

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

Eduardo Steffens

**MICROGERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA:  
ESTUDO DE CASO TÉCNICO E ECONÔMICO PARA  
AVIÁRIOS EM ÁGUAS MORNAS - SC**

Florianópolis

2017



Eduardo Steffens

**MICROGERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA: ESTUDO DE  
CASO TÉCNICO E ECONÔMICO PARA AVIÁRIOS EM  
ÁGUAS MORNAS - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Ph.D.

Florianópolis

2017

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

Steffens, Eduardo

Microgeração solar distribuída : Estudo de caso  
técnico e econômico para aviários em Águas Mornas/SC  
/ Eduardo Steffens ; orientador, Jefferson Luiz  
Brum Marques, 2017.  
134 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica,  
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Energia Solar  
Fotovoltaica. 3. Geração Distribuída. 4. Propriedade  
Rural. 5. Propriedade Rural. I. Luiz Brum Marques,  
Jefferson. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III.  
Título.



Eduardo Steffens

**MICROGERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA: ESTUDO DE  
CASO TÉCNICO E ECONÔMICO PARA AVIÁRIOS EM  
ÁGUAS MORNAS/SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

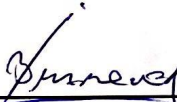
Florianópolis, 07 de dezembro 2017.



---

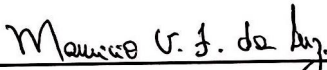
Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



---

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Ph.D.  
Orientador



---

Prof. Dr. Maurício Valência Ferreira da Luz  
Membro da Banca



---

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.  
Membro da Banca



Aos meus pais Salésio e Maria de Fátima,  
fonte inesgotável de amor e confiança.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha família, em especial aos meus pais, Salésio e Maria de Fátima (*in memoriam*), pelo amor incondicional, apoio e esforço inestimável para que eu dispusesse de condições de seguir esta caminhada com conforto e sem preocupações. Ao meu irmão, Fernando, por toda ajuda oferecida a mim, pelo apoio e discussões sobre temas relevantes à minha graduação, assim como todo companheirismo durante minha vida.

À minha namorada, Jéssica, por todo amor e compreensão em minhas ausências, e também por ler e reler este trabalho em busca de correções. Ainda que de um tema desconhecido, não mediu esforços para compreender e acrescentar.

Ao meu orientador, Professor Jefferson Luiz Brum Marques, por nossas conversas, pela confiança, disponibilidade e ensinamentos que possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, em especial a Lucas Comelli, Hiago M. Horstmann, Luiza B. Franco, Matheus S. Ferreira, William J. da Silva, e tantas outras amizades que fiz durante a graduação, a todos vocês meus sinceros votos de sucesso em suas caminhadas.

Ao meu tio, Renato Vambommel e família, por fornecer todas informações relativas de seus aviários. Espero que este trabalho forneça informações técnicas e econômicas que lhe auxilie na escolha deste futuro investimento. Aproveito e alongo este agradecimento aos demais membros da minha família.

À Universidade Federal de Santa Catarina, em especial aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica por todo conhecimento transmitido e serviço prestado.

À banca avaliadora, Prof. Renato Lucas Pacheco e Prof. Maurício Valencia Ferreira da Luz, pelo tempo dedicado e pelas sugestões. É uma honra tê-los avaliando este trabalho.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma na elaboração deste trabalho.



*"Foi o tempo que dedicastes à tua rosa  
que a fez tão importante.*

Antoine de Saint-Exupéry





## RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar as viabilidades técnica e econômica da implantação de um sistema gerador fotovoltaico, que deverá ser capaz de suprir a necessidade energética de uma propriedade rural localizada no município de Águas Mornas/SC. Sob a análise do estado da arte da geração solar fotovoltaica, o estudo inicia com um breve entendimento da importância das propriedades rurais em Santa Catarina, em especial as de agricultura familiar que trabalham com aviários, prosseguindo através de uma contextualização das características que devem ser consideradas no projeto do sistema gerador. Para aplicar os conhecimentos adquiridos, utiliza-se como estudo de caso três aviários cadastrados sob uma mesma unidade consumidora, na qual são responsáveis pela produção média de 252 mil aves anualmente tendo, por conseguinte, consumo de energia de 28,75 MWh entre o período de agosto de 2016 até julho de 2017. Para o estudo de caso são descritas as cargas instaladas e seus usos e também dados geográficos, solarimétricos e construtivos do aviário onde serão dispostos os módulos fotovoltaicos. Através de um software de simulação de sistemas fotovoltaicos, confronta-se a análise teórica sobre a potência instalada de uma unidade microgeradora distribuída. Isto posto, o material necessário para sua implementação é definido. O estudo técnico abordado gerencia as condições em torno da geração, do detalhamento de interconexão de módulos fotovoltaicos, dimensionamento de sistemas de proteção contra surtos e aterramento. Estes detalhes são apresentados nos diagramas de arranjos fotovoltaico, unifilar e multifilar. Apenas a viabilidade técnica não é suficiente. Portanto, este estudo abrange a factibilidade econômica deste tipo de aplicação, demonstrando através do *Payback*, VPL e ROI a viabilidade econômica do investimento para uma microgeração distribuída. Os resultados são promissores. Ao término de 25 anos de operação, o investidor terá retorno aproximado de 5 vezes o que foi investido. Não somente o investidor se beneficiará, mas também a sociedade, tendo em vista que 24 aviários em uma única cidade são responsáveis pelo consumo de 64 residências (consumo médio de 300 kWh/mês), auxiliando na redução de encargos conhecidos por bandeiras tarifárias, além de contribuir com o meio ambiente pelo uso de uma energia renovável.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica. Geração Distribuída. Propriedade Rural. Avicultura.



## ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the technical and economical feasibility of a photovoltaic generation system implementation, which shall be capable of supplying the energetic needs of a rural property located at Águas Mornas/SC. Based on state of art analysis of the solar photovoltaic generation, the study starts with a brief understanding about the importance of rural property in the state of Santa Catarina, in particular those properties of family farming that work with poultry farming, continuing through a contextualisation of characteristics that must be considered in the project of a generation system. In order to apply the knowledge acquired, it is used as study case three poultry farming registered under the same consumer unit, those are responsible for average production of 252 thousands poultry broilers annually, therefore, a energy consumption of 28.75 MWh between August of 2016 and July of 2017. For the case study, it will be described the installed loads and their uses, as well as geographic, solarimetric and constructive data about the poultry farming where the photovoltaic pannels will be installed. Through a simulation software, it will compare the theoretical analysis about the installed power of an distributed microgenerator unit. Said that, the necessary material for its implementation is defined. The technical study covered in this work manages the conditions around the generation, the detaillling of the interconnection of photovoltaic modules, design of surge protection systems and earthing. Those details are presented in the string, one-line and multi-line diagrams. Only the technical viability is not enough. So, this study covers the economic feasibility of this type of aplicacion, demonstrating through Payback, NPV and ROI the economic viability of the investment for a distributed microgeneration. The results are promising. At the end of 25 years of operation, the investor will have an approximate return of 5 times what was invested. Not only will the investor will benefit, but also the society, given that 24 poultry farming in a single city are responsible for the consumption of 64 households (average consumption of 300 kWh/month), helping to reduce charges known as tariff flags, besides contributing to the enviroment through a renewable energy.

