireto. Na simulação algumas simplificações e considerações tiveram que ser tomadas afim de obter um resultado o mais próximo o possível do verdadeiro.

Na Figura 40 podemos observar o plano de trabalho definido para

a simulação, nesse caso iremos avaliar a distribuição de iluminância no chão e o ofuscamento proveniente do piso do corredor.

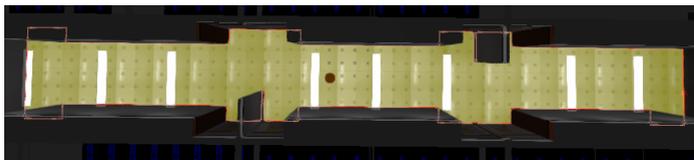


Figura 40 – Plano de trabalho do chão do corredor

Como não foi possível realizar a verificação da lampada e da luminária utilizada no sistema de iluminação do corredor, os equipamentos utilizados foram os mesmos que são utilizados no restante do laboratório, suas características podem ser verificadas nas Figuras 58 e 59.

Para realizar a simulação do sistema de iluminação indireto foi criado um forro no ambiente no qual foi realizado recortes por onde a iluminação será direcionada. As luminárias foram posicionadas na parte interior do forro criado e seu feixe de luz foi direcionado para o teto. Assim a iluminância é refletida pelo teto e direcionada para o corredor através do recorte criado. Tal modelagem foi baseada no levantamento realizado no corredor laboratório.

Na Figura 41 é possível observar o resultado da distribuição de iluminância em toda a extensão do corredor. Os resultados numéricos demonstram que o corredor possui uma iluminância média de 83.6 Lux e um índice de ofuscamento menor que 10.

Ao observar a Tabela 7 pode-se verificar que os valores solicitados em norma para iluminância média e índice de ofuscamento são de 100 Lux e 28 respectivamente. Embora o valor de iluminância média tenha ficado próximo ao exigido em norma, nota-se na Figura 41 que principalmente nas entradas de cada sala ocorre um baixo índice de iluminância tornando as entradas escuras. Nota-se também que a uniformidade está muito inferior ao solicitado em norma de acordo com a simulação seu valor ficou igual a 0.048. Nota-se que devido as regiões mais escuras próximas as entradas da sala a uniformidade fica muito baixa, e isso é em decorrência da má distribuição de pontos de distribuição de luz no ambiente.

O índice de ofuscamento se manteve abaixo de 10, isso ocorre devido ao fato do sistema de iluminação ser indireto o que reduz drasticamente os índices de ofuscamento, pois a fonte luminosa não pode ser vista pelo usuário.

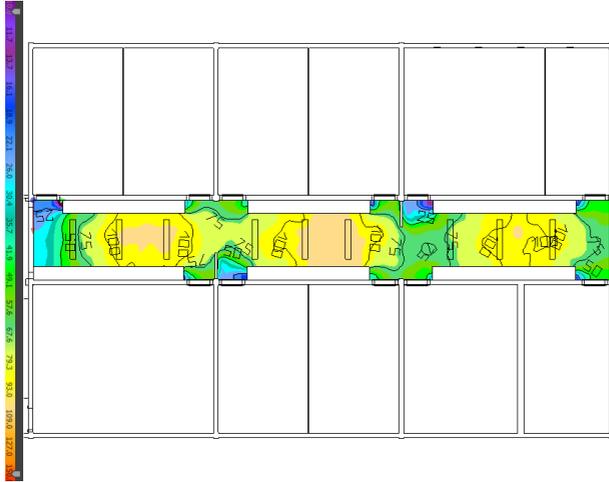


Figura 41 – Resultado da distribuição de iluminância no corredor

Pode-se concluir que o sistema de iluminação do corredor, embora tenha uma boa proposta, necessita de equipamentos com altos níveis de fluxo luminoso, e como o equipamento do sistema não prove grandes valor de fluxo luminoso como resultado temos regiões com baixa iluminância nas entradas das salas. Os valores obtidos de iluminância média não correspondem as exigências feitas pela norma, além disso nota-se uma péssima uniformidade na distribuição de luz no ambiente.

#### 3.3.3.4 Circulação

A circulação é um pequeno corredor que dá acesso às salas de estudo no final do laboratório, assim como no corredor o ambiente é definido como uma área de circulação e se aplica as mesmas solicitações da norma e também teremos como plano de trabalho o chão. Aqui vale ressaltar uma diferença com o corredor, é o fato de não possuir o forro e nem a iluminação indireta o que torna desnecessário a tomada de aproximações.

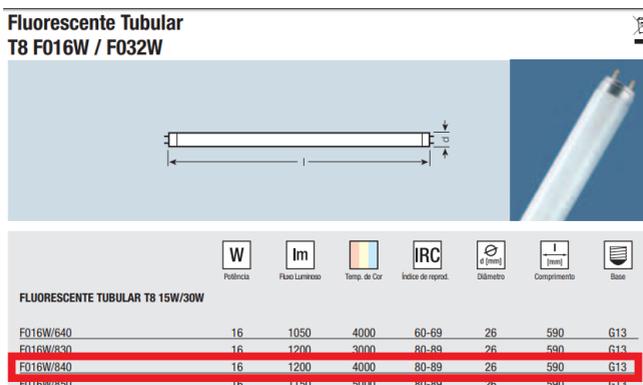
O sistema de iluminação da circulação é composto por uma luminária com capacidade para duas lâmpadas fluorescentes T8 de 16 Watts. Pode-se observar o tipo de luminária e a lâmpada utilizada na Figura 42.

Na Figura 43 é possível visualizar o resultado da distribuição de

## 4' Fluorescent Strip Channel Retrofit Kit



(a) Luminária utilizada no sistema de iluminação da circulação



(b) Lampada do sistema de iluminação da circulação

Figura 42 – Componentes do sistema de iluminação da área de circulação

iluminância na circulação. Pode-se notar que ocorre uma boa distribuição de iluminância na sala, o que gera uma boa uniformidade de distribuição de luz no ambiente.

Os resultados numéricos obtidos na simulação podem ser visto na Figura 44. Percebe-se que o valor médio da iluminância ficou um pouco acima do exigido em norma, entretanto, para uma área de circulação o valor de 136 Lux não trás prejuízo ao sistema visual do usuário. Pode-se notar também que o índice de ofuscamento ficou bem abaixo, menor que 10, do exigido em norma que é 28.

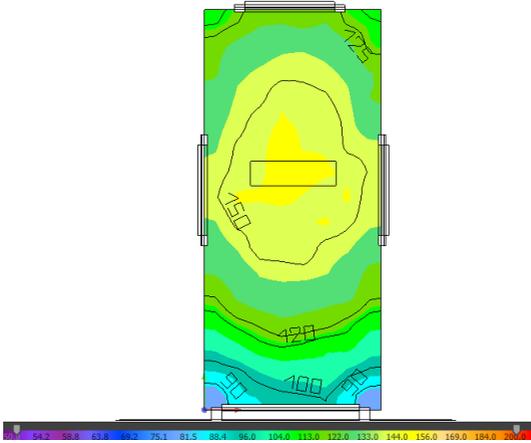


Figura 43 – Resultados numéricos obtidos através da simulação no DI-ALux

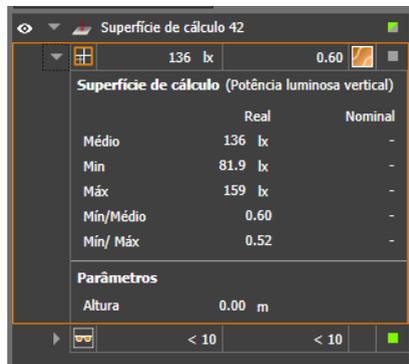


Figura 44 – Resultados numéricos obtidos através da simulação no DI-ALux

É possível concluir que a área de circulação está de acordo com as exigências da norma. O sistema de iluminação provém uma boa uniformidade sem excesso de iluminância em nenhum ponto do ambiente, e sem causar ofuscamento aos usuários do laboratório.

### 3.3.3.5 Sala Multiuso

Na sala multiuso optou-se por definir o plano de trabalho em toda a extensão da sala como 0.75cm visto que é sala com múltiplos propósitos de uso, embora seja classificada como um sala de reunião e conferência de acordo com a Tabela 7, a sala é usada tanto para fins de apresentações e reuniões quanto para realização de atividades de leitura e escrita. Outro ponto a ser ressaltado quanto ao plano de trabalho definido é o fato da sala possuir uma configuração de mobiliário muito diversificada, ou seja, dependendo do propósito de utilização a configuração dos móveis é alterada.

Na configuração do ambiente dentro do *software* não existe a classificação sala multiuso, na Figura 45 Pode-se notar que o modelo selecionado foi 'Local de Formação' - 'Auditórios' que possuem características idênticas ao que necessitamos segundo a NBR 8995-1 (ABNT 2013).

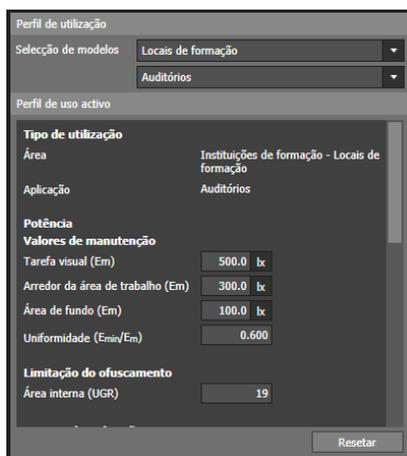


Figura 45 – Perfil de utilização selecionado para a Sala Multiuso

Na Figura 46 pode-se observar o plano de trabalho definido, que fica a uma altura de 0.75cm do chão.

A luminária utilizada na simulação foi a FHT01 - E414 da Lumicenter com 4 lâmpadas de 14Watts, suas especificações podem ser visualizadas na Figura 47. O modelo da luminária e a potência das lâmpadas foram selecionadas de acordo com o levantamento feito dentro da sala no laboratório, vale ressaltar também que o pé-direito da

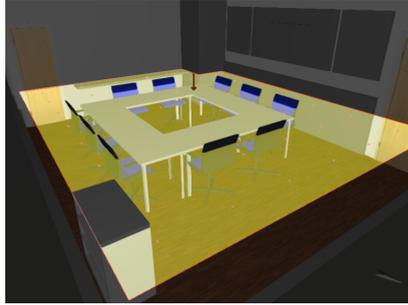


Figura 46 – Plano de trabalho definido para a sala Multiúso

sala possui  $2.5m$  devido ao forro de gesso.



Figura 47 – Especificações das Luminárias da Sala Multiúso do Lab-Plan. Fonte: Adaptado de Catálogo de Luminárias Lumicenter

Na Figura 48 pode-se observar o resultado da simulação através de um diagrama de cores e um diagrama de pontos mostrando a distribuição de iluminância no ambiente, podemos notar que não ocorre uma boa uniformidade na distribuição da iluminância, bem como é possível identificar que grande parte do plano de trabalho não possui uma  $E_m$  de 500 lux o que indica um desacordo com a norma NBR 8995-1 (ABNT 2013).

Na Figura 49 é possível identificar os valores calculados pelo *software* DIALux EVO. Pode-se notar que o valor médio da iluminância no ambiente de trabalho ficou em  $401lux$ , o valor do índice de ofuscamento se manteve em 16.1 e uniformidade de distribuição da iluminância ficou em 0.39.

Através desses resultados pode-se constatar que o único parâmetro que está de acordo com o NBR 8995-1 (ABNT 2013) é o índice de ofuscamento. Seu valor nominal para ambientes como salas de reunião é de 19, como pode ser visto na Tabela 7. Como resultado da simulação

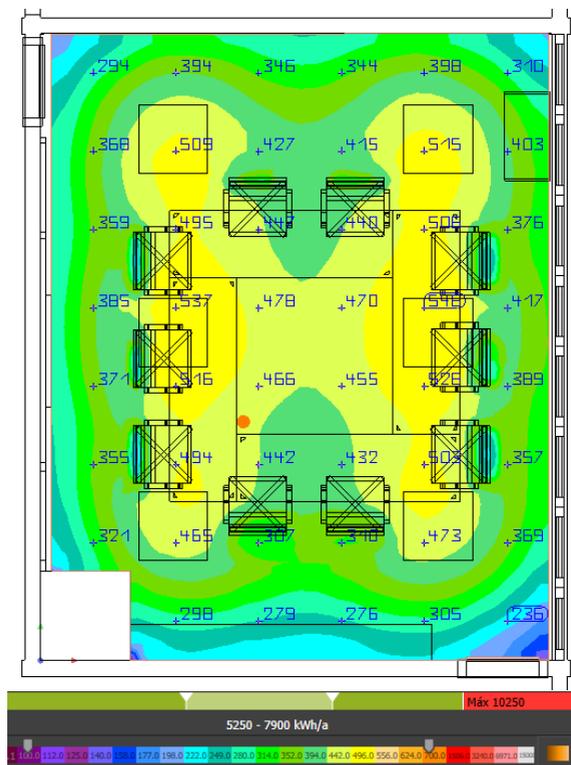


Figura 48 – Gráfico de distribuição de Iluminância no plano de trabalho.

obteve-se um valor de 16.1, que está abaixo do nominal portanto dentro dos padrões necessários. Já o valor de iluminância média e de uniformidade estão em desacordo, tarefas como leitura e escritas podem ser prejudicadas e podem afetar negativamente nossa visão, exigindo um esforço maior para realizar tarefas desse tipo. O fato de a uniformidade estar abaixo do solicitado em norma que é  $U_1$  maior ou igual a 0.6 prejudica os usuários devido as mudanças bruscas nos níveis de iluminância do ambiente, essas mudanças acabam forçando os olhos e muitas vezes atrapalhando o usuário devido a falta de uniformidade na iluminação.