**Keywords:** Solar Photovoltaic Energy. Distributed Generation. Rural Property. Poultry Farming



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma de desenvolvimento de projetos de viabilidades técnica e econômica para sistemas geradores fotovoltaicos..	29
Figura 2	Diagrama de blocos de sistemas geradores <i>off-grid</i> e seus componentes.....	33
Figura 3	Diagrama de blocos de sistemas geradores <i>grid-tie</i> e seus componentes.....	34
Figura 4	Painel solar de silício policristalino 325Wp. ....	36
Figura 5	Funcionamento de um inversor CC-CA para conexão à rede elétrica. ....	37
Figura 6	Inversor de tensão CC-CA 27kW com monitoramento <i>wireless</i> .....	38
Figura 7	Eficiência em função da potência de operação do inversor. ....	38
Figura 8	<i>String box</i> 4 entradas e 2 saídas, composta por DPSs, chaves seccionadoras e fusíveis em caixa de proteção IP65.....	39
Figura 9	Medidor bidirecional utilizado para computo de créditos no sistema de compensação.....	40
Figura 10	Funcionamento do sistema de compensação. ....	41
Figura 11	Média anual brasileira da incidência solar global horizontal. ....	49
Figura 12	Gráfico incidência solar média sazonal.....	50
Figura 13	Ventilador com motor de indução trifásico de 1/2 cv. .	55
Figura 14	Bebedouro tipo <i>nipple</i> com motobomba trifásica de 1 cv. ....	55
Figura 15	Comedouro com motor de indução trifásico de 1/2 cv. .	56
Figura 16	Exaustor do sistema de aquecimento com motor de indução trifásico 3 cv. ....	56
Figura 17	Média mensal do consumo anual (08/2016 a 07/2017) de três aviários. ....	57
Figura 18	Irradiação média global e inclinada na Grande Florianópolis. ....	62
Figura 19	Balço de energia elétrica para o primeiro ano de operação. ....	66
Figura 20	Diagrama de perdas para o primeiro ano de operação..	68

Figura 21	Esquemático composição da (string box) utilizada no estudo de caso.....	79
Figura 22	Esquemático da composição da caixa de proteção CA utilizada no estudo de caso. ....	80
Figura 23	Modos de instalação em eletrocalha aparente (método B1).....	81
Figura 24	Fluxo de caixa.....	88
Figura 25	Fluxo de caixa acumulado - análise do <i>payback</i> . ....	89
Figura 26	Análise do valor presente líquido (VPL) anual.....	90
Figura 27	Análise do retorno sobre investimento (ROI) anual. ...	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Alíquota de IPI em componentes de um sistema de geração solar. ....	47
Tabela 2	Dados gerais do aviário com melhor capacidade de produção de energia.....	53
Tabela 3	Potência instalada em aviário convencional.....	54
Tabela 4	Tabela da relação entre consumo por lote de ave de corte.	59
Tabela 5	Dados de irradiação solar na Grande Florianópolis. ....	61
Tabela 6	Percentuais de perdas utilizadas na simulação.....	67
Tabela 7	Geração de energia elétrica anual estimada.....	71
Tabela 8	Distribuição das cores por condutor.....	82
Tabela 9	Taxa do IPCA acumulado anual entre 2007-2016. ....	84
Tabela 10	Taxa do rendimento da poupança anual entre 2007-2016.	85
Tabela 11	Custo dos materiais, projetos e instalação do gerador fotovoltaico de 22,1kWp. ....	85
Tabela 12	Reembolso (economia) estimado pela produção anual de energia elétrica. ....	87





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética.....	25
Mtep	Mega Tonelada Equivalente de Petróleo (1 tep = 11,630 MWh).....	25
GWh	Giga-Watt Hora.....	25
CIDASC	Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina.....	26
kWh/m <sup>2</sup>	Quilo-Watt Hora por Metro Quadrado.....	27
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.....	28
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.....	28
D.D.P.	Diferença de Potencial.....	31
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas.....	31
GW	Giga-Watt.....	31
MW	Mega-Watt.....	31
CC	Corrente Contínua.....	34
CA	Corrente Alternada.....	34
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia.....	35
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.....	37
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.....	37
IEC	International Electrotechnical Commission.....	37
MPPT	Maximum Power Point Transfer.....	37
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos.....	39
REN	Resolução Normativa.....	40
ANEEL	Agência Nacional de Engenharia Elétrica.....	40
PRODIST	Procedimento de Distribuição.....	40
UC	Unidade Consumidora.....	41
PIB	Produto Interno Bruto.....	42
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina.....	43
VPL	Valor Presente Líquido.....	44
ROI	Retorno sobre Investimento.....	44
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços... ..	46
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados.....	46

II	Imposto sobre Importação.....	46
ISS	Imposto sobre Serviço.....	46
TIPI	Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados.....	47
CONFINS	Contribuição para Financiamento de Seguridade Social	47
PIS/PASEP	Programa de Integração Social e o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público.....	47
cv	Cavalo-vapor [ $1cv = 735,4W$ ].....	54
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.....	60
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco.....	60
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment.....	60
NASA	National Aeronautics and Space Administration.....	60
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.....	60
DLR	German Aerospace Center.....	60
Wp	Watt pico.....	64
kWp	Quilo-Watt pico.....	64
LID	Light Induced Degradation.....	67
MWh	Mega-Watt Hora.....	69
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversores.....	70
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature.....	75
XLPE	Polietileno Extrudado.....	81
PVC	Policloreto de Polivinila.....	81
R	Fase R.....	81
S	Fase S.....	81
T	Fase T.....	81
N	Neutro.....	81
PE	Proteção (Terra).....	81
CEREJ	Cooperativa de Prestação de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica Senador Esteves Júnior.....	82
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo.....	84
a.a.	Ao ano.....	88

## LISTA DE SÍMBOLOS

$P_{total}$	Potência total [kWh].....	39
$P_{injetada}$	Potência injetada na rede [kWh] .....	39
$P_{consumida}$	Potência consumida da rede [kWh].....	39
$FC_t$	Fluxo de caixa no intervalo t [R\$].....	45
i	Taxa de desconto ou atratividade .....	45
t	Intervalo finito de tempo.....	45
$P_n$	Potência do equipamento n [kW].....	57
$t_n$	Tempo em que $P_n$ fica ligado [horas] .....	57
$D_n$	Período em que $P_n$ fica ligado [dias].....	57
$P_{FV}$	Potência nominal instalada do sistema gerador [Wp] .	64
$R\%$	Percentual de redução da fatura [%] .....	64
$\overline{P_{consumida}}$	Potência média consumida [kWh] .....	64
$N_{dias}$	Número de dias do ano [dia] .....	64
$G_{global}$	Irradiância global média local [kWh/m <sup>2</sup> ].....	64
$\eta$	Eficiência do sistema [%].....	64
$P_{Mfv}$	Potência nominal do módulo fotovoltaico [Wp].....	64
$N_{Mfv}$	Número de módulos fotovoltaicos .....	69
$P_{Nca}$	Potência nominal do inversor [Wp].....	70
FDI	Fator de dimensionamento do inversor .....	70
$T_{NOCT}$	Temperatura no NOCT [°C].....	75
$G_{NOCT}$	Irradiância no NOCT [W/m <sup>2</sup> ] .....	75
$W_{NOCT}$	Velocidade do ar no NOCT [m/s].....	75
$N_{FV_{max}}$	Número máximo de módulos fotovoltaicos.....	75
$V_{INV_{max}}$	Tensão CC máxima da entrada do inversor [V].....	75
$V_{OC_{max}}$	Tensão máxima de circuito aberto [V].....	75
$N_{FV_{min}}$	Número máximo de módulos fotovoltaicos.....	75
$V_{INV_{min}}$	Tensão CC mínima da entrada do inversor [V] .....	75
$V_{OC_{min}}$	Tensão mínima de circuito aberto [V] .....	75
$V(T_{FV})$	Tensão em função da temperatura do módulo [V]....	76
$V_{OC_{NOCT}}$	Tensão circuito aberto do módulo fotov. no NOCT [V]	76
B	Coeficiente de temp. de circuito aberto [%/°C].....	76
$T_{FV}$	Temperatura do módulo fotovoltaico [°C].....	76

$T_{FV_{NOCT}}$	Temperatura do módulo fotovoltaico no NOCT [°C]..	76
$G_{FV}$	Irradiância no módulo fotovoltaico [W/m <sup>2</sup> ].....	76
$T_{ambiente}$	Temperatura ambiente [°C] .....	76
$V_{MPPT}$	Tensão de operação MPPT do inversor [V].....	77
$N_{FV}$	Número de módulos fotovoltaicos .....	77
$V_{MP}$	Tensão nominal dos módulos fotovoltaicos sob STC [V]	77
$I_{MP}$	Corrente nominal sob STC [A] .....	77
$I_{SC}$	Corrente de curto circuito [A].....	77
$P_{max}$	Potência nominal máxima [W] .....	77

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	25
1.1 MOTIVAÇÃO .....	26
1.2 OBJETIVO .....	27
1.2.1 Objetivo Geral .....	27
1.2.2 Objetivo Específico .....	27
1.3 METODOLOGIA .....	28
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....	29
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	31
2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	31
2.1.1 Princípio do Funcionamento da Energia Fotovoltaica	32
2.1.2 Geração de Energia Solar <i>Off-Grid</i> e <i>Grid-Tie</i> .....	32
2.1.2.1 Geração <i>Off-Grid</i> .....	32
2.1.2.2 Geração <i>Grid-Tie</i> .....	34
2.1.3 Elementos que Compõe a Geração de Energia Solar <i>Grid-Tie</i> .....	35
2.1.3.1 Painel Solar Fotovoltaico .....	35
2.1.3.2 Inversor de Tensão CC-CA <i>Grid-Tie</i> .....	36
2.1.3.3 <i>String Box</i> .....	39
2.1.3.4 Medidor de Energia Bidirecional .....	39
2.1.4 Regulamentação da Central Geradora Fotovoltaica .	40
2.2 ESTADO DE SANTA CATARINA E MUNICÍPIO DE ÁGUAS MORNAS .....	42
2.2.1 Importância do Setor Avícola na Economia Catari- nense .....	43
2.3 ECONOMIA - ANÁLISE DE INVESTIMENTOS .....	43
2.3.1 Fluxo de Caixa .....	44
2.3.2 Valor Presente Líquido .....	44
2.3.3 Retorno sobre Investimento .....	45
2.3.4 <i>Payback</i> .....	46
2.3.5 Impostos .....	46
2.4 INCIDÊNCIA SOLAR .....	48
2.4.1 Mapa Solarimétrico .....	49
<b>3 ESTUDO DE CASO - DESCRIÇÃO DO AVIÁRIO</b> ..	53
3.1 DADOS GERAIS .....	53
3.2 DESCRIÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA E USO DE CARGAS .....	54
3.2.1 Potência Instalada .....	54

3.2.2	Uso das Cargas .....	54
3.3	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO AVIÁRIO .....	56
3.4	ANÁLISE DA INCIDÊNCIA SOLAR .....	60
4	<b>DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E ECONÔMICO</b>	
	<b>DO ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>63</b>
4.1	ANÁLISE DOS ASPECTOS TÉCNICOS .....	63
4.1.1	Dimensionamento do Sistema Gerador Fotovoltaico	64
4.1.2	Descrição do Sistema Gerador Fotovoltaico <i>Grid-Tie</i>	69
4.1.3	Energia Gerada Anualmente - Período de 25 anos ..	71
4.1.4	Aspectos Construtivos da Instalação do Sistema Gerador Fotovoltaico .....	72
4.1.4.1	Orientação e Localização dos Módulos Fotovoltaicos .....	74
4.1.4.2	Definição das Interconexões de Módulos Fotovoltaicos - <i>Strings</i> .....	75
4.1.4.3	Conexão do Quadro de Proteção CC - <i>String Box</i> .....	77
4.1.4.4	Conexão do Quadro de Proteção CA .....	79
4.1.4.5	Dimensionamento dos Condutores .....	80
4.1.4.6	Sistema de Aterramento .....	82
4.1.5	Documentação Exigida pela Concessionária .....	83
4.2	ANÁLISE DOS ASPECTOS ECONÔMICOS .....	83
4.2.1	Custos do Sistema de Geração Fotovoltaica .....	85
4.2.2	Custos de Manutenção .....	86
4.2.3	Análise do Fluxo de Caixa .....	86
4.2.4	Análise do <i>Payback</i> Simples .....	89
4.2.5	Análise do Valor Presente Líquido (VPL) .....	90
4.2.6	Análise do Retorno sobre Investimento (ROI) .....	91
4.3	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO MUNICÍPIO DE ÁGUAS MORNAS/SC .....	92
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>93</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS .....	95
5.2	TRABALHOS CORRELATOS .....	95
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE A – Planilha de Cálculo da Análise Técnica e Econômica de Sistemas Microgeradores Distribuídos</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE B – Diagrama de Arranjos (<i>Strings</i>)</b> .....	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE C – Diagrama Unifilar</b> .....	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE D – Diagrama Multifilar</b> .....	<b>123</b>
	<b>ANEXO A – Ficha Técnica Inversor de Tensão 20kW Fronius Symo 20.0.3M</b> .....	<b>127</b>
	<b>ANEXO B – Ficha Técnica Módulo Fotovoltaico 325Wp Canadian CS6u-325P</b> .....	<b>131</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a menor partícula que compõe um ser vivo - a célula, até as maiores indústrias existentes, todas elas necessitam de energia para cumprir seu papel. Os tipos de energia são diferentes, no entanto, é fato que elas são provenientes de uma fonte e que, ao se esgotar, põe em risco o correto funcionamento do que está sendo tratado.

Atualmente, se discute que o conceito energia elétrica trás consigo a responsabilidade da geração de baixo impacto ambiental, promovendo benefícios maiores que malefícios. Em outras palavras, é o trabalho de quantificar o quão sustentável é a geração de energia. Exceto pela fabricação da tecnologia a ser instalada, a geração de energia através de módulos fotovoltaicos nos topos de prédios e telhados não apresenta degradação ambiental.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2016, divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no ano de 2015 a produção de energia solar correspondeu a 1,4 Mtep (mega tonelada de petróleo, aproximadamente 16282 GWh). Se comparada ao ano anterior, 2014, houve um aumento de 97%. No entanto, estes números são irrisórios se comparado à geração de energia proveniente de petróleo e derivados que, em 2015, alcançou 111,6 Mtep (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016). Uma rápida conclusão que se pode chegar é que, embora seja de pouca expressividade no cenário atual, a energia solar tem se mostrado promissora e com crescimento elevado.

Junto aos custos com insumos necessários à criação de aves de corte, estima-se que os gastos em energia elétrica somem 18% (CERATTO, 2015) das despesas totais. Por este aspecto, uma alternativa para o abatimento desta despesa seria a geração própria de energia elétrica. Dentre as alternativas atuais, a energia solar vem se mostrando a melhor alternativa como fonte complementar para a redução de tais despesas.

Em vista disso, o escopo deste trabalho irá abranger o estudo técnico e econômico de forma teórica e prática para que, através de um estudo de caso em uma propriedade rural, possa servir de referencial para novas aplicações.