Vale notar também que o sistema de iluminação da sala multiúso conta 6 luminárias cada uma com 4 lâmpadas totalizando 24 lâmpadas de 14 Watts. Outro ponto importante é o rendimento da luminária, que

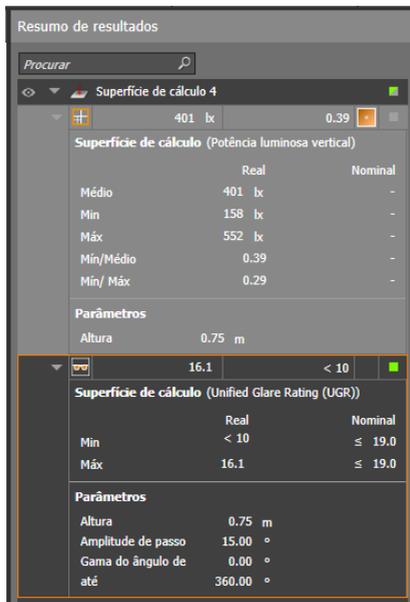


Figura 49 – Valores calculados pelo *software*

segundo o fabricante<sup>2</sup> possui uma eficiência de 50%, ou seja, dos 336 Watts consumidos pelas luminárias apenas 168 Watts são convertidos em luz, o restante é dissipado em forma de calor.

Com isso pode-se concluir um que a sala multiúso não está de acordo com a norma, podendo trazer prejuízo para a sistema visual dos usuários e além disso possui um sistema de iluminação de baixa eficiência no qual 50% da energia utilizada pelo sistema é "desperdiçada".

Na Figura 50 temos uma captura do resultado final da simulação gerada pelo DIALux, onde podemos observar com detalhes visuais o resultado da simulação.

### 3.3.3.6 Sala dos servidores

A sala dos servidores é utilizada para o armazenamento de dados, através de um sistema de servidores. A sala é utilizada para fins de armazenamento de dados, entretanto é necessária a realização de manutenção, instalação e troca de equipamentos. O perfil de utilização

<sup>2</sup>Vide Figura 47



Figura 50 – Resultado final da simulação da Sala Multiúso

selecionado para a análise será, de acordo com a Tabela 7, ambiente de escritório onde são realizadas atividade de leitura, escrita e processamento de dados.

O plano de trabalho definido será toda a extensão da sala a uma altura de 0.75m, e também será avaliado um plano de trabalho no piso do ambiente. O segundo plano de trabalho definido tem o intuito de garantir uma boa iluminância no piso, em casos de trocas e manutenções de equipamentos.

Na Figura 51 é possível verificar os planos de trabalho definidos para o ambiente.

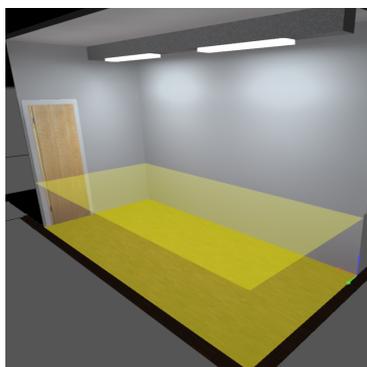
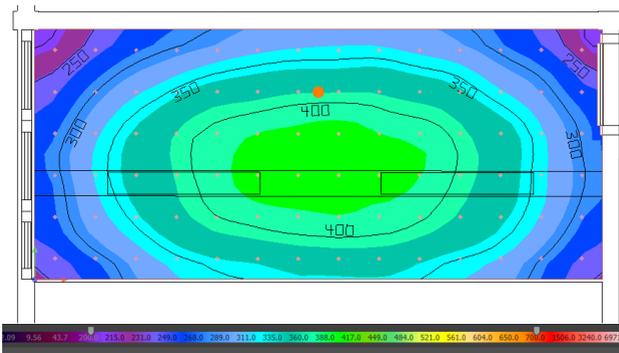


Figura 51 – Planos de trabalho definidos para a sala dos servidores

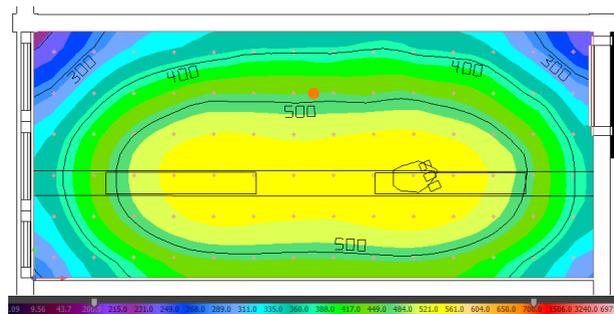
Através da simulação é possível observar que no plano de traba-

lho definido a 0.75m temos uma iluminância média de 467 Lux e um ofuscamento de 17.7, e no plano de trabalho definido para o chão temos 351 Lux e 16.1 respectivamente. Na Figura 52 é possível visualizar o resultado da simulação para ambos os planos de trabalho.

De acordo com a classificação da norma, para ambientes utilizados para escrita e leitura, e também para manutenções é necessária uma iluminância média de 500 Lux e um índice de ofuscamento menor que 19.



(a) Resultado da distribuição de iluminância da sala dos servidores no plano do chão



(b) Resultado da distribuição de iluminância da sala dos servidores no plano a 0.75m do chão

Figura 52 – Componentes do sistema de iluminação da área de circulação

Embora durante a simulação tenha sido considerado um ambiente para escrita e leitura a sala dos servidores é utilizada principalmente para armazenamento de dados, logo ela é pouco utilizada durante o

dia, o que torna o nível de iluminância no plano de trabalho a 0.75m adequado para os fins de utilização da sala, além disso vale ressaltar que o valor de uniformidade foi de 0.6 que de acordo com a norma está dentro dos padrões.

O plano de trabalho selecionado para chão apresentou um valor de 351 Lux de iluminância média, isso indica bons níveis de iluminância para o ambiente, visto que ele não é um ambiente de uso contínuo.

Pode-se concluir que o ambiente se encontra adequado para atividades de leitura e escrita de acordo com as exigências da norma, vale ressaltar que devido a dimensão dos equipamentos presentes na sala, os servidores, o sistema de iluminação tem capacidade para prover bons índices de iluminância em suas faces, auxiliando serviços de manutenção dos equipamentos.

### 3.3.3.7 Salas dos Professores

Através do levantamento de áreas e de equipamentos, pode-se notar que as salas dos professores do LabPlan são muito similares, tanto em tamanho quanto em seu sistema de iluminação. O LabPlan possui 5 salas destinadas aos professores, todas com área em torno de  $12,65m^2$  e estão equipadas com 2 luminárias Lumicenter, cada uma com 4 lâmpadas de 14 watts, suas especificações podem ser vistas na Figura 47.

Como as 5 salas são muito similares a análise delas foi realizada em conjunto. O plano de trabalho considerado será toda a extensão da sala a uma altura de 0.75cm. Tal escolha foi feita, pensando na ergonomia dos professores dentro de sua sala, ou seja, mantendo uma uniformidade na distribuição da iluminância e mantendo o seu valor médio dentro do solicitado pela norma no plano de trabalho em toda a extensão da sala, o professor que utiliza-la terá total liberdade para por seu ambiente de trabalho no local desejado, sabendo que os padrões de iluminação estarão ideias em qualquer ponto.

A sala que servirá como base para esta etapa da análise será a sala do Prof. Diego Issicaba.

Na Figura 53 pode-se verificar o perfil de utilização selecionado para a sala em questão, com base nas informações da Tabela 7. Vale ressaltar que apesar do pé direito da edificação possuir 2.8 m a sala dos professores, assim como a sala multiúso, possui um forro de gesso logo o pé direito do ambiente possui 2.5m.

Na Figura 54 pode-se visualizar o padrão de distribuição da

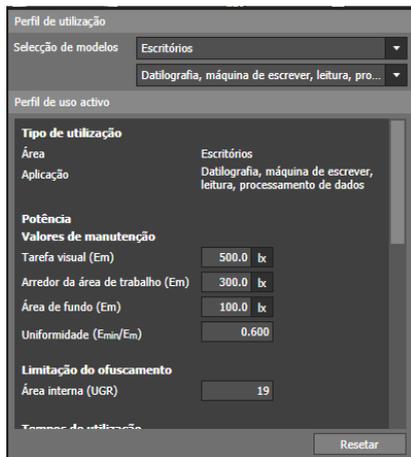


Figura 53 – Perfil de utilização seleccionado para a sala do Prof. Diego Issicaba

iluminância na sala do Professor Diego, como descrito anteriormente optou-se por seleccionar toda a extensão da sala a uma altura de 0.75.



Figura 54 – Plano de trabalho definido para a sala do Prof. Diego Issicaba

Como resultado da simulação obteve-se o padrão de distribuição de iluminância visto na Figura 55. A partir do diagrama gerado é possível visualizar novamente um desacordo com as solicitação da norma NBR 8995-1 (ABNT 2013). Segundo a Tabela 7 os valores necessários

para ambientes como a sala em questão são 500 lux de iluminância média e um índice de ofuscamento de 19. É possível constatar que a iluminância média mantida no plano de trabalho ficou em torno de 277 Lux, um valor muito inferior ao solicitado em norma, o que torna o ambiente escuro para as tarefas realizadas no ambiente. Já o índice de ofuscamento novamente se encontra dentro dos padrões com um valor em torno de 13, que é bem abaixo do nominal.

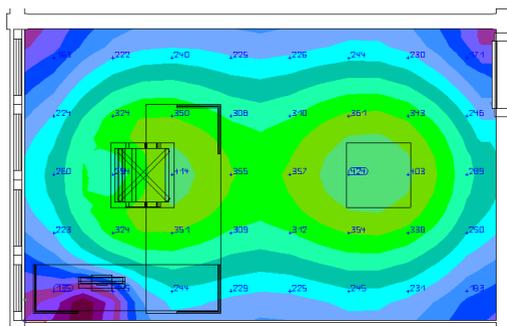


Figura 55 – Resultado obtido na simulação da sala do professor Diego

Quanto a uniformidade de distribuição da iluminância pode-se observar que não possui um bom índice. Os valores obtidos na simulação podem ser observados na Figura 56. Nota-se que na parte mediana da sala temos uma grande concentração de iluminância que vai se atenuando conforme olhamos na direção de suas extremidade, tais variações podem ocasionar desconforto visual ao usuário dependendo da sua movimentação na sala. Enquanto em norma temos uma exigência de uniformidade de 0.6 a sala em questão possui uma uniformidade muito inferior a exigida.

Pode-se concluir, novamente, que o ambiente não respeita as exigências feitas pela norma NBR 8995-1 (ABNT 2013). Além de não proporcionar um bom conforto visual ao usuário a sala conta com um sistema de iluminação ineficiente, que assim como na sala multiúso possui um rendimento de apenas 50%.

Por fim na Figura 57 é possível visualizar o resultado final da simulação.



Figura 56 – Resultados numéricos obtidos através da simulação no DI-ALux



Figura 57 – Resultado final da simulação da sala do professor Diego Issicaba

### 3.3.3.8 Sala 6

A sala 6 é um ambiente utilizado para realização de estudos e escritas, assim como na análise das salas dos professores o plano de

trabalho selecionado foi toda a extensão da sala a uma altura de 0.75m, assim é possível avaliar a distribuição e uniformidade de distribuição de iluminância em toda a extensão da sala na altura ideal para realização de leituras e escritas, permitindo que os usuários tenham total liberdade para definir seu local de trabalho individual em qualquer ponto da sala.

Segundo o levantamento de informações do laboratório as luminárias presentes nas salas de estudo foram desenvolvidas pela arquiteta que participou do processo de reforma dos ambientes. Devido a esse fato a luminária selecionada para realização da simulação foi um luminária da marca HOWARD Lighting Products com capacidade para duas lâmpadas fluorescentes T8 de 32 W, na Figura 58 pode-se observar uma imagem da luminária utilizada, modelo FSR4-A. Vale ressaltar que o arquivo com os dados fotométricos da luminária para a simulação são fornecidos pelo fabricante.

4' Fluorescent Strip Channel  
Retrofit Kit



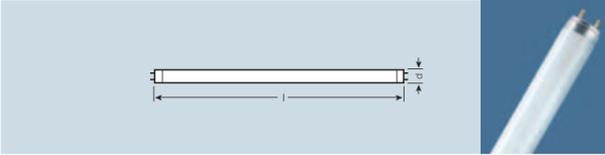
Figura 58 – Luminária utilizada para a simulação

As lâmpadas utilizadas são as lâmpadas F032W840 da OSRAM, que estão presentes em grande parte do laboratório, na Figura 59 é possível visualizar as informações das características da lâmpada.

Na Figura 60 pode-se visualizar o plano de trabalho utilizado na análise. O padrão de utilização do ambiente é o mesmo utilizado nas análises anteriores, ambiente para fins de leitura e escrita. O padrão utilizado foi selecionado de acordo com a Tabela 7 para uma altura de plano de trabalho de 0.75m.

Como resultado da simulação obteve-se o padrão de distribuição de iluminância que pode ser observado na Figura 61. Pode-se notar que a sala possui uma distribuição de luminárias desproporcional o que faz com que uma parte da sala fique com uma elevada iluminância enquanto outra fique com pouca, isso torna uma parte da sala muito escura se comparada com a outra. Também nota-se que mesmo a parte com maior iluminância da sala não é o suficiente para manter a  $E_m$  solicitada em norma.

**Fluorescente Tubular**  
**T8 F016W / F032W**



	<b>W</b> Potência	<b>lm</b> Fluxo Luminoso	 Temp. de Cor	<b>IRC</b> Índice de repast.	 Diâmetro	 Comprimento	 Base
<b>FLUORESCENTE TUBULAR T8 15W/30W</b>							
F016W/640	16	1050	4000	60-69	26	590	G13
F016W/830	16	1200	3000	80-89	26	590	G13
F016W/840	16	1200	4000	80-89	26	590	G13
F016W/850	16	1150	5000	80-89	26	590	G13
F032W/640	32	2350	4000	60-69	26	1200	G13
F032W/830	32	2700	3000	80-89	26	1200	G13
<b>F032W/840</b>	<b>32</b>	<b>2700</b>	<b>4000</b>	<b>80-89</b>	<b>26</b>	<b>1200</b>	<b>G13</b>
F032W/850	32	2600	5000	80-89	26	1200	G13

Figura 59 – Lâmpada F032W 840 da OSRAM. Adaptado de Catálogo OSRAM

Novamente é possível observar que os padrões de iluminação do ambiente não respeitam as exigências da norma NBR 8995-1 (ABNT 2013). É possível visualizar os resultados numéricos da simulação da Figura 62. Segundo a Tabela 7 a  $E_m$  que deve ser mantida no ambiente é de 500 Lux enquanto o seu  $UGR_L$  deve ser mantido inferior a 19, nota-se que o valor do índice de ofuscamento se manteve dentro dos parâmetros exigidos, entretanto a iluminância média é inferior a solicitada pela norma. A  $E_m$  mantida no ambiente foi de 441 Lux, embora o valor esteja próximo do solicitado em norma, é possível visualizar na Figura 61 que apenas uma parte da sala possui níveis de

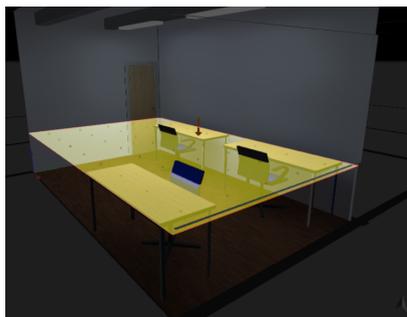


Figura 60 – Plano de trabalho selecionado para a sala 6





Figura 62 – Resultados numéricos obtidos através da simulação no DI-ALux EVO

Nas Figura 63 é possível visualizar os planos de trabalho que foram definidos para as salas. Vale ressaltar que a adição de objetos nos ambientes tem função apenas de visualização.

A luminária utilizada para esses ambientes é a mesma utilizada na sala 6 e pode ser visualizada através da Figura 58, bem como a lampada utilizada também é a mesma presente na sala 6 e pode ser visualizada na Figura 59.

As salas 8 e 9 possuem 4 luminárias cada e a sala 10 possui 2 luminárias. Todas as luminárias estão instaladas nas vigas de sustentação da edificação e se encontram a uma altura aproximada de 2.6m do chão.

Na Figura 64, pode-se visualizar a distribuição de iluminância da sala 8, que foi obtida através da simulação realizada. Nota-se um excesso de iluminância na região central da sala, isso ocorre pois as luminárias estão posicionadas de maneira inadequada, muitas próximas umas das outras.

Através da Figura 65 é possível observar que as curvas de distribuição de luz das luminárias estão muito próximas, o que ocasiona



(a) Plano de trabalho da Sala 8



(b) Plano de trabalho da Sala 9



(c) Plano de trabalho da Sala 10

Figura 63 – Planos de trabalho definidos para sala 8, 9 e 10

o excesso de iluminância na região central da sala. Além desse excesso de iluminância pode ocorrer um  $UGR_l$  alto em determinados pontos do ambiente.

De acordo com a Tabela 7 em ambientes que são realizadas atividades de leitura e escrita devemos manter uma  $E_m$  de 500 Lux, um índice de ofuscamento  $UGR_L$  menor que 19, além de possuir um índice de reprodução de cores de pelo menos 80. O índice de reprodução de cores é satisfeito pelas características da lampada que podem ser vistas na Figura 59.

Percebe-se que o nível de iluminância média mantida no ambiente é de 673 Lux, que é muito superior ao valor exigido na norma NBR 8995-1 (ABNT 2013), o que pode ocasionar um certo desconforto visual aos usuários da sala. Além disso nota-se que o valor de ofuscamento calculado foi de 19,4, que é superior ao valor exigido em norma, isso significa que além do desconforto visual causado pelo excesso de ilumi-



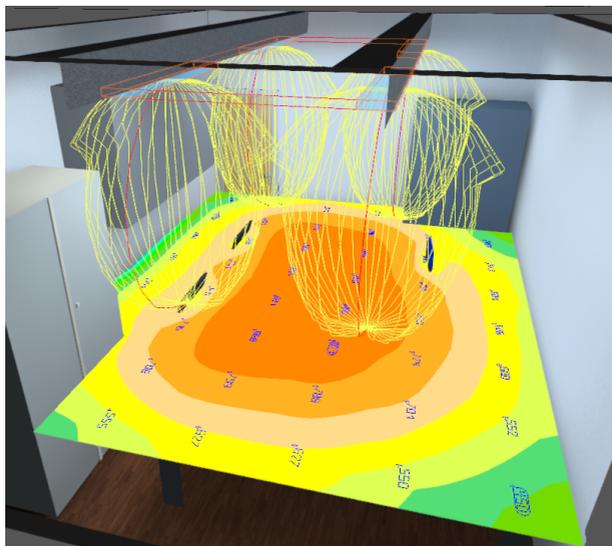


Figura 65 – Padrão de distribuição de luz da luminária utilizada na simulação.

média na sala ficou em 585 Lux e o nível de ofuscamento em 18.7.

Embora o valor de  $E_m$  mantido possa ser considerado dentro dos padrões da norma, ao observar a Figura 66 nota-se que em diversos pontos da sala ocorre uma iluminância excessiva com alguns pontos chegando a 747 Lux. Pontos com excesso de iluminância podem causar desconforto visual aos usuários durante a realização de tarefas de escrita e leitura devido ao ofuscamento causado.

Nos resultados numéricos também é possível observar que o valor da uniformidade ficou em 0.59 o que indica uma boa uniformidade, entretanto, devido ao excesso de iluminância no ambiente por mais que tenha uma distribuição uniforme, visualmente não é um ambiente agradável devido ao seu excesso de iluminância.

Pode-se concluir que embora os valores obtidos através da simulação se aproximarem dos exigidos em norma, a sala 8 não satisfaz as condições visuais necessárias para tarefas de escrita e leitura devido ao excesso de iluminância em grande parte da sala.

Por fim, na Figura 67 pode-se observar os resultados da simulação para a sala 10. Nota-se no diagrama de distribuição de iluminância que a sala 10 também possui um excesso de iluminância na região logo abaixo das luminárias. É possível visualizar na Figura 65 que devido

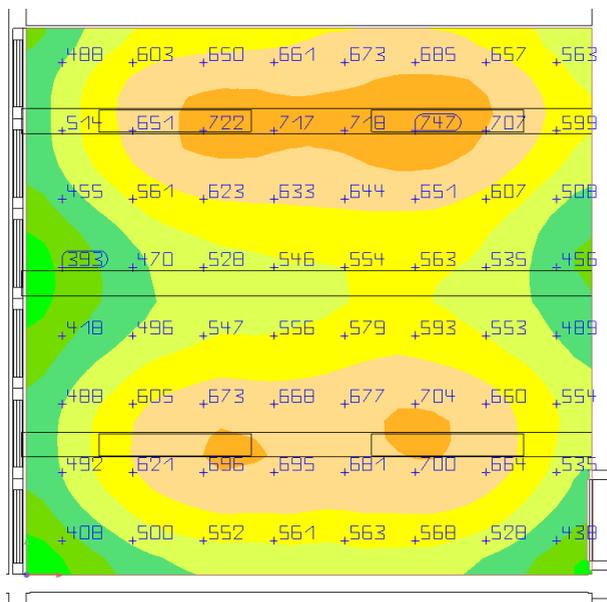


Figura 66 – Resultado da distribuição de iluminância da Sala 9

a característica da distribuição de luz da luminária e devido a sua altura de instalação em relação ao plano de trabalho definido ocorre um excesso de iluminância.

É possível observar que os parâmetros de iluminância média e uniformidade estão abaixo dos valores solicitados em norma, que de acordo com Tabela 7 devem ser 500 Lux e 0.7 respectivamente. Os valores obtidos através da simulação foram 472 Lux e uniformidade de 0.57, o que indica bons valores para o ambiente, embora não correspondam adequadamente ao exigido em norma. É possível observar que a sala possui uma boa distribuição de iluminância e não possui muitos pontos com iluminância excessiva, o que torna o ambiente relativamente adequado para as tarefas visuais desempenhadas no ambiente.

Vale ressaltar que por mais aceitável que esteja a condição visual do ambiente, os valores exigidos em norma devem ser respeitados, portanto pode-se concluir que a sala 10 também está em desacordo com a norma.





Figura 68 – Detalhe das estações de trabalho presentes na sala 12A

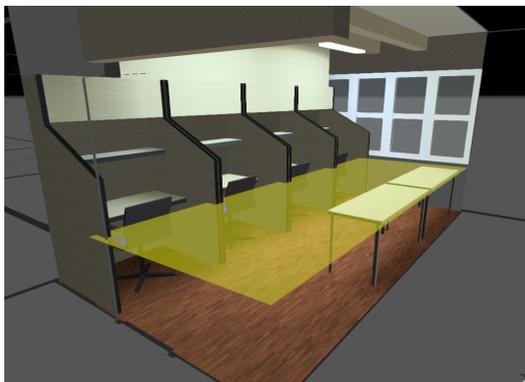
iluminância no restante da sala a uma altura de 0.75m.

Na Figura 69 pode-se observar os planos de trabalho de foram definidos para o ambiente.

Através dessa decisão foi possível observar a superfície de cada estação de trabalho separadamente e obter um resultado preciso de cada estação. Vale ressaltar que tal decisão foi tomada devido ao fato de a sala possuir um layout fixo do posicionamento das estações de trabalho.

De acordo com a Tabela 7 sabe-se que a iluminância média que deve ser mantida em ambientes para escrita é de 500 Lux e deu índice de ofuscamento deve ser menor que 19. Através do resultado de distribuição de iluminância obtido na simulação, que pode ser visto na Figura 70, nota-se que em nenhuma das estações de trabalho os valores de iluminância média estão de acordo com as exigências da norma, além disso no plano de trabalho definido para o restante da sala também não corresponde ao valor exigido em norma. Vale ressaltar que a iluminância média na primeira estação de trabalho está em um nível muito inferior ao exigido em norma, o que torna a estação demasiadamente escura.

Na Figura 70 ainda pode-se observar que todo canto direito da sala é escuro, isso ocorre devido a uma viga de sustentação que bloqueia uma grande parte da incidência de luz nessa região da sala. Além disso



(a) Plano de trabalho da Sala 12



(b) Plano de trabalho das estações de trabalho da sala 12A

Figura 69 – Planos de trabalho definidos para a sala 12A

nota-se que devido ao mal posicionamento das luminárias na sala a distribuição de iluminância em grande parte da sala fica prejudicada.

De acordo com os resultados numéricos, visto na Figura 71, pode-se observar que os valores de iluminância média não foram satisfeitos para nenhum dos planos de trabalho definidos, além disso os índices de ofuscamento na estação de trabalho 1 e no plano de trabalho definido para o restante da sala 12A estão acima do exigido em norma, o que pode prejudicar os usuários na hora da realização de tarefas como leitura e escrita principalmente.

Os valores de iluminância média nos planos de trabalho que fo-

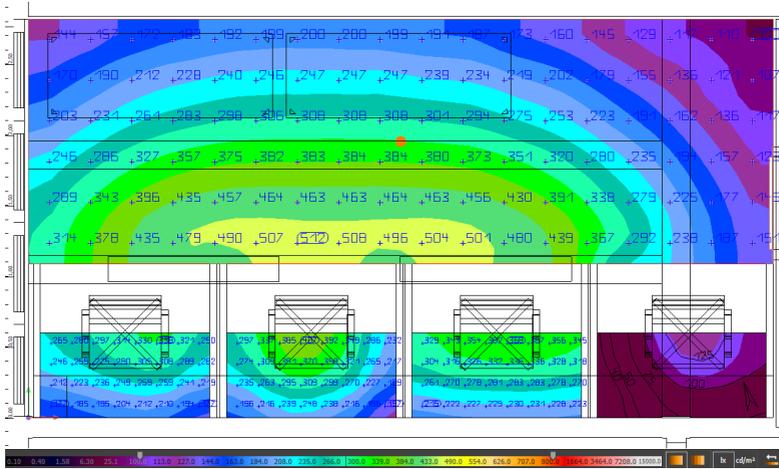


Figura 70 – Resultado da distribuição de iluminância na sala 12A

Resumo de resultados			
Procurar			
Superfície de cálculo 24			
283 lx	0.35		
23.8	< 10		
Worstation 1			
87.3 lx	0.35		
20.2	< 10		
Worstation 2			
295 lx	0.71		
17.0	< 10		
Worstation 3			
279 lx	0.54		
17.1	< 10		
Worstation 4			
254 lx	0.68		
15.2	< 10		

Figura 71 – Resultados numéricos obtidos na simulação realizada no DIALux

ram definidos para a sala 12A ficaram muito abaixo do valor exigido em norma, 500 Lux, portanto pode-se concluir que a sala não é adequada para atividades de escrita e leitura, tendo regiões muito escuras

e com uma baixa uniformidade de distribuição de iluminância, além de possuir regiões com grande nível de ofuscamento.