A obtenção dos dados técnicos e financeiros foram desenvolvidos simultaneamente a uma planilha de cálculos, cuja função é automatizar os cálculos e resultados necessários na criação de projetos. Embora ainda em versão inicial e limitada, a planilha permite a personalização do banco de dados solarimétricos e de equipamentos, garantindo a

aplicação em um amplo rol de instalação de sistemas geradores fotovoltaicos.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

O Estado de Santa Catarina vem ganhando destaque mundial como exportador de carne ao passar dos anos, consagrando-se como segundo maior produtor de carne de frango do país em 2016, atividade esta que figura na primeira posição no ranking de exportações do estado, capitalizando em torno de U\$1,7 bilhão no mesmo ano. Estima-se que em Santa Catarina há aproximadamente 8,5 mil produtores de frango integrados a indústrias de beneficiamento de aves de corte, responsáveis pela criação de aproximadamente 2,1 milhões de toneladas de frango abatidos em 2016 (CIDASC, 2016), aproximadamente 247 toneladas por produtor.

Ainda que berço de grandes indústrias de beneficiamento de carne de frango, estas empresas tem por base o modelo de agricultura familiar adotado em Santa Catarina. Portanto, a criação de frango se dá por um acordo entre produtor e empresa, onde o produtor é responsável pela construção e manutenção do aviário e demais cuidados as aves, ao passo que a empresa se responsabiliza pelo fornecimento de pintainhos, ração, equipe de veterinários e toda a logística envolvida no transporte das aves.

Com o intuito de garantir a predominância do estado frente às exportações, faz-se necessária a valorização do produtor através do aumento do preço da venda do quilo de ave. O seu lucro líquido é dado pelo seu lucro bruto subtraído das despesas advindas da criação (mão-de-obra, ração, água, energia elétrica, e outros insumos). Sabe-se que os gastos provenientes da energia elétrica compõe mais ou menos a quinta parte dos custos totais (CERATTO, 2015). Portanto, mesmo a médio prazo o estudo de uma alternativa de reduzir despesas faz-se necessário. Em aviários tradicionais, o consumo de energia é predominantemente em ventiladores para o controle de temperatura durante o verão. Entretanto, nesta mesma época do ano a disponibilidade de incidência solar é alta e de longa duração, garantindo a combinação sustentável entre necessidade e disponibilidade energética.

O impacto ambiental não se restringe apenas ao meio físico ou biótico, mas também a tudo que o circunda, como, por exemplo, o aspecto socioeconômico. A energia solar aplicada a aviários é extremamente benéfica, tendo em vista que seu impacto ambiental é mínimo,



pois não gera poluentes durante seu funcionamento e se utiliza da área do telhado do aviário, que previamente estava em desuso.

Sob o panorama mundial, o maior gerador de energia solar do mundo, a Alemanha, apresenta seu maior índice de irradiação solar (aproximadamente 1225 kWh/m<sup>2</sup> por ano) em torno de 28,5% inferior que o menor índice de irradiação solar brasileiro (1679 kWh/m<sup>2</sup> por ano) (SALAMONI; RUTHER, 2009). Ou seja, ainda que na pior região brasileira, tem-se uma irradiação solar superior à melhor taxa alemã.

Diante do anteposto, espera-se desenvolver um projeto de microgeração solar fotovoltaica que seja viável sob os aspectos técnicos e econômico e que atenda às expectativas energéticas para a aplicação em um aviário localizado na Grande Florianópolis.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar, sob os aspectos econômico e técnico, a viabilidade de implantação de uma fonte geradora de energia solar de pequeno porte, de modo a suprir a demanda de uma propriedade rural composta por três aviários, localizada no município de Águas Mornas, no Estado de Santa Catarina. Avaliar, preliminarmente, a influência do ponto de vista energético, caso todos os aviários do município aderissem a esta tecnologia, de forma geral, analisar o consumo atual e estimar o montante energético que poderia ser produzido pelas unidades geradoras solares em cada empreendimento.

### 1.2.2 Objetivo Específico

Com o intuito de atingir o objetivo proposto, tem-se por objetivos específicos:

- Compreender o funcionamento da geração de energia fotovoltaica, seus equipamentos e particularidades;
- Analisar o consumo e gastos em energia elétrica de um aviário e suas exigências quanto ao fornecimento de energia;
- Assimilar conceitos da regulamentação exigida pela concessionária e demais órgãos fiscalizadores para o acesso à rede de distribuição;

- Analisar a incidência solar e como este fator influencia na geração de energia;
- Garantir que os custos de instalação e manutenção sejam economicamente viáveis;
- Contabilizar o número de aviários associados e avaliar, sob a ótica energética, a quantidade de energia elétrica consumida atualmente e quanto dessa energia poderia ser gerada no futuro;
- Desenvolver uma planilha que auxilie o projeto, a análise e que mostre as especificações técnicas e econômicas para sistemas fotovoltaicos.

### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização do trabalho se dá primeiramente com maior obtenção de conhecimento sobre o tema através da literatura disponível na Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), assim como artigos científicos e publicações disponíveis em base de dados e periódicos, tais como: IEEE Xplorer, Elsevier, Repositório Digital UFSC e repositórios de outras universidades brasileiras.

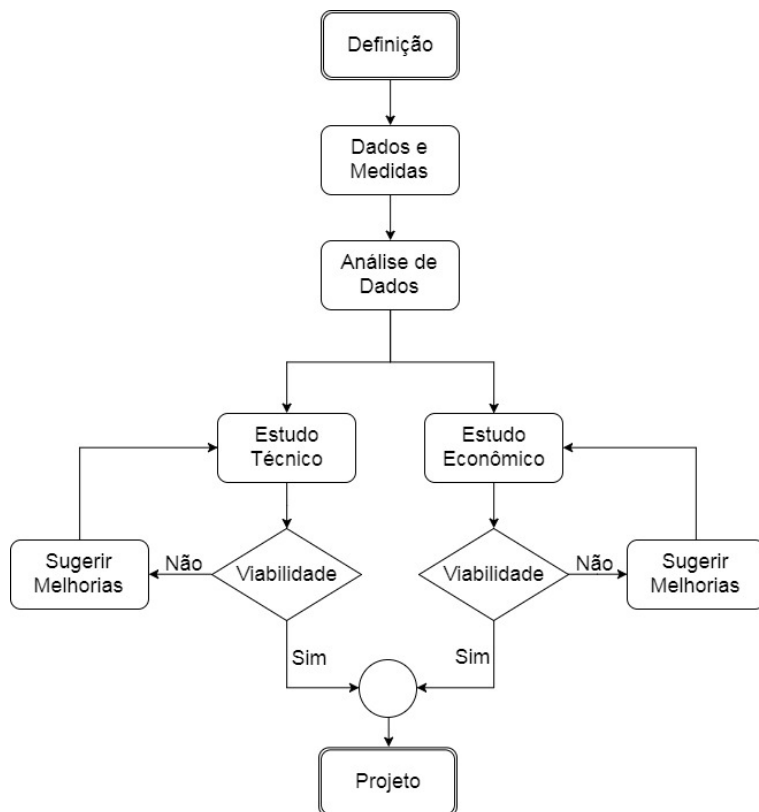
A pesquisa tem como foco o desenvolvimento do estudo de viabilidades técnica e econômica de um sistema de geração de energia solar a ser aplicado em uma propriedade rural com três aviários. Um fluxograma que mostra a forma na qual o estudo de caso, em conjunto com o projeto, foi desenvolvido pode ser observado na Figura 1.

Para a execução deste estudo, primeiramente, se faz necessária a consulta in loco para a obtenção das medidas de potência instalada, potência consumida, localização e posição em relação ao Sol, entre outras particularidades do empreendimento.

A segunda parte consiste em fazer as análises necessárias com os dados coletados. Portanto, iniciam-se os estudos relativos à viabilidades técnica e econômica, que se apresentam como fatores determinantes para se avaliar se a instalação de uma unidade geradora de energia solar será viável ou não.

Por fim, na terceira etapa, com os dados coletados provenientes das empresas que mantêm os aviários e seus associados, pode-se avaliar a quantidade de aviários dentro do município e fazer uma estimativa, ainda que inicial, sobre a potência que poderia estar sendo gerada e quanto estes aviários consomem.

Figura 1 – Fluxograma de desenvolvimento de projetos de viabilidades técnica e econômica para sistemas geradores fotovoltaicos.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este documento foi dividido em 5 capítulos, os quais se organizam da seguinte maneira.

O capítulo 1 faz uma abordagem geral do que será apresentado, expondo o conteúdo dos próximos capítulos, assim como, os objetivos a serem alcançados e na metodologia utilizada.

O capítulo 2 tem por objetivo apresentar uma breve revisão bibliográfica dos principais conceitos abordados ao longo do trabalho, definindo e delimitando temas necessários ao entendimento dos próxi-

mos capítulos.

O capítulo 3 aborda a descrição do aviário utilizado no estudo de caso, no que tange sobre o consumo e descrição da potência instalada, além de aspectos geográficos dos aviários.

O capítulo 4 aprofunda-se no cerne deste trabalho. Apresenta a descrição do sistema gerador fotovoltaico e resultados a respeito das viabilidades técnica e econômica de investimento capaz de suprir a demanda do empreendimento.

Por fim, o capítulo 5 analisa os resultados obtidos, tomando conclusões gerais da possibilidade e dos benefícios de um sistema de microgeração solar distribuída, além de propor ideias para trabalhos futuros que possam complementar este estudo ou abrir horizontes que tragam benefícios mútuos ao investidor e à sociedade.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo encontra-se um breve embasamento teórico necessário para o entendimento dos capítulos posteriores.

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O princípio da energia fotovoltaica surgiu em 1839 com a descoberta de Edmond Becquerel, que consistia na observação do surgimento de uma diferença de potencial (D.D.P.) nos terminais de uma célula eletroquímica quando exposta à luz. Com o aparecimento de pesquisas e estudos, por volta do ano 1956, dá-se início à produção industrial, juntamente com o advento da eletrônica e dos semicondutores.

Desde o princípio da fabricação em massa, esta tecnologia esteve em constante ascensão, principalmente por motivos políticos e de crises energéticas, tendo por exemplo a chamada “corrida espacial” entre Estados Unidos e a extinta URSS e, também, a crise do petróleo de 1973.

Embora a disponibilidade de energia solar seja vasta, a produção de energia fotovoltaica é atualmente pouco utilizada. Esta realidade pode ser notada, principalmente, em países emergentes. Todavia, a China vem se destacando na fabricação e instalação de centrais de geração solar de grande porte. Ao analisar a produção mundial, no final de 2014 a potência instalada na geração de energia solar foi de 180 GW (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015). A nível de comparação, isto equivale a oito vezes a potência instalada na Usina Hidrelétrica Três Gargantas na China, a maior do mundo.

Sobre o futuro, o Ministério de Minas e Energia (2015) estuda que, no ano de 2050, 18% das residências contarão com o sistema de microgeração de energia solar fotovoltaica. Atualmente, o Brasil atingiu a marca de 10 mil unidades geradoras fotovoltaicas instaladas. Deste montante, 6 mil foram instalados em residências que são responsáveis pela geração de 70 MW (ABSOLAR, 2017).

Embora os dados ainda mostrem números aparentemente pequenos, a ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica afirma que eles são significativos, haja vista que nos últimos 10 anos houve um aumento de cerca de 60 vezes o número de unidades instaladas. A motivação para este crescimento está na redução dos custos da energia solar e os diversos aumentos nas taxas de energia elétrica de

fontes convencionais.

### 2.1.1 Princípio do Funcionamento da Energia Fotovoltaica

O efeito fotovoltaico é a geração de corrente ou tensão através da exposição à luz de um material semicondutor que, neste estudo, trata-se do Silício. Encontrado de forma abundante na natureza, o Silício, quando beneficiado de forma correta, pode atingir pureza de até 99,9999% e formar cristais os quais não possuem boa condutividade elétrica. Entretanto, quando dopado com Fósforo, torna-se Silício tipo N, que é semicondutor com um elétron na camada de valência. Este elétron não está totalmente livre, embora necessite apenas de uma quantidade de energia pequena para ser liberado. De mesmo modo, quando dopado com Boro, torna-se Silício tipo P, que possui a ausência de um elétron, denominado lacuna. Portanto, deseja receber um elétron para se tornar estável (TOLMASQUIN, 2003).

A junção de uma fina camada de Silício tipo N e uma mais espessa do tipo P formam o que é conhecido por Junção PN. Deste modo, elétrons da parte N migram para a P até atingirem o equilíbrio elétrico da junção. Ao serem expostos à luz, absorvem fótons que culminam na passagem de elétrons da camada de valência para a banda de condução dando origem a um campo elétrico interior à junção. Por consequente, uma corrente elétrica tende a atravessar a carga externa. A variação desta corrente em relação à carga depende da intensidade luminosa disponível (TOLMASQUIN, 2003).

### 2.1.2 Geração de Energia Solar *Off-Grid* e *Grid-Tie*

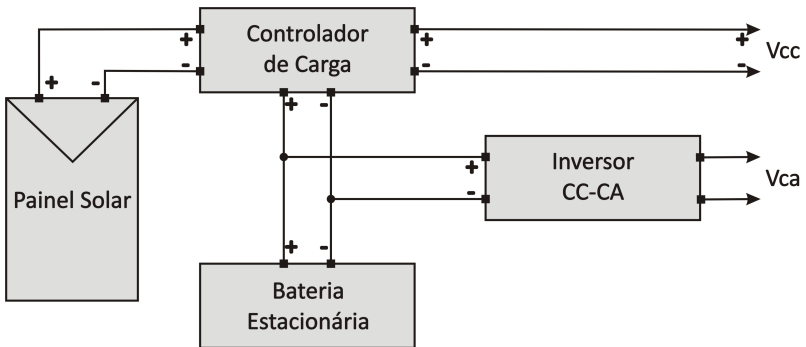
A geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos divide-se em duas categorias: *Off-Grid* e *Grid-Tie*, a escolha entre os dois modos é definida pela disponibilidade (ou necessidade) de uma rede de distribuição nas proximidades. Esta decisão impacta diretamente no custo geral do sistema (SANTOS, 1997).

#### 2.1.2.1 Geração *Off-Grid*

O sistema de geração solar fotovoltaica *off-grid* ou isolado é aquele que não é conectado à rede de distribuição pública. Por esta diferenciação, necessita acumular energia para períodos onde a irradiação

ação solar não é suficiente para alimentar as cargas sem que haja falha na operação deste sistema. Para tanto, utiliza bancos de baterias estacionárias. Além de baterias, este modelo requer o uso de controladores de carga e, opcionalmente, inversor de tensão CC-CA caso as cargas a serem alimentadas necessitem de corrente alternada para o seu funcionamento. A figura 2, o diagrama de blocos simplificado de um sistema isolado.

Figura 2 – Diagrama de blocos de sistemas geradores *off-grid* e seus componentes.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Exceto por diretrizes de segurança gerais para instalações elétricas em baixa tensão, por exemplo, a NBR 5410, atualmente não há normas regulamentadoras definidas por nenhum órgão. Portanto, o sistema deve conter dispositivos de segurança e seccionamento de circuito conforme previsto pela norma supracitada. Do mesmo modo, é imprescindível certificar-se que o sistema é seguro e não trará riscos.