### 3.3.3.11 Sala 12C

A sala 12C, assim como a sala 12A e 12B, possui estações de trabalho fixas. Assim como na análise anterior foram definidos planos de trabalho para cada estação de trabalho separadamente além de um plano de trabalho para o restante da sala, todos na altura de 0.75m.

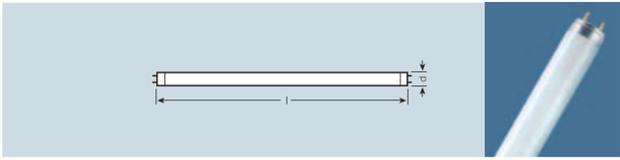
A sala possui um sistema de iluminação composto por 8 luminárias, idênticas as utilizadas anteriormente, cada uma com capacidade para duas lâmpadas fluorescentes T8 de 32 Watts, além de contar uma luminária menor com capacidade para 2 lâmpadas fluorescentes T8 de 16 Watts. As características das luminárias e das lâmpadas utilizadas podem ser vistas na Figura 72.

A sala conta com 9 estações de trabalhos grandes e mais 4 estações menores, totalizando 13 estações. Para a análise 15 planos de trabalhos diferentes foram criados no modelo, um para cada estação, um para a área de circulação da sala e um para avaliar a parte da sala que não possui estações de trabalho fixa mas é utilizada para fins de leitura e escrita. Todos os planos de trabalho definidos podem ser visualizados na Figura 73. Dessa forma foi possível analisar a sala 12C de maneira precisa, dando a importância necessária para cada espaço do ambiente.

Sabe-se que, de acordo com a Tabela 7, que ambientes de passagem e circulação necessitam de uma iluminância média de 100 Lux e um nível de ofuscamento de 28. Através da Figura 74, pode-se observar que tais exigências são correspondidas com uma certa folga, no plano de trabalho definido para a circulação da sala 12C obteve-se, através da simulação, uma iluminância média de 518 Lux, além de um índice de ofuscamento de 21.8. Vale ressaltar aqui que embora os padrões exigidos em norma tenham sido atendidos com certa folga, não há necessidade de uma iluminância média tão elevada em ambientes de passagem.

Na Figura 75 pode-se visualizar o resultado da simulação obtido para o plano de trabalho adicional criado para a sala 12C. Nota-se um excesso de iluminância no plano de trabalho. Através da classificação da Tabela 7 para ambientes nos quais serão realizadas tarefas de leitura e escrita devemos ter uma iluminância média de 500 Lux, o valor obtido no plano de trabalho está em 724 Lux, valor muito acima do solicitado

### Fluorescente Tubular T8 F016W / F032W



	W	lm	Temp. de Cor	IRC	d (mm)	l (mm)	Base
	Potência	Fluxo Luminoso		Índice de reprodu.		Comprimento	
<b>FLUORESCENTE TUBULAR T8 15W/30W</b>							
F016W/640	16	1050	4000	80-89	26	590	G13
F016W/830	16	1200	3000	80-89	26	590	G13
F016W/840	16	1200	4000	80-89	26	590	G13
F016W/850	16	1150	3000	80-89	26	590	G13
F032W/640	32	2350	4000	80-89	26	1200	G13
F032W/830	32	2700	3000	80-89	26	1200	G13
F032W/840	32	2700	4000	80-89	26	1200	G13
F032W/850	32	2600	3000	80-89	26	1200	G13

(a) Lâmpadas utilizadas na sala 12C

#### 4' Fluorescent Strip Channel Retrofit Kit



(b) Luminária utilizada na  
sala 12C

Figura 72 – Lâmpadas e luminárias utilizadas na sala 12C

em norma, além disso o índice de ofuscamento obtido é de 21.7 que também está acima do exigido em norma, que é de 19.

Tanto o excesso de iluminância quanto o alto índice de ofuscamento causam um efeito visual negativo durante a realização de tarefas como leitura e escrita, o que pode ocasionar dores de cabeça e fadiga visual por exemplo.

Na Figura 76 é possível visualizar o resultado da distribuição de iluminância para as estações de trabalho de número 1 a 5. Nota-se que nas estações de 1 a 3 ocorre uma boa uniformidade de distribuição, entretanto o valor de iluminância média não está de acordo com as exigências da norma, sendo 372 Lux, 462 Lux e 435 Lux respectivamente, enquanto o valor solicitado em norma é de 500 Lux.

Nas estações 4 e 5 nota-se que o valor da iluminância está muito



(a) Planos de trabalho definidos para ambientes da Sala 12C



(b) Planos de trabalho definidos para as estações de trabalho da Sala 12C

Figura 73 – Planos de trabalho definidos para a sala 12C

abaixo do exigido, o que torna as duas estações mais escuras que as demais. Isso ocorre devido a má distribuição das luminárias no ambiente, e devido ao sombreamento causado pelas vigas de sustentação que existem na região superior da sala.

O resultado obtido para as estações de 6 a 13 podem ser visualizados na Figura 77. Nota-se que também ocorre uma estação, de número 6, com baixo nível de iluminância, tornando o plano de trabalho mais escuro. Nas estações de 7 a 13 temos uma boa uniformidade de distribuição de iluminância, entretanto, o valor de iluminância média mantida sobre as estações de trabalho não respeitam as exigências

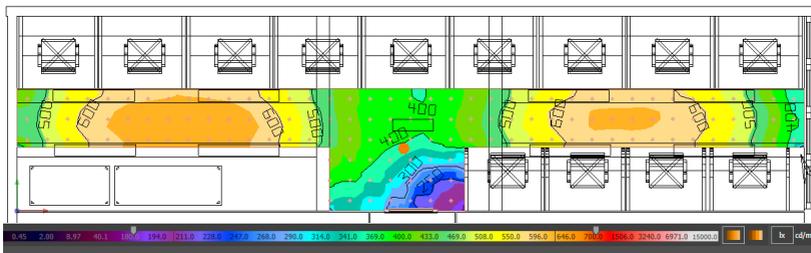


Figura 74 – Resultado da distribuição de iluminância para a área de passagem da Sala 12C

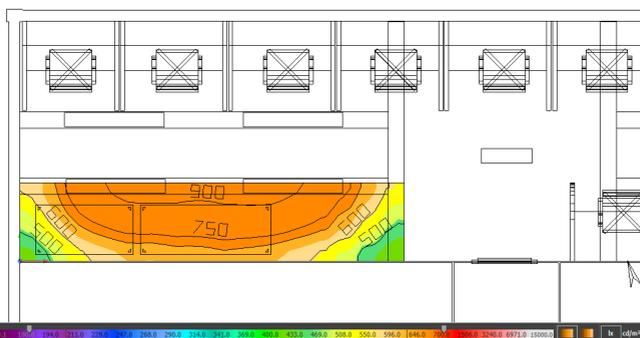


Figura 75 – Resultado da distribuição de iluminância para o plano de trabalho adicional da Sala 12C

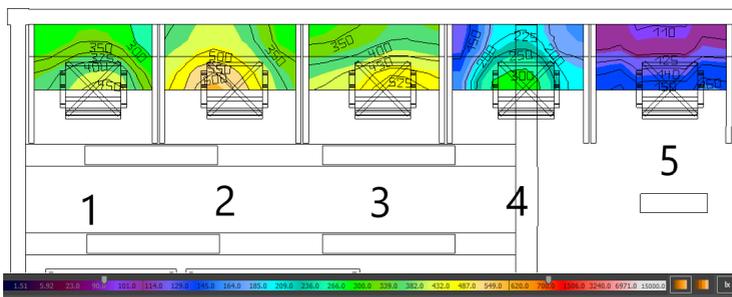


Figura 76 – Resultado da distribuição de iluminância para as estações de trabalho de 1 a 5

da norma. É possível notar que as estações que mais se aproximam dos valores exigidos em norma são as estações 13 e 10 com 481 Lux e 573 Lux respectivamente. Vale ressaltar também que nenhuma das estações teve um índice de ofuscamento maior de 18, o que é um bom sinal visto que a norma exige um valor menor que 19.

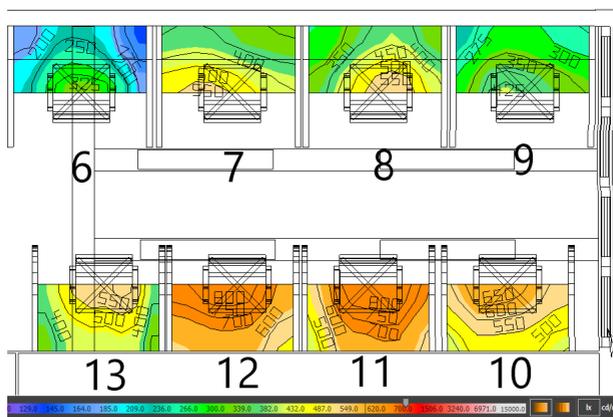


Figura 77 – Resultado da distribuição de iluminância para as estações de 6 a 13

Através dos resultados obtidos e das análises realizadas, pode-se concluir que a sala 12C possui uma péssima distribuição de iluminância, tendo pontos com um excesso de iluminância e ambientes muito escuros com pouca iluminância. Além do fato de as estações de trabalho estarem em desacordo com a norma tanto a área de circulação quando a área adicional da sala 12C estão com altos índices de ofuscamento, o que ocasiona uma grande poluição visual aos usuários da sala e que tornam atividades de leitura e escrita mais cansativas do que deveriam.

### 3.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Através da análise realizada foi possível obter um panorama do atual desempenho energético no LabPlan. Além disso foi possível avaliar o conforto térmico e o conforto visual dos usuários em cada ambiente analisado. A análise mostrou que o laboratório possui um consumo elevado de energia. Parte disso devido a baixa eficiência dos sistemas de climatização e de iluminação, além de possuir equipamentos antigos e defeituosos. Nota-se também que o sistema de iluminação do labo-

ratório, é inadequado para as atividades realizadas no laboratório em grande parte de seus ambiente. Provendo baixos índices de iluminância e altos índices de ofuscamento, além de consumir uma quantidade de energia considerável, o sistema é precário deixando ambientes muito escuros e com altos contrastes de luz nos ambientes. O sistema de climatização conta com equipamentos antigos e superdimensionados em alguns casos. Sendo um dos principais consumidores de energia do laboratório o sistema se mostrou ineficiente em alguns ambientes. Através da avaliação energética foi possível propor mudanças nos sistemas de climatização e de iluminação, e também em algumas características físicas do laboratório. Tais mudanças foram implementadas no modelo dinâmico criado no programa Revit que permite alterarmos os sistemas de maneira simples e rápida, além de realizar cálculos de dimensionamento que ajudam durante o projeto.

## 4 PROPOSTA DE RETROFIT

Neste capítulo é apresentado a proposta de retrofit energético do laboratório bem como a análise luminotécnica e quais seus impactos para o conforto dos usuários e a eficiência do ambiente. preciso escrever as seções para continuar aqui. Na seção 4.1 é apresentada o projeto luminotécnico proposto, com as especificação de seu elementos e suas características bem como o motivo das escolhas feitas durante a realização do projeto. Na seção 4.2 é apresentada a proposta para redução de cargas térmicas dos ambientes, bem como a proposta do novo sistema de climatização, com a especificação de seus equipamentos e características. Por fim na seção 4.3 é apresentada o resultado da estimativa da redução de consumo de energia para o LabPlan obtida através das mudanças propostas e os projetos realizados durante a análise.

### 4.1 PROJETO LUMINOTÉCNICO

A análise luminotécnica do laboratório mostrou que o sistema de iluminação do LabPlan é ineficiente e grande parte de seus ambientes não correspondem com as exigências da norma NBR 8995-1 (ABNT 2013). Foi possível identificar ambientes com uma potência excessiva de iluminação e mesmo assim o ambiente possui parâmetros como iluminância média no plano de trabalho abaixo do exigindo em norma, o que trás consequências negativas para seus usuários. Também foi possível identificar ambientes muito escuros, com valores de iluminância muito abaixo do solicitado. Além das inconformidades com a norma foi possível observar que o sistema é muito pouco eficiente com uma potência média de iluminação de  $11,63 \text{ W/m}^2$  e com um consumo anual de energia de aproximadamente 12,8 kWh gerando um curso de pouco mais de R\$ 6,500.00 reais na conta de luz. Através desses dados notou-se a necessidade de um projeto luminotécnico, com o foco no conforto dos usuário e na eficiência do sistema.

#### 4.1.1 Equipamentos e considerações

Para a proposta de retrofit do sistema de iluminação foram selecionados equipamentos com tecnologia LED da marca PHILIPS devido a alta qualidade e eficiência dos equipamentos e pela interface

disponibilizada pela própria fabricante que trabalha em conjunto com o DIALux.