Por não necessitar de uma fonte complementar de energia externa proveniente de uma rede de distribuição, esta modalidade de geração solar é indicada para moradias em locais onde as concessionárias não atendem e aplicações onde não pode haver a interrupção de energia, por exemplo: alarmes, câmeras de segurança, estações de monitoramento, sistemas de telecomunicação, entre outros.

Embora seja uma opção aplicável às situações anteriormente descritas, ela se apresenta mais onerosa do que o modo *grid-tie*, haja vista que, além do custo associado aos controladores de carga, a necessidade de baterias estacionárias torna o conjunto gerador mais caro em seu custo inicial e, posteriormente, na manutenção, uma vez que as baterias utilizadas (normalmente de Chumbo-Ácido Selada) têm vida útil

entre 4 e 5 anos.

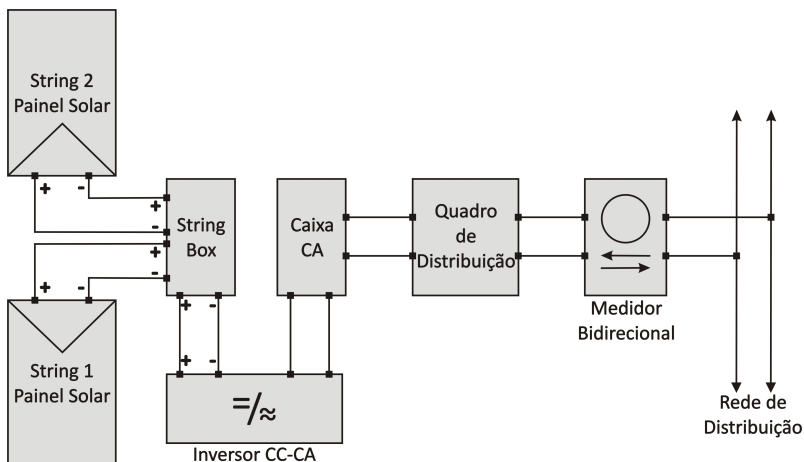
Não bastando o alto custo, sistemas isolados não são recomendados para cargas de alta potência (por exemplo, chuveiros e condicionadores de ar), visto que, quando ligadas, diminuirão a autonomia do sistema e os custos se elevariam caso o dimensionamento de um sistema levasse em consideração este tipo de carga.

### 2.1.2.2 Geração *Grid-Tie*

Geradores solares fotovoltaicos *grid-tie* ou *on-grid* são aqueles que possuem conexão com a rede de distribuição da concessionária e que serão alvo principal do estudo abordado neste trabalho. Diferentemente do *off-grid*, este dispensa a necessidade de armazenamento de energia e seu objetivo principal é mitigar custos de energia elétrica e/ou criar um saldo positivo junto à concessionária, tendo a garantia de fornecimento de energia da rede pública caso as condições de irradiação solar não sejam favoráveis.

Este modelo de geração difere do anterior pela ausência das baterias e controladores de carga. O inversor CC-CA (Corrente Contínua para Corrente Alternada) é específico para esta finalidade. A Figura 3 mostra um diagrama de blocos simplificado de um sistema *on-grid*.

Figura 3 – Diagrama de blocos de sistemas geradores *grid-tie* e seus componentes.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)



Observa-se a inclusão de elementos extras no diagrama mostrado na Figura 3, dentre eles: *string box* que é um conjunto de equipamentos de proteção contra surtos, descargas atmosféricas e curto-circuitos; medidor bidirecional, que é fornecido pela concessionária local e faz a leitura do consumo e do excedente de energia gerada (fundamental para que o sistema de compensação seja válido); quadro de distribuição e de entrada (são os já existentes e pertencentes ao empreendimento).

### 2.1.3 Elementos que Compõe a Geração de Energia Solar *Grid-Tie*

Desde a captação da energia radiante solar até a conversão em energia elétrica em corrente alternada, tem-se o emprego de diversas tecnologias, cada qual com a função de captar, converter, garantir a segurança e medir o quanto de energia elétrica foi gerado.

#### 2.1.3.1 Painel Solar Fotovoltaico

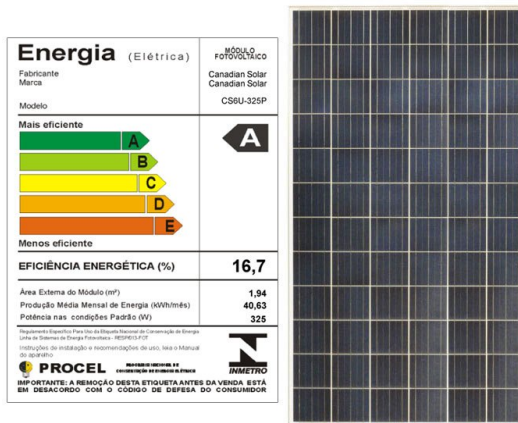
Dentro de tudo que é utilizado na geração solar fotovoltaica, os painéis solares são os integrantes principais para a conversão por efeito fotovoltaico, portanto, os componentes que recebem o maior aporte financeiro em pesquisa e desenvolvimento, tendo em vista que a eficiência destes painéis é baixa, se comparada aos demais componentes de um gerador solar fotovoltaico. Para ilustrar, em abril de 2017, o melhor módulo acreditado pelo INMETRO possuía em torno de 21% de eficiência energética.

Segundo (SANTOS, 1997), todos os materiais semicondutores são capazes de produzir o efeito fotovoltaico e a escolha do material apropriado para a produção de painéis solares se dá através do composto que fornece maior potência quando exposto a luz visível. Atualmente, utilizam-se os seguintes materiais na composição dos painéis solares comerciais: Silício Cristalino (c-Si); Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si); Telureto de Cádmio (CdTe) e os compostos de Disseleneto de Gálio e Índio (CuInSe<sub>2</sub> e Cu(InGa)Se<sub>2</sub>) (RüTHER, 2004). Embora a composição das células solares possam variar com diferentes materiais semicondutores, a constituição básica de um módulo fotovoltaico tem pouca diferenciação em sua montagem.

Dentre os painéis solares atualmente disponíveis no mercado, os módulos fotovoltaicos de Silício Policristalino, por serem mais baratos,

são dominantes em número de vendas e oferta em relação às placas com células de Silício Monocristalino. No entanto apresentam eficiência menor.

Figura 4 – Painel solar de silício policristalino 325Wp.



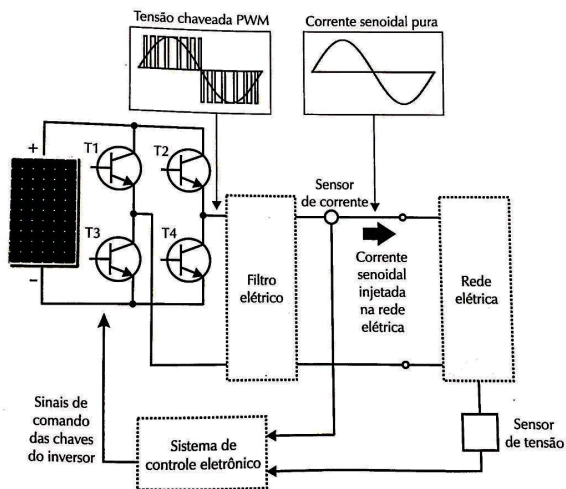
(Fonte: Aldo Componentes Eletrônicos, 2017)

### 2.1.3.2 Inversor de Tensão CC-CA *Grid-Tie*

O processo de transformação da radiação solar até a obtenção de energia elétrica é composto de constantes conversões energéticas. A energia solar radiante converte-se em energia elétrica na forma de corrente contínua (CC) e, posteriormente, em energia elétrica na forma de corrente alternada (CA). A última etapa deste processo ocorre com o auxílio de um inversor de tensão CC-CA, que deve ser unicamente exclusivo para usos em instalações *grid-tie* para que o acoplamento entre gerador e rede de distribuição seja adequado às características da rede em questão, isto é, deve estar sincronizado na mesma frequência, fase e nível de tensão. Para o sincronismo correto, utiliza-se de um sistema eletrônico de controle capaz de copiar as características da rede elétrica através de um sensor de tensão. Seu funcionamento pode ser verificado através da Figura 5.