O uso da tecnologia LED para os sistemas de iluminação trazem diversos benefícios. A principal característica dessa tecnologia é a baixa potência utilizada pelo equipamento, mas também se destacam características como uma alta durabilidade com baixa manutenção, podendo chegar a 50.000h de uso sem falhas, melhor reprodução de cores com uma boa abrangência de iluminação do ambiente e menor produção de calor pelo equipamento.

Vale ressaltar que durante a proposta de retrofit buscou-se um equilíbrio entre quantidade a quantidade de luminárias utilizadas e a potência total do sistema de cada ambiente bem como atender os requisitos da NBR 8995-1 (ABNT 2013), além disso questões estéticas também foram levadas em consideração durante a análise.

O modelo tridimensional utilizado para realizar projeto de retrofit do sistema de iluminação foi exatamente o mesmo utilizado na seção 3.3. Todos os ambientes mantiveram as mesmas configurações, como refletâncias das parede e pisos, além de manterem a mesma configuração para o padrão de utilização do ambiente e respeitarem os valores presentes na Tabela 7.

As luminárias e suas principais características, que foram utilizadas no projeto, podem ser visualizadas na Tabela 9. Suas informações completas podem ser vistas no Anexo D.

Marca	Linha	Modelo	Potência Elétrica [W]	Fluxo Luminoso da Luminária [lm]	Eficiência Energética [lm/W]
Philips	ArcForm	RC660B	37	3600	97.3
Philips	SmartBalance	SP480P	30	3498	94.5
Philips	SmartBalance	SM480C	17	1998	117.5
Philips	Task Flex	FS400D	8	369	46.1

Tabela 9 – Tabela de equipamentos utilizados no projeto

#### 4.1.2 Simulação e resultados

Para o dimensionamento do projeto a simulação foi realizada no mesmo modelo tridimensional utilizada na seção 3.3. Os mesmos padrões de utilização para cada ambiente bem como as refletâncias de suas superfícies foram mantidas as mesmas.

A classificação dos ambientes e os valores mínimos exigidos em norma também se mantiveram os mesmos da simulação anterior e podem ser visualizados nas tabelas 8 e 7 respectivamente.

#### 4.1.2.1 Recepção

Para a recepção o sistema de iluminação pode ser dividido em duas funções. Uma delas é a iluminação do balcão de atendimento da recepção, a outra é a iluminação da área de passagem. De acordo com a Tabela 7 os valores de  $E_m$  para áreas de recepção e para áreas de circulação são 300 lux e 100 lux respectivamente, e o valor de ofuscamento é 22 para ambos os ambientes.

O sistema projetado para a recepção conta com 3 luminárias da Philips SmartBalance modelo SP480P W24L134. A luminária é do tipo pendente e foi considerada uma altura de instalação de 2.5m. Tal escolha foi feita devido ao ambiente possuir um pé direito relativamente alto e não ser um ambiente muito amplo, com isso posicionar a luminária numa altura menor, embora diminua a amplitude da distribuição de luz, é possível obter uma  $E_m$  maior na área desejada. Cada luminária possui uma potência de 30W.

Para as áreas de circulação foram posicionada duas luminárias e para o balcão apenas uma. Na Tabela 10 é possível visualizar a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise.

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot.da Luminária [W]	$E_m$ Circulação [Lux]	$E_m$ Balcão [Lux]	UGR Circ.	UGR Balc.
Atual	4	70	294	622	23.1	19
Proposta	3	30	181	390	16.5	13.5

Tabela 10 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a recepção.

É possível ver que a potência de iluminação do ambiente diminuiu de 280 Watts para 90 Watts. Foi possível obter uma redução de aproximadamente 70% da potência. Além disso nota-se que tanto na área de circulação quanto no balcão da recepção os valores de  $E_m$  e de ofuscamento se encontram dentro dos valores exigidos em norma.

Os valores de uniformidade podem ser visualizados no Anexo B. Vale ressaltar que devido ao layout da recepção alguns cantos ficaram com baixos índices de iluminância e acabam prejudicando o valor da uniformidade. Entretanto, analisando o gráfico de distribuição de iluminância presente no Anexo B, é possível ver que a área útil da circulação possui uma boa distribuição de iluminância.

Pode-se concluir que o sistema projetado é adequado para o ambiente. Com valores de iluminância dentro dos padrões solicitados e com níveis baixos de ofuscamento é possível afirmar que o ambiente proporciona um bom conforto visual para seus usuários. Além disso o sistema é muito superior em questão de eficiência, consumindo aproxi-

madamente 70% menos de energia e proporcionando aos usuários níveis satisfatórios de conforto visual.

Na Figura 78 é possível visualizar o resultado final da simulação.



Figura 78 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a recepção

#### 4.1.2.2 Copa

A copa é um ambiente relativamente pequeno, e segundo a Tabela 7 o valor de  $E_m$  e UGR são 200 Lux e 22 respectivamente. Com isso o sistema de iluminação projetado contém apenas 1 luminária com potência de 37 Watts. A luminária utilizada é a mesma utilizada na recepção, Philips SmartBalance modelo SP480P, entretanto sua altura de montagem ficou em 2.8m para alcançar o índice de uniformidade de distribuição de iluminância exigido em norma. Os dados completos da luminária podem ser visualizados no Anexo D.

Na Tabela 11 é possível ver a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise. Os resultados completos da simulação podem ser visualizadas no Anexo B.

Pode-se ver que a potência de iluminação sofreu uma redução de aproximadamente 50%. Através dos resultados visto na Tabela 11 pode-se ver que embora o ambiente não estivesse em desacordo com a norma é possível obter resultados melhores com um potência menor,

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot.da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	1	70	331	13.5
Proposta	1	37	222	17.6

Tabela 11 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a copa.

trazendo mais eficiência e mais conforto aos usuários. Nota-se que o índice de ofuscamento sofreu um aumento, entretanto o valor exigido em norma é de 22 logo o ambiente ainda se encontra dentro da normativa exigida.

Na Figura 79 é possível visualizar o resultado final da simulação para a copa.



Figura 79 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a copa

#### 4.1.2.3 Corredor

Como visto na análise anterior o corredor possui um sistema de iluminação indireta, e devido a limitações do DIALux para simular tal tipo de sistema a consideração realizada e a modelagem utilizada são as mesmas que foram utilizadas para estimar a iluminância do corredor na seção 3.3.3.3.

Para a proposta foram utilizadas lampadas da Philips Master LEDTube 1200 mm 18W 840 T8. As lampadas foram posicionadas da mesma maneira realizada na seção 3.3.3.3.



Figura 80 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para o corredor

Na Tabela 12 é possível visualizar a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise.

Simulação	Qtd. de Lâmpadas	Pot.da Lâmpada [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	9	18	83.6	10
Proposta	9	18	100	10

Tabela 12 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a circulação.

É possível notar que os resultados obtidos para o corredor são similares, devido as aproximações tomadas.

Na Figura 80 é possível ver o resultado final da simulação para o corredor.

#### 4.1.2.4 Circulação

A área de circulação é apenas um pequeno corredor que dá acesso às salas 12A, 12B e 12C. Por se tratar de um ambiente de circulação o índice de iluminância mantido no chão do ambiente, segundo a Tabela 7 é de 100 LUX.

Para a circulação também foi utilizada a luminária pendente da Philips SmartBalance modelo SM480P de 30W.

Na Tabela 13 é possível visualizar a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise.

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot.da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	1	30	136	10
Proposta	1	30	219	10

Tabela 13 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a circulação.

Nota-se que a potência do sistema se manteve a mesma, entretanto o índice de iluminância média aumentou. O índice de ofuscamento se manteve dentro dos parâmetros exigidos em norma.

Na Figura 81 é possível ver o resultado final da simulação para a circulação.

#### 4.1.2.5 Sala Multiúso

A sala multiúso possui e é utilizada de diversas maneiras diferentes, e possui um espaço relativamente amplo. Pensando nisso optou-se por realizar uma distribuição uniforme das luminárias no ambiente. Desta forma é possível setorizar os acionamentos e dar a liberdade para o usuário controlar a iluminação de acordo com a função que será desempenhada no local. Evitando assim o gasto desnecessário de energia.

O sistema de iluminação projetado para a sala multiúso possui um total de 6 luminárias de embutir da Philips ArcForm modelo RC660B W60L60 com potência de 37 Watts cada uma. As luminárias foram posicionadas a uma altura de 2.5m (embutidas no forro de gesso presente na sala).

Na Tabela 14 é possível ver a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise. Os resultados completos da simulação bem como o posicionamento exato das luminárias podem ser visualizados no Anexo B.

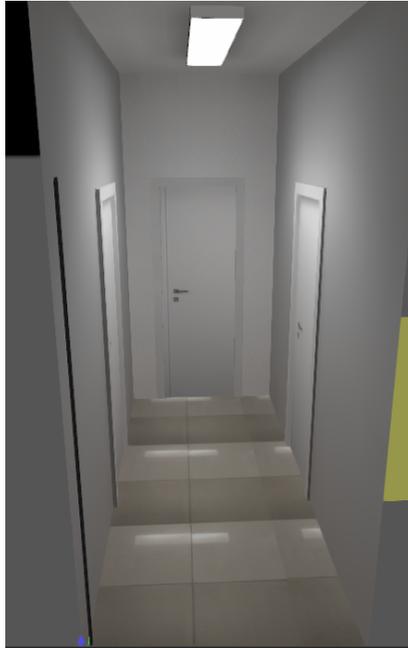


Figura 81 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a copa

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot.da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	6	60	401	16.1
Proposta	6	37	519	19

Tabela 14 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala multiúso.

Obteve-se uma redução de aproximadamente 40% da potência do sistema de iluminação do ambiente. Devido ao tamanho do ambiente e a alta iluminância média exigida em norma foi necessário o uso de 6 luminárias. Entretanto é possível perceber que o sistema anterior contava com a mesma quantidade de luminárias porem com um potência maior e mesmo assim não era o suficiente para manter o valor de 500 Lux exigido e norma, conforme visto na Tabela 7.

Nota-se que o índice de ofuscamento da sala sofreu um aumento significativo, embora não tenha passado do limite exigido em norma. Isso ocorre devido ao padrão de distribuição de luz da luminária.



Figura 82 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a copa

É possível observar através dos diagramas de distribuição de iluminância, que o ambiente obteve uma boa uniformidade. Nota-se que praticamente toda área útil da sala possui uma boa distribuição, exceto pelos cantos. Com isso os usuários possuem total liberdade para utilizarem a sala no layout desejado sem problemas com áreas mal iluminadas.

Na Figura 82 é possível observar o resultado final da simulação para a sala multiúso.

#### 4.1.2.6 Sala dos Servidores

Como a sala dos servidores é essencialmente utilizada para o armazenamento digital de dados através de servidores, o sistema de iluminação do ambiente não necessita de altas iluminância como pode ser visto nas informações da Tabela 7. O ambiente não possui grande circulação de pessoas, e nem possui longos períodos de trabalho.

Para está análise foi avaliada a distribuição de iluminância no plano de trabalho a 0.75m e também a distribuição de iluminância nas paredes do ambiente. Dessa forma é possível avaliar como a iluminância irá afetar as unidade de armazenamento de dados, pois possuem grandes dimensões e para realização de manutenções e troca de equipamentos,

as unidades devem ser bem iluminadas.

As luminárias utilizadas para a sala foram as luminárias da Philips SmartBalance modelo SP480P, a mesma utilizada anteriormente. Foi escolhido o método de montagem pendente devido a viga de sustentação que ocupa parte do teto do ambiente. Dessa maneira é possível evitar o bloqueio de luz em determinadas regiões e garantir uma melhor uniformidade na distribuição de luz.

Na Tabela 15 é possível ver a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise. Os resultados completos da simulação com todos os diagramas de distribuição de iluminância para a sala dos servidores se encontram no Anexo B.

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot.da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	$E_m$ Paredes [Lux]	UGR
Atual	2	70	467	-	17.7
Proposta	2	30	428	231	16.6

Tabela 15 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala multiúso.

Embora o número de luminárias se manteve o mesmo a potência elétrica do sistema de iluminação sofreu uma diminuição de aproximadamente 40%. Além disso os níveis de iluminação necessários para ambientes de arquivos, foi satisfeito chegando a uma média de 428 Lux no plano a 0.75m do chão e mantendo uma iluminância média de aproximadamente 230 Lux nas paredes que garante uma boa iluminação nos equipamentos presentes no ambiente.

Na Figura 83 é possível observar o resultado final para simulação da sala dos servidores.

#### 4.1.2.7 Sala 1, 3, 4, 5 e 7

Assim como na análise anterior, as salas 1, 3, 4, 5 e 7 possuem praticamente as mesmas dimensões e propriedades. Senso assim a análise foi realizada na sala 3, e seu resultado foi estendido para as outras sala. Os resultados completos de cada ambiente pode ser visto separadamente no Anexo B.

Para o sistema proposto foram escolhidas as luminárias de embutir da Philips ArcForm RC660B cada uma potência de 28 Watts. Em cada sala foram utilizadas 3 luminárias idênticas.

Na Tabela 16 é possível ver a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise. Os resultados completos da simulação com todos os diagramas de distribuição de iluminância para as



Figura 83 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala dos servidores

sala 1, 3, 4, 5 e 7.

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot. da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	2	60	277	13.9
Proposta	3	28	523	16.9

Tabela 16 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para as sala 1, 3, 4, 5 e 7.

Pode-se observar que foi utilizada uma luminária a mais do que o atual sistema, entretanto sabe-se que o valor de iluminância média nas salas ficou em torno de 270 Lux, valor muito abaixo do exigido em norma. Nota-se também que embora tenha sido adicionada uma luminária extra a potência total do sistema diminuiu em torno de 30%, devido a alta eficiência da luminária selecionada.

O valor do ofuscamento ficou ligeiramente maior que anteriormente, porem ainda está de acordo com o exigido em na norma.

Na Figura 84 é possível ver o resultado final da simulação da sala 3. Vale ressaltar que todos os resultados obtidos são válidos para as salas 1, 4, 5 e 7 com pequenas diferenças.



Figura 84 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 3

#### 4.1.2.8 Sala 6, 8, 9, e 10

As salas 6, 8, 9 e 10 possuem o mesmo propósito de utilização, leitura e escrita, e devem atender os mesmos parâmetros exigidos pela norma que podem ser observados na Tabela 7. As quatro salas devem possuir uma  $E_m$  de 500 Lux e um índice de ofuscamento de 19.

Para todos os ambientes foram utilizadas as mesmas luminárias, todas da Philips SmartBalance modelo SP480P, que são as mesmas utilizadas anteriormente. As luminárias foram instaladas a uma altura de 2.5m devido as vigas de sustentação que existem no teto dos ambientes. Dessa forma é possível evitar que parte da luz proveniente da luminária seja bloqueada.

Nas tabelas 17, 18, 19 e 20 é possível ver a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise para as sala 6, 8, 9 e 10 respectivamente. Os resultados completos da simulação com todos os diagramas de distribuição de iluminância para as salas 6, 8, 9 e 10 podem ser visto no Anexo B.

Observa-se que na sala 6 e 10 foi adicionado uma luminária a mais do que o sistema de iluminação atual, entretanto obteve-se uma diminuição de potência de aproximadamente 60% em ambas as salas, além disso o índice de ofuscamento nas duas salas também diminui, o

Sala 6

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot. da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	2	70	441	18.5
Proposta	3	28	525	16.0

Tabela 17 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 6

Sala 8

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot. da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	4	70	673	19.4
Proposta	4	28	511	15.9

Tabela 18 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 8

Sala 9

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot. da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	4	70	585	18.7
Proposta	4	28	499	16.5

Tabela 19 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 9

Sala 10

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot. da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	UGR
Atual	2	70	470	17.5
Proposta	3	28	499	14.1

Tabela 20 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 10

que torna o ambiente mais agradável para seus usuários.

Nas sala 8 e 9 o número de luminárias se manteve o mesmo. Nota-se que em ambas as salas os valores atuais de iluminância se encontram acima do exigido em norma além disso na sala 8 o índice de ofuscamento está acima do valor exigido em norma. Pode-se observar que o projeto proposto mantém o mesmo número de luminárias com uma diminuição da potência do sistema em aproximadamente 40%, além disso é possível ver que em ambos os casos o índice de ofuscamento diminuiu, o que torna o ambiente mais confortável para seus usuários.

Pode-se concluir que em ambos os casos os ambientes alcançaram s níveis exigidos em norma com baixos índices de ofuscamento, e com uma significativa diminuição de potência.

Nas Figuras 85 e 86 é possível ver os resultados finais para as simulações das salas 6 e 10 e 8 e 9 respectivamente.



(a) Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 6



(b) Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 10

Figura 85 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para as salas 6 e 10

#### 4.1.2.9 Salas 12A e 12B

Assim como na análise anterior, sabe-se que as salas 12A e 12B são similares. Além de sua forma ser similar bem como suas propriedades as salas possuem layout fixo, com estações de trabalho fixa, e também conta com uma região onde pode ser utilizada para atividades de leitura e escrita. A análise foi realizada para a sala 12A e devido sua



(a) Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 8



(b) Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 9

Figura 86 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para as salas 8 e 9

similaridade com a sala 12B os seus resultados podem ser estendidos para ambas as salas.

Como a sala 12A provem de um layout fixo com estações e trabalho em posições definidas foi proposto um sistema de iluminação com uma iluminação central na sala para iluminar os ambientes de circulação e a área adicional da sala, e com pontos de iluminação individuais e articulados em cada estação de trabalho. Através desse sistema o usuário possui liberdade para iluminar seu plano de trabalho da maneira

que mais lhe convém e for mais confortável, além disso a iluminação central da sala ilumina a circulação e provem um nível de iluminância adequado para a área adicional caso seja utilizada para fins de leitura e escrita, além de proporcionar uma boa iluminação para a circulação do ambiente.

As luminárias selecionadas para a proposta foram as luminárias Philips SmartBalance SP480P, cada um com 30 Watts para a iluminação geral do ambiente, e para as estações de trabalho foram as luminárias Philips TaskFlex FS400D de 8 Watts cada.

Na Tabela 21 é possível ver a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise para a sala 12A. Os resultados completos da simulação com todos os diagramas de distribuição de iluminância para a sala 12A podem ser vistos no Anexo B.

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot. da Luminária [W]	$E_m$ Plano de Trab. [Lux]	Plano
Atual	2	70	470	17.5
Proposta	2	28	499	14.1
	4	8	Variável de 0 a 900 lux	-

Tabela 21 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 12A

O número de luminárias do sistema de iluminação na sala aumentou, entretanto novamente obteve-se uma diminuição da potência elétrica do sistema, aproximadamente 30%. Além disso o sistema proporciona uma boa liberdade para o usuário para iluminar seu plano de trabalho da melhor maneira possível. As luminárias selecionadas para as estações de trabalho são articuladas e permitem ao usuário posicionar da maneira que mais lhe agrada. O sistema ainda permite aos usuários deixarem ativo apenas a iluminação geral da sala em momentos de descanso para obter uma iluminância mais baixa e agradável para tal situação.

Na Figura 87 é possível ver o resultado final da simulação para a sala 12A, vale lembrar que o seu resultado é válido para a sala 12B e pode ser conferidos no Anexo B.

#### 4.1.2.10 Sala 12C

Assim como nas sala 12A e 12B a sala 12C conta com um layout fixo, tendo 13 estações de trabalho fixa e uma área adicional que pode ser usada para atividades de leitura e escrita. A análise foi realizada para cada estação de trabalho separadamente e também para a área



Figura 87 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 12A

adicional e para a área de circulação da sala.

Assim como anteriormente o layout fixo da sala permite a realização de um projeto mais direcionado e assim como na análise anterior o projeto propôs uma iluminação individual para cada estação de trabalho, além de um sistema para a iluminação geral do ambiente. O sistema proposto permite aos usuários liberdade para iluminar o plano de trabalho de acordo com sua necessidade. As luminárias selecionadas para o sistema são as mesmas utilizadas nas salas 12A e 12B, suas características podem ser vistas no Anexo B

Na Tabela 22 é possível ver a comparação entre os principais parâmetros considerados na análise para a sala 12C. Os resultados completos da simulação com todos os diagramas de distribuição de iluminância para a sala 12C podem ser vistos no Anexo B.

Simulação	Qtd. de Luminárias	Pot. da Luminária [W]	$E_m$ Circ. [Lux]	$E_m$ Work.[Lux]	$E_m$ Ad.[Lux]	UGR Circ.	UGR Work.	UGR Ad.
Atual	8	70	518	429	738	21.4	15.3 - 18.5	21.4
Proposta	3	28	185	-	-	14.1	-	-
	13	8	-	0 a 900 lux	0 a 900 lux	-	-	-

Tabela 22 – Comparação dos resultados da simulação atual e da proposta para a sala 12C

Observa-se que o número de luminárias total do sistema aumentou. Anteriormente o sistema possuía oito luminárias, em muitas partes do ambiente o sistema fornece um alto nível de iluminância sem necessidade e na grande maioria das estações de trabalho o sistema possui

altos índices de ofuscamento, iluminâncias baixas em algumas e elevadas em outras e um má uniformidade de distribuição. Dessa maneira o projeto propôs uma luminária articulada por estação de trabalho, a qual dá liberdade total para o usuário iluminar seu ambiente de trabalho da maneira mais confortável possível. Além disso o ambiente conta com um sistema de iluminação geral para fornecer níveis mínimos para as áreas de circulação e nos entornos das estações de trabalho. Na área adicional da sala, foi proposta a instalação de 3 luminárias articuladas, pois como o ambiente não é usado de maneira predominante, através das luminárias é possível ativar apenas quando algum usuário for usar aquela região e ainda permite alcançar o nível de iluminância desejada posicionando a luminária da melhor maneira.

Mesmo com o aumento da quantidade total de luminárias no ambiente, obteve-se uma diminuição de potência de aproximadamente 70% e ainda foi possível transformar o ambiente em um local mais agradável e confortável para seus usuários.

Na Figura 88 é possível visualizar os resultados finais obtidos para a simulação da sala 12C.

## 4.2 PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO

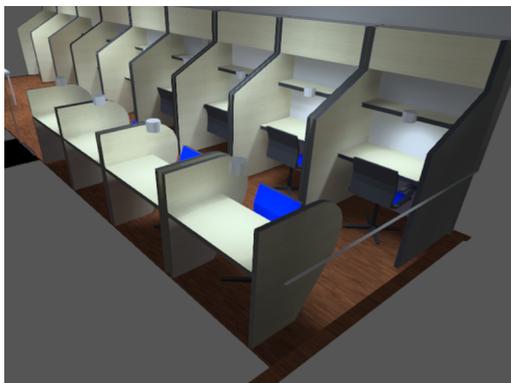
Através da análise de cargas térmicas realizada através do Revit foi possível obter um panorama da dinâmica térmica do ambiente, que possibilitou uma análise de como os ambientes se comportam termicamente e de que maneira eles são afetados. Foi possível observar quem são os responsáveis pelos ganhos e pelas perdas de calor em cada ambiente, além de fornecer uma carga de resfriamento aproximada para cada ambiente, o que facilita o dimensionamento do sistema de climatização para cada espaço. Com uma porcentagem de  $x\%$  o atual sistema de climatização do laboratório possui um custo elevado, e devido a idade de alguns equipamentos pode-se concluir que o sistema é ineficiente e inadequado.

### 4.2.1 Redução da carga térmica dos ambientes

Através dos resultados obtidos na seção 3.2, que podem ser visualizados no Anexo A, é possível observar que em geral os maiores ganhos de calor dos ambientes ocorrem através das paredes, tetos e janelas. Os ambientes que possuem maior incidência solar durante o dia



(a) Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 12C - 1



(b) Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 12C - 2

Figura 88 – Resultado final da simulação com o sistema de iluminação proposto para a sala 12C

possuem ganhos mais elevados, em geral notou-se que os ambientes que possuem suas janelas voltadas para o Leste.

Devido a falta de isolamento da estrutura da edificação, paredes e tetos, os ganhos de calor em decorrência da incidência solar na edificação são relativamente elevados. Através do isolamento das faces internas das paredes é possível reduzir significativamente os valores de ganhos de calor nos ambientes, entretanto este trabalho não avaliou mudanças físicas na estrutura do laboratório.

Nota-se que em alguns ambientes do laboratório possuem um forro de gesso, através desse forro é possível reduzir os ganhos de calor provenientes da laje, além de reduzir o espaço que deve ser condicionando diminuindo a carga de resfriamento necessária para o ambiente. Já nos ambientes que não possuem o forro, notou-se que os ganhos de calor provenientes são maiores, além disso a estrutura do teto do laboratório conta com vigas de sustentação. Tal estrutura além de prejudicar o sistema de iluminação do ambiente também prejudica a estética do local e a dinâmica do fluxo de ar do ambiente.

Uma alternativa para reduzir os ganhos de calor provenientes do teto em alguns ambientes seria a instalação de forros de gesso com isolamento na camada superior. O que proporciona, não apenas, um melhor desempenho térmico para o espaço mas também melhoram o desempenho do sistema de iluminação e a estética do ambiente, tornando-o mais agradável para os usuários.

Através da instalação de vidros com um valor menor de transmissão térmica é possível reduzir significativamente os ganhos de calor provenientes das janelas, além disso a instalação de persianas nos ambientes também colaboram para essa redução, embora de maneira menos eficiente.

O sistema de iluminação também colabora para os ganhos de calor do ambiente, lâmpadas fluorescentes tendem a dissipar grande parte do seu consumo de energia em forma de calor. Através da utilização da tecnologia LED foi possível reduzir significativamente os ganhos de calor provenientes das luminárias.

Um dos pontos críticos do laboratório é a sala 11. Que possuem o sistema de armazenamento digital de dados, os servidores. Tais equipamentos possuem uma potência nominal de 17.600 Watts e emanam uma grande quantidade de calor no ambiente. Devido as dimensões da sala 11 e ao tamanho dos servidores, existe pouca área útil para a circulação de ar no ambiente, somado a isso os servidores estão instalados próximos uns dos outros e com isso ocorre um grande fluxo de calor proveniente dos servidores. Como os equipamentos devem operar na faixa dos 21°C o equipamento de refrigeração utilizado na sala 11 deve possuir uma alta potência de refrigeração.

Como alternativa para a sala dos servidores seria interessante realisar a instalação dos equipamentos de maneira a afasta-los o máximo possível uns dos outros, afim de obter uma circulação de ar melhor no ambiente e entre os equipamentos. Posiciona-los de maneira que o sistema de refrigeração tenha um fluxo de ar livre para o ambiente seria a melhor maneira, devido ao tamanho dos servidores e a área útil da

sala pode não ser possível realizar tais mudanças. Logo outra solução seria dividir a potência de refrigeração necessária em duas máquinas, assim é possível melhorar a circulação de ar no ambiente mesmo com bloqueios físicos no interior do ambiente.