Os inversores estáticos, sejam mono ou polifásicos destinados a conexão *on-grid*, devem ser produzidos de forma que sejam respeitadas as diretrizes previstas pela NBR 16149 (Sistemas Fotovoltaicos - Carac-

Figura 5 – Funcionamento de um inversor CC-CA para conexão à rede elétrica.



(Fonte: VILLALVA, GAZOLI, 2012)

terísticas da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição) e pela NBR 16150 (Sistemas Fotovoltaicos - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimentos de ensaio de conformidade). Outras normas, como a ABNT NBR IEC 62116, IEC 62109-1 e IEC 62109-2 tratam, respectivamente, de ensaios anti-ilhamento, exigências gerais e particulares de inversores.

Diferentemente dos painéis solares, inversores de tensão CC-CA possuem alta eficiência, variando entre 85 e 95%, dependendo do modelo, tecnologia empregada e da potência na qual o inversor está operando. A Figura 7 mostra a curva de eficiência de um inversor em função da razão entre potência de saída e potência nominal.

Não bastando a alta eficiência, a contribuição tecnológica trouxe comodidade quanto ao monitoramento em tempo real da potência gerada e injetada na rede de distribuição. Muitos inversores contam com o envio de dados via conexão *wireless*; segurança através de sistemas anti-ilhamento, sobrecorrente, sobretensão e surtos; e uso de algoritmos de MPPT (do inglês, Rastreador de Ponto Máxima Potência).

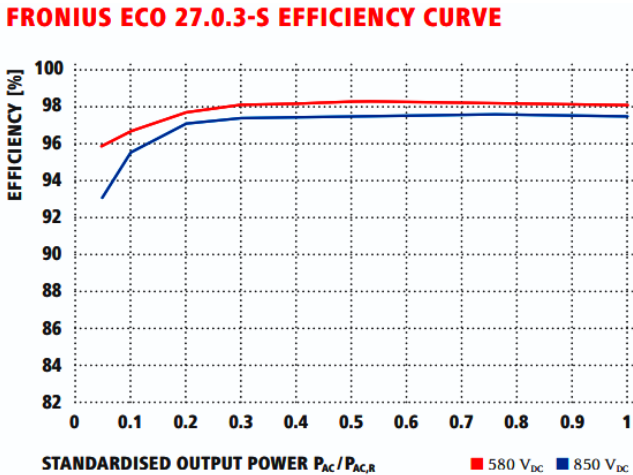
O MPPT tem por função operar sempre no ponto de máxima transferência de potência dos painéis para as cargas. Seu uso é necessário devido à natureza aleatória do funcionamento dos módulos

Figura 6 – Inversor de tensão CC-CA 27kW com monitoramento *wireless*.



(Fonte: Aldo Componentes Eletrônicos, 2017)

Figura 7 – Eficiência em função da potência de operação do inversor.



(Fonte: Ficha Técnica Fronius ECO 27.0-3-S, 2016)

fotovoltaicos (dependem da temperatura, radiação solar, entre outros fatores já mencionados), permitindo a maximização da energia convertida (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

### 2.1.3.3 *String Box*

Este equipamento tem por função servir como dispositivo de proteção. Embora sua composição possa se alterar de acordo com o projeto, normalmente é montada dentro de uma caixa com proteção e isolamento adequados. Possui entradas CC que estão relacionadas aos cabos vindos das *strings*. Este lado da *String Box* conta com fusíveis, chaves seccionadoras CC e DPS (Dispositivos de Proteção contra Curtos).

Figura 8 – *String box* 4 entradas e 2 saídas, composta por DPSs, chaves seccionadoras e fusíveis em caixa de proteção IP65.



(Fonte: PHB Eletrônica, 2016)

### 2.1.3.4 Medidor de Energia Bidirecional

O montante líquido de potência ativa consumida ou excedente injetada na rede deve ser mensurada através de um medidor de energia bidirecional, o qual é fornecido e instalado pela concessionária de energia elétrica no momento da vistoria final.

O cálculo de potência ativa feito pelo medidor não requer complexidade. A análise leva em conta apenas a potência que entra da rede para as cargas, assim como quanto o sistema gerador retorna à rede.

$$P_{total} = P_{injetada} - P_{consumida} \quad (2.1)$$

Segundo (2.1), há três possíveis resultados quanto à análise de

potência consumida e injetada (potência gerada excedente) na rede:

$$P_{total} = \begin{cases} > 0, & P_{total} = Injetada \\ < 0, & P_{total} = Consumida \\ = 0, & Consumida = Injetada \end{cases} \quad (2.2)$$

Conforme esperado, para que o sistema gere créditos junto ao sistema de compensação, que será elucidado a seguir, é necessário que a potência gerada seja maior que a consumida.

Figura 9 – Medidor bidirecional utilizado para computo de créditos no sistema de compensação.



(Fonte: Nansen, 2016)

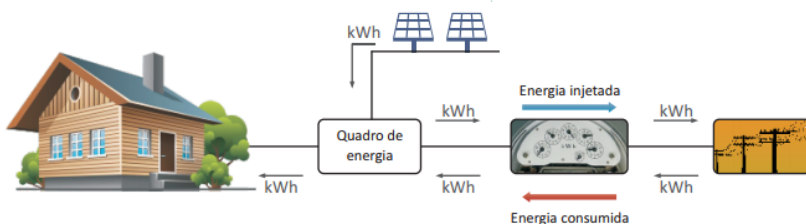
#### 2.1.4 Regulamentação da Central Geradora Fotovoltaica

Em abril de 2012, após consultas e audiências públicas, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a REN (Resolução Normativa) n° 482/2012, cujo objetivo é estabelecer as exigências, tanto para o acesso à rede de distribuição, para a conexão de micro e minigeradores de energia, quanto ao sistema de compensação de créditos em energia elétrica (ANEEL, 2016). Junto com o advento da implementação de novos sistemas microgeradores em todo o país, a REN n° 482 teve ajustes quanto aos custos segundo a REN n° 414/2010 e por fim, a REN n° 687/2015, que revisa a REN n° 482/2012 e regulamenta o tempo de espera para a homologação junto à concessionária e aos procedimentos de acesso a rede de distribuição (PRODIST) (ANEEL, 2016).

A REN n° 482 define em seu texto que geração distribuída é toda

central geradora conectada à rede de distribuição de energia elétrica (*grid-tie*) cuja fonte é hídrica, renovável ou de combustível fóssil, sendo distribuída em dois grupos: a microgeração, que abrange centrais com até 75 kW de potência instalada tanto para cogeração qualificada ou por fonte renovável instalada junto ao local onde será consumido e, de forma análoga, a minigeração, às centrais entre 75 kW até 5 MW em potência instalada para fontes renováveis e no máximo de 3 MW para geração hídrica (ANEEL, 2016).

Figura 10 – Funcionamento do sistema de compensação.



(Fonte: Caderno Temático ANEEL - Micro e Minigeração Distribuída, 2016)

O dimensionamento da potência a ser instalada em uma geração distribuída deve levar em consideração a porcentagem que se deseja abater da fatura de energia, ou ainda, o quanto de crédito a ser gerado mensalmente. Toda energia ativa excedente injetada à rede de distribuição da concessionária é convertida em créditos através do sistema de compensação (conhecido também por tarifação *net metering*). O saldo é computado pela concessionária local e é válido por 60 meses. A REN nº 482 dispõe que o excedente de energia por uma UC (Unidade Consumidora) pode ser rateado em porcentagens diferentes a outras UCs, desde que respeitado o nome do mesmo titular da fatura. Em casos onde há geração compartilhada, esta é dividida em porcentagens pré-acordadas através de um acordo jurídico que ateste o compromisso de solidariedade entre os interessados (ANEEL, 2012).

Em sistemas de microgeração distribuída, o processo junto à concessionária parte do pedido de acesso à rede de distribuição, seguido da aprovação dos projetos e demais documentações. Por fim, é realizada a vistoria das instalações para que então o sistema esteja homologado a participar do sistema de compensação. O anexo A da REN nº 687/2015 fornece diretrizes e tempos regulamentares que devem ser respeitados

pela concessionárias e pelo interessado. Também, define as condições que devem ser observadas segundo o PRODIST, na qual fornecem requisitos mínimos para cada faixa de potência instalada, visando à segurança e ao melhor acoplamento à rede de distribuição.

## 2.2 ESTADO DE SANTA CATARINA E MUNICÍPIO DE ÁGUAS MORNAS

Santa Catarina (SC) é destaque no cenário nacional por sua qualidade de vida e alto Índice de Desenvolvimento Humano. O Estado está localizado na região sul do Brasil e possui uma extensão territorial de 97,3 mil km<sup>2</sup>. Em 2013, a expectativa de vida de uma população de 6,7 milhões de pessoas era de aproximadamente 78,1 anos, a maior do país (FIESC, 2015).

Economicamente, em 2012 Santa Catarina destacou-se por ser o sexto maior PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, com uma receita de 177 bilhões de reais (FIESC, 2015). Suas atividades econômicas estão divididas por polos industriais e agropecuários: o Norte está relacionado à indústria moveleira e de madeira; o Nordeste à indústria metalúrgica e eletrodomésticos; o Oeste está ligado à agropecuária e indústrias alimentícias; o Planalto Serrano à indústria madeireira e de papel e celulose; o Sul com a atividade mineradora e cerâmica; o Vale do Itajaí destaca-se por sua indústria têxtil e de pesca; por fim, a Grande Florianópolis está relacionada à tecnologia da informação e construção civil.

A diversificação da produção garante participação em quase todos mercados, tanto nacionais quanto internacionais e, por conseguinte, um *superavit* na balança comercial catarinense. Outra atividade que difere Santa Catarina dos demais estados é a presença da agricultura familiar. Esta modalidade impulsiona o comércio local de pequenas cidades, garantindo uma cadeia de subsistência nos municípios.

O município de Águas Mornas está localizado próximo ao litoral Catarinense, na mesorregião da Grande Florianópolis, possui 6020 habitantes e uma extensão territorial de 327,4 km<sup>2</sup> (FIESC, 2015). Sua economia é predominantemente voltada à agricultura de hortaliças desenvolvidas em pequenas propriedades rurais.

Não diferente da diversificação das atividades hortifrutigranjeiras ao longo do estado, Águas Mornas conta com famílias que, além da agricultura, tem seu sustento baseado principalmente na atividade avícola, que é trabalhada de forma integrada às indústrias de benefi-



ciamento de carne. É esta atividade que impulsiona e motiva o tema deste trabalho e que garante a permanência destas famílias no campo, diminuindo o êxodo rural.

### 2.2.1 Importância do Setor Avícola na Economia Catarinense

No ano de 2014, Santa Catarina foi o segundo maior produtor e maior exportador de frangos do Brasil. Para abastecer o mercado interno e externo, abateu-se aproximadamente 891,5 milhões de frangos. No mesmo ano, SC exportou aproximadamente 9 bilhões de dólares divididos em 120 países (FIESC, 2015).

Segundo a Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC), a indústria alimentícia representou 34,9% do total exportado pelo estado em 2014. Devido ao seu destaque na balança comercial, grandes investimentos são feitos de modo a perpetuar e melhorar a imagem da ave catarinense no mercado internacional.

Sob o aspecto social, o setor avícola trás consigo uma vasta disponibilidade de empregos no beneficiamento das aves, assim como na produção de insumos necessários à criação, além de empregos indiretos relacionados à área. No Estado de Santa Catarina, a maioria dos aviários são de posse de pequenos produtores rurais denominados associados. O modelo de integração empresa-associado trás por benefício a redução no êxodo rural e o fortalecimento do município através geração de renda e impostos.

## 2.3 ECONOMIA - ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Investimento consiste na aplicação de recursos, normalmente financeiros, em retribuição de algum serviço, benfeitoria ou bem material que tem por objetivo gerar os lucros (compra de um imóvel de baixo custo para a venda com valor maior ao adquirido) ou amplificar lucros (benfeitorias em uma fábrica que deseja aumentar o poder produtivo da mesma).

O mercado tem por objetivo obter a máxima lucratividade com os menores custos. Entretanto, quando não é possível alcançar retornos financeiros almejados, espera-se que os prejuízos sejam minimizados, ou pelo menos, que se tenha a liquidez do investimento realizado, reduzindo o ônus ao investidor. Em *Análise de Investimentos e Capital de Giro*, os autores trazem o seguinte questionamento, que deve ser o

elemento orientador a toda análise de investimento:

A questão central a ser respondida é: qual o ganho extraordinário que um determinado projeto de investimento proporciona, além do retorno mínimo exigido pelo investidor? Resposta em R\$ no valor presente (BROM; BALIAN, 2007).

Investimentos são por natureza aplicações que envolvem os mais diversos riscos que, por muitas vezes, não são ou podem ser premeditados. Não obstante, a análise racional do modo que o investimento será retomado ao longo do tempo pode garantir sucesso. Para tal análise, diferentes metodologias podem ser adotadas, dentre elas o Valor Presente Líquido (VPL), Retorno sobre Investimento (ROI) e *Payback*.

### 2.3.1 Fluxo de Caixa

Dentro dos itens necessários à análise quantitativa da viabilidade de um investimento, o fluxo de caixa é visto como o aspecto mais relevante na decisão. Sua relevância é definida com base na confiabilidade e na exatidão dos fluxos de caixa estimados (KASSAI et al., 2000).

Para a elaboração do fluxo de caixa, se considera apenas os valores efetivos que entram e saem, os quais podem ou não estar reajustados. Sua representação gráfica é feita por meio de setas sobre um eixo temporal. Setas para baixo indicam saídas de capital (ou despesas) e, para cima, as entradas (ou receitas).

### 2.3.2 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido é conhecido por ser o indicador mais sofisticado e utilizado ao avaliar investimentos dentre outras ferramentas (KASSAI et al., 2000). No livro *Retorno de Investimento*, os autores descrevem o VPL como a subtração entre os valores presentes das entradas e das saídas analisadas sobre uma taxa de atratividade, também conhecida por taxa de desconto.

O VPL, portanto, pode ser definido matematicamente por uma soma dos fluxos de caixa através de um intervalo finito de tempo, onde o denominador da fração corresponde ao termo que apresenta os valores dos fluxos como valores presentes através de uma taxa de atratividade conhecida ou determinada