Todas as mudanças propostas foram configuradas e simuladas no Revit, afim de obter a redução da carga de resfriamento para dimensionar o sistema de climatização adequado para cada ambiente. Vale ressaltar que algumas alterações como mudança da estrutura física das paredes internas não foram simuladas devido a limitações para a implementação real de tal medida.

#### 4.2.2 Projeto de climatização

Como resultado da simulação foi possível obter uma redução de aproximadamente % da carga térmica total necessária no laboratório. Na Tabela 23, é possível visualizar as alterações que foram feitas nas configurações do modelo de energia do LabPlan. Vale ressaltar que o modelo utilizado para a simulação é o mesmo utilizado na seção 3.2, entretanto as configurações dos espaços foram alteradas para simular as mudanças propostas.

Simulação	Pot. de Iluminação [W]	U do Vidro [ $W/m^2K$ ]	U do Forro [ $W/m^2K$ ]
Atual	3,364	5.7	2.06
Proposta	1,497	1.98	0.7457

Tabela 23 – Alterações propostas e alteradas no modelo de energia feito no Revit

Na Figura 89 é possível ver o novo gráfico de cargas mensais de resfriamento para os ambientes do LabPlan após a implementação das alterações no modelo de energia. É possível notar uma redução significativa nas cargas mensais.

O forro selecionado para a análise foi de gesso, com uma camada de manta de lã de vidro entre a laje e o gesso, seu coeficiente de transmissão térmica pode ser visto na Tabela 23. Para os vidros das janelas foram selecionados vidros duplos sem revestimento de tonalidade clara, além do seu baixo coeficiente de transmissão térmica o vidro selecionado possui um fator solar, SHGC = 0.49, logo possui uma boa capacidade para bloquear raios solares. O sistema de iluminação alcançou um potência bem inferior a anterior e além disso por ser um sistema com tecnologia LED, o ganho de calor para o o ambiente proveniente do sistema de iluminação é significativamente menor.

### Carga mensal de refrigeração

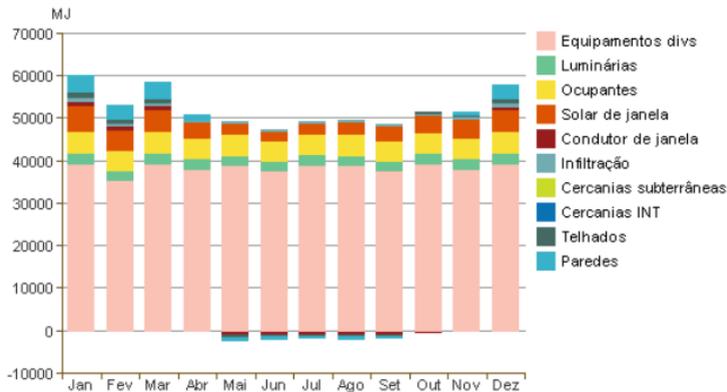


Figura 89 – Cargas mensais de refrigeração do LabPlan após as alterações propostas.

Com as mudanças configuradas executou-se a análise de cargas térmicas dos ambientes. Os resultados completos da análise podem ser visualizados no Anexo A. Na Tabela 24 é possível visualizar um comparativo para os dois cenários simulados. Vale ressaltar que além da mudança no material do forro, nas salas que não possuíam o forro de gesso foi acrescentado.

Simulação	Carga total de pico de resfriamento para o LabPlan [Tr]
Atual	25,11
Proposta	19,49

Tabela 24 – Alterações propostas e alteradas no modelo de energia feito no Revit

Através das mudanças propostas na estrutura do laboratório e no sistema de iluminação foi possível uma redução de aproximadamente 5.5 Toneladas de refrigeração que equivalem a uma potência de refrigeração de 66.000 BTU/h que é um valor expressivo ao analisarmos o consumo elétrico dos sistemas de climatização.

Vale notar que na sala 11 não houve grandes mudanças no ganho de calor do ambiente. Isso porque o grande responsável pelos ganhos de calor da sala é o conjunto de servidores presentes no ambiente que

ficam ligados 24h por dia. Através das medidas adotadas obteve-se uma diminuição de aproximadamente 0,5 toneladas de refrigeração.

Com a carga de pico de resfriamento definida é possível dimensionar o sistema de climatização para cada ambiente de maneira precisa, escolhendo o equipamento com a correta potência de refrigeração para cada ambiente. Na Tabela 25 é possível visualizar a carga de pico de resfriamento em *Toneladas de Refrigeração* para cada ambiente, obtida através da simulação, e a respectiva potência de refrigeração em *BTU/h*.

Ambiente	Carga de pico de resfriamento simulada [Tr]	Carga de refrigeração dimensionada [BTU/h]
Recepção	1.68	18.000
Copa	0.9	9.000
Corredor	0.93	12.000
Circulação	0.06	-
Sala 1	0.87	9.000
Sala 2	1.0	12.000
Sala 3	0.63	9.000
Sala 4	0.44	9.000
Sala 5	0.63	9.000
Sala 6	0.76	9.000
Sala 7	0.63	9.000
Sala 8	0.81	9.000
Sala 9	1.27	12.000
Sala 10	0.73	9.000
Sala 11	5.11	31.000
Sala 12A	0.98	9.000
Sala 12B	0;78	9.000
Sala 12C	1.8	2x9.000

Tabela 25 – Cargas de resfriamento simuladas pelo Revit e cargas de refrigeração dimensionadas para o sistema de climatização.

Através do dimensionamento das cargas de refrigeração é possível definir os equipamentos que serão utilizados em cada ambiente. Aqui existe uma limitação do Revit, a qual não permite configurar o sistema de climatização de maneira individual e com o equipamento selecionado. Para isso após a escolha dos equipamentos e da obtenção dos dados dos mesmo, que podem ser visualizados no Anexo C, foi selecionado o sistema mais próximo o possível no Revit. O sistema escolhido para simular o consumo do equipamento selecionado foi *Sistema dividido/Compacto residencial 17 SEER/9.6 HSPF*, o qual possui uma eficiência de refrigeração próxima dos equipamentos escolhidos para cada ambiente.

Na Tabela 26 é possível verificar os equipamentos que foram escolhidos e sua respectiva potência de refrigeração. Os equipamentos selecionados são da marca LG e contam com a tecnologia DUAL inverter. A tecnologia inverter opera com um fluxo de energia do sistema

regulável, o que permite que o compressor reduza sua velocidade caso verifique que o ambiente precisa de menos refrigeração bem como aumenta sua velocidade de rotação caso o ambiente necessite de uma carga maior de refrigeração. Além disso o sistemas inverter tem a capacidade de alcançar a temperatura de *setpoint* em uma velocidade superior e opera com baixa rotação que reduz a quantidade de ruídos tanto no ambiente interno quanto no externo próximo a unidade condensadora. Na Figura 90 é possível visualizar um gráfico com a diferença de operação entre a tecnologia inverter e a convencional.

Marca	Modelo	Carga de refrigeração dimensionada do Equipamento [BTU/h]
LG	S4-Q09WA5WB	9.000
LG	S4-Q12JA3WC	12.000
LG	S4-Q18KL3WB	18.000
LG	S4-W31V43B1	31.000

Tabela 26 – Equipamentos de climatização escolhidos para a proposta e suas respectivas potências de refrigeração.

Além de possuir as características citadas acima a tecnologia DUAL inverter opera com um compressor de rotor duplo, que garante maior estabilidade durante a operação e reduz as vibrações do equipamento. O equipamento ainda conta com proteções contra picos de tensão a rede, chegando a suportar até 450V. Além disso o equipamento conta com um design simples e elegante e possui interface de comunicação para sistemas de controle inteligente.

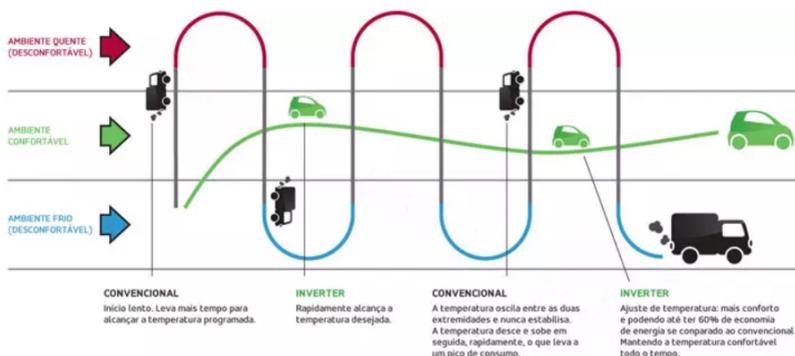


Figura 90 – Diferenças de operação entre as tecnologias Inverter x Convencional. Fonte: [www.adias.com.br/o-que-e-o-ar-condicionado-inverter](http://www.adias.com.br/o-que-e-o-ar-condicionado-inverter)

### 4.3 ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE CONSUMO

O mesmo modelo utilizado na seção 3.2 foi utilizado para a simulação de consumo com os sistemas e mudanças propostas. Assim como anteriormente o Revit cria um arquivo que é enviado para o servidor virtual da Autodesk. A simulação toda em aproximadamente dez minutos e retorna com o resultados na tela do Revit.

Na Figura 91 é possível visualizar os *Fatores desempenho do edifício* que foram considerados na simulação. Nota-se que praticamente todos os parâmetros são idênticos, exceto pela potência média de iluminação, que é calculado de acordo com o sistema configurado no modelo. É possível notar que o sistema de iluminação proposto obteve uma redução dessa potência em aproximadamente 30%, sendo bem mais eficiente.

#### Fatores de desempenho do edifício

Localização:	Florianópolis, Santa Catarina
Estação de meteorologia:	833732
Temperatura externa:	Máx: 32°C/Mínimo: 4°C
Área do piso:	307 m <sup>2</sup>
Área da parede externa:	71 m <sup>2</sup>
Potência média de iluminação:	7.43 W/m <sup>2</sup>
Pessoas:	44 pessoas
Coefficiente de janela externa:	1,05
Custo de eletricidade:	R\$ 0,52/kWh
Custo de combustível:	R\$ 1,75/Térmica

Figura 91 – Fatores de desempenho da edificação para a proposta analisada.

Na Figura é possível os gráficos de consumo de energia para o cenário atual e o proposto. Nota-se que a energia dos equipamentos não se alterou e continua sendo a principal fonte de consumo de laboratório. Na análise os equipamentos dos ambientes se mantiveram os mesmo e vale lembrar que o grande consumidor de energia do laboratório são os servidores que estão presentes da sala 11.

Na Figura 93 também é possível ver que o consumo do sistema de iluminação sofreu uma redução de aproximadamente 50% passando de 15.757 kWh por ano para 9.486 kWh por ano, que representa uma economia anual de R\$ 3.260,00, além de fornecer padrões de iluminação que respeitam as exigências da norma, e que trazem grandes benefícios

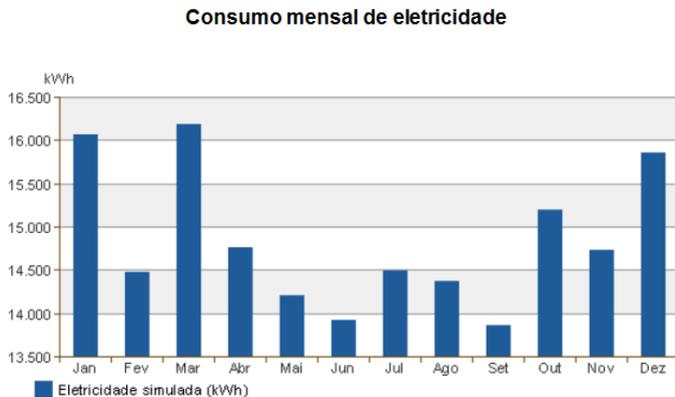


Figura 92 – Consumo mensal de energia simulado pelo Revit para a análise do sistema proposto.

de conforto e produtividade para os usuários do LabPlan.

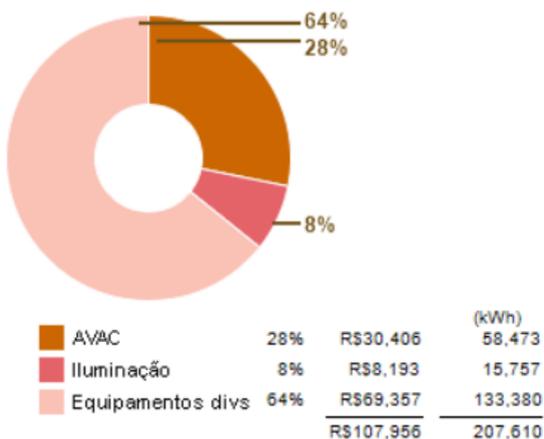
O sistema de climatização também sofreu um redução significativa no consumo de energia indo de *58.473 kWh* por ano para *35.276 kWh* por ano, representando uma economia anual de aproximadamente R\$ 12.063,00. Além da economia proporcionada pelo novo sistema, ele proporciona maior conforto térmico aos ambientes. Além do conforto térmico proporcionado pelo novo sistema, os equipamentos selecionados possuem baixa emissão de ruído, tornando silenciosos mesmo quando operando em capacidade máxima, o que se torna ideal para ambientes de estudo.

Os valores de consumo mensais para a simulação proposta pode ser vista na Figura 92. É possível ver que a demanda mensal de energia diminui significativamente, principalmente nos meses de verão. Isso ocorre por causa do sistema de climatização selecionado, que é mais eficiente logo nos meses de verão o impacto no consumo de energia se torna grande.

Observa-se que foi possível obter um redução de total de energia de aproximadamente 15% que representa um custo anual em torno de R\$ 15.000,00 na conta de energia. Tal valor é expressivo e pode ser convertido para investimentos internos do laboratório, com intuito de beneficiar e melhorar as condições de trabalho de seus usuários.

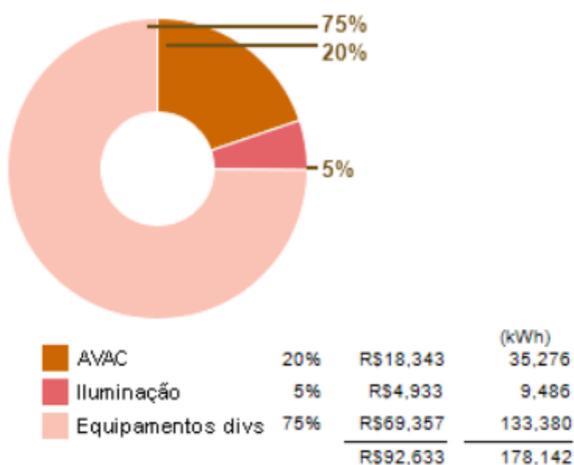
Os resultados completos da simulação energia para o modelo proposto, bem como para o modelo atual, se encontram no Anexo A.

### Utilização de energia: Eletricidade



(a) Consumo de energia do cenário atual do LabPlan

### Utilização de energia: Eletricidade



(b) Consumo de energia do cenário proposto do LabPlan

Figura 93 – Resultados de consumo de energia para os dois cenários analisados



## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho as conclusões podem ser separadas em alguns temas principais: nas ferramentas utilizadas para a modelagem, nas ferramentas utilizadas para as análises, nas escolhas realizadas nas propostas e nos resultados obtidos com a implementação de tais propostas.

As ferramentas de modelagem de massa utilizadas, tanto o Revit quanto o DIALux, se apresentaram de forma bem intuitiva permitindo a criação do LabPlan exatamente como ele é na prática. A acertividade da geometria modelada e sua rápida manipulação ocorre devido aos parâmetros automáticos gerados pelos *softwares* bem como a facilidade de acesso as informações e configurações da construção.

Após a modelagem da edificação os *softwares* permitem a adição de informações importantes para realização das análises. Para análises energéticas é possível determinar os modos de operação do ambiente e suas características térmicas, já para análises luminotécnicas é possível adicionar informações como refletâncias das paredes, índices de reflexão e níveis de iluminação natural. Isso somado ao fato de não ter necessidade da criação de um segundo modelo para simulação de diferentes cenários proporciona uma significativa redução de problemas e conflitos durante a elaboração de modelos.

Entretanto a ferramenta Revit para análise energética ainda apresenta limitações para determinadas análises. Simulação de diferentes sistemas de climatização é restrita as opções fornecidas pelo programa, além dos resultados de cargas térmicas do ambiente serem superficiais o que dificultam uma análise mais aprofundada da dinâmica térmica dos ambientes.

Durante a realização das análises energéticas algumas considerações e aproximações tiveram de ser tomadas devido a limitações do *software* e também em algumas limitações na obtenção de dados estruturais do edifício, como as propriedades térmicas dos materiais utilizados na construção do laboratório. Embora os resultados não possuam uma precisão com 100%, devido as aproximações, foi possível obter um panorama geral da dinâmica térmica do LabPlan bem como um mapeamento do seu consumo energético.

Observou-se que o LabPlan é um grande consumidor de energia, atingindo a marca de 207.510,00 kWh por ano, que representa um custo anual de energia de aproximadamente R\$ 107.956,00. Através da análise foi possível constatar que o laboratório possui uma demanda de energia alta e isso ocorre devido a ineficiência dos sistemas de ilu-

minação que em sua grande maioria são antigos e consomem grandes quantidades de energia e de grande parte do sistema de climatização que possui uma idade relativamente avançada o que torna os equipamentos ineficientes. Outro ponto que influencia diretamente no consumo de energia do LabPlan são os servidores presentes na sala 11. Com potência nominal de 17.600 Watts os equipamentos ficam ligados 24h por dia e operam com potência variável de acordo com sua utilização. Tais equipamentos representam uma parcela grande do consumo de energia do laboratório que foi considerada custo fixo.

Além da análise térmica e energética realizada do laboratório, foi avaliada a situação do sistema de iluminação das salas do LabPlan. Foi possível constatar que grande parte dos ambientes não atende as exigências da norma NBR 8995-1 (ABNT 2013), além de serem ineficientes e possuírem um alto consumo energético. Vale ressaltar que durante as simulações o sistema de iluminação foi considerado 100% em operação, entretanto, durante o levantamento realizado no laboratório foi constatado que diversas lâmpadas estão queimadas, logo o sistema atual de iluminação do laboratório não é adequado para as atividades realizadas ali.

Após a análise do panorama atual do laboratório foram propostos um projeto de iluminação e um de climatização além de algumas pequenas mudanças físicas nos ambientes do laboratório. Para o sistema de iluminação foi proposto o uso de tecnologia LED de alta eficiente atrelado a um design agradável e bonito. Através do uso de luminárias LED de alto desempenho da Philips foi possível obter ótimos níveis de iluminação nos ambiente, todos em acordo com a norma NBR 8995-1 (ABNT 2013), além de conseguir uma redução de consumo energético de aproximadamente 40%.

Para o sistema de climatização inicialmente foram propostas algumas mudanças físicas nos ambientes, como a mudança dos vidros das janelas, por vidros duplos com baixos índice solar, para reduzir a carga térmica proveniente das janelas. Também foi proposta a adição de forros de gesso com isolamento em lã de vidro, nos ambientes que não possuem forro, bem como a adição do isolamento nos ambientes que já possuem, afim de reduzir os ganhos de calor provenientes do telhado e melhorar a estética dos ambientes que não o possuem. Através dessas mudanças foi possível reduzir a carga de resfriamento total necessária para o laboratório em aproximadamente 30%.

Através da redução da carga térmica dos ambientes, é possível dimensionar equipamentos de climatização com uma potência de refrigeração menor nos ambientes, além de trazer economia durante a ope-

ração do equipamento é possível adquirir equipamentos mais baratos devido a baixa potência de refrigeração necessária. Os equipamentos selecionados para realização da simulação foram equipamentos com a tecnologia Dual Inverter, que possuem alto rendimento. Aqui uma das limitações do Revit não fornece um valor preciso da redução de consumo do sistema de climatização, entretanto o Revit conta com um sistema no banco de dados com níveis de eficiência próximos aos níveis dos equipamentos selecionados.

Através da aplicação de tais mudanças foi possível obter uma redução no consumo de energia total do LabPlan em aproximadamente 15%. Um valor significativo para o consumo total da edificação. Vale notar que o LabPlan é apenas um único andar do edifício inteiro.

Com os resultados obtidos durante a análise é possível perceber que as atualmente as edificações são grandes consumidoras de energia, muitas delas com sistemas ineficientes e mal projetados. Além de que em muitos prédios públicos, como é o caso do edifício onde se encontra o LabPlan, não existe um controle de equipamentos nem níveis mínimos de eficiência para os ambientes, além de não contarem com medições separadas por setores nos edifícios o que torna difícil estimar o consumo total da edificação. No caso em questão pode-se notar que apenas um andar do edifício consome um grande quantidade de energia.

Além da falta de controle de consumo e gastos em prédios públicos os níveis mínimos exigidos em norma para os sistemas, sejam eles de iluminação climatização, iluminação de emergência etc, dificilmente são avaliados para verificar suas conformidades com as normas. E assim como no LabPlan grande parte dos prédios da UFSC contam com sistemas de iluminação e climatização precários, o que ocasionam não só grandes consumos energéticos, mas também diminui o rendimento dos usuários bem como torna os ambientes desagradáveis podendo ser até perigosos para a saúde visual dos usuários, no caso de sistemas de iluminação mal dimensionados.

A possibilidade de realização da análise aplicada neste trabalho para os prédios presentes no campus da UFSC poderiam ocasionar grandes reduções de consumo energético bem como gerar uma enorme economia para a universidade. Além da economia de energia gerada, sistemas de iluminação e climatização bem dimensionados trazem diversos benefícios aos usuários, aumentando seus rendimento, tornando seus dias mais gradáveis e melhorando o desempenho em atividade visuais que necessitam de determinados níveis de iluminância mínima. Além desses benefícios os sistemas de climatização e iluminação já possuem interface para controle inteligente, ou seja é possível automatizar os

sistemas para se auto-controlarem de acordo com a necessidade do ambiente em determinado momento.

Com a atual crise energética que o país enfrenta, bem como as constantes reduções de gastos no setor público, este tipo de análise pode trazer diversos benefícios para o setor público. É possível alcançar níveis de eficiência elevados através de simples mudanças em um determinado ambiente.

Com o uso das simulações energéticas encontrar soluções de eficiência energética para edificações tem se tornado cada vez mais fácil e simples. Ferramentas como o Revit permitem que os projetistas possam realizar simulações de desempenho e consumo em um modelo e logo em seguida atualiza-lo com apenas alguns "cliques" e obter um cenário de análise totalmente diferente de forma simples e rápida, o que torna fácil a análise de ambientes já existentes e a busca por soluções para melhorar seu desempenho.

## REFERÊNCIAS

- ABNT 1992 ABNT. *Iluminância de interiores NBR5413*. 1992.
- ABNT 2013 ABNT. *Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior*. 2013.
- Abresco ABRESCO. *O que é Eficiência Energética*. [http : //www.abesco.com.br/pt/o – que – e – eficiencia – energetica – ee/](http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/): [s.n.].
- Administration 2007 ADMINISTRATION, G. S. *GSA BIM Guide Overview*. [S.l.]: U.S. General Services Administration, 2007.
- ASHRAE 2013 ASHRAE. *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Building*. 2013.
- Celesc 2018 CELESC. *Tarifa COnvencional Grupo B - Sem Tributos*. 2018.
- Conpet 2012 CONPET. *Conpet - Programa nacional da racionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural*. [http : //www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt\\_br/conteudo – gerais/programa – brasileiro – de – etiquetagem – 1.shtml](http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/programa-brasileiro-de-etiquetagem-1.shtml): [s.n.], 2012.
- Eastman 2014 EASTMAN, C. *BIM Handbook - Manual de BIM*. [S.l.]: bookman, 2014.
- Eficienergy 2015 EFICIENERGY. *O Consumo de energia nas edificações no Brasil*. 2015.
- EPE 2018 EPE, E. d. P. E. *Balanço Energético Nacional*. [S.l.], 2018. 294 p.
- INMETRO INMETRO. *Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros*.
- Krygiel 2008 KRYGIEL, B. N. E. *Green BIM: Sucessful Sustainable Design with Building Information Modeling*. [S.l.]: Wiley Publishing, Inc., 2008.
- Lamberts 2014 LAMBERTS, R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. [S.l.]: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

Mezoni 2018 MEZONI, W. J. *Univali*. [https :](https://www.univali.br/noticias/Paginas/campus-da-univali-em-biguacu-e-o-primeiro-do-pais-a-gerar-100-de-sua-energia.aspx)  
[//www.univali.br/noticias/Paginas/campus – da – univali – em – biguacu – e – o – primeiro – do – pais – a – gerar – 100 – de – sua – energia.aspx](https://www.univali.br/noticias/Paginas/campus-da-univali-em-biguacu-e-o-primeiro-do-pais-a-gerar-100-de-sua-energia.aspx): [s.n.], 2018.

Ministério 2014 MINISTÉRIO, S. de Logística e Tecnologia da Informação do. *INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DE 4 DE JUNHO DE 2014*. [https :](https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A2578C7A760157902EAEA7163E)  
[//portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId = 8A8182A2578C7A760157902EAEA7163E](https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A2578C7A760157902EAEA7163E): [s.n.], 2014.

Osram 2010 OSRAM. *Iluminação, Conceitos e Projetos*. [S.l.], 2010.

PBE 2014 PBE. *Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica*. [http : //www.pbefedifica.com.br/etiquetagem/publica](http://www.pbefedifica.com.br/etiquetagem/publica): [s.n.], 2014.

PROCEL PROCEL. *PROCEL Info. Estimativa de Consumo de Equipamentos*.

Qualidade 2012 QUALIDADE, I. P. de. *EN ISO 50001:2011 Sistemas de Gestão de Energia*. 2012.

Sustentável 2019 SUSTENTÁVEL, U. *Dados de Consumo do Programa UFSC Sustentável*. [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RPRYARRQ06jkeyF-jZW5JaC2f-7Xydr8dR6zcHHLc/editgid = 526683433range = B12 : R12](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RPRYARRQ06jkeyF-jZW5JaC2f-7Xydr8dR6zcHHLc/editgid=526683433range=B12:R12) : [s.n.], 2019.

Técnicas 2013 TÉCNICAS, A. A. B. de N. *Sistema de iluminação de emergência*. [S.l.], 2013.

Unicamp 2018 UNICAMP. *Projeto Campus Sustentável*. [https : //www.campus – sustentavel.unicamp.br](https://www.campus-sustentavel.unicamp.br): [s.n.], 2018.

Whitley 2017 WHITLEY, G. *What is BIM Modeling*. 2017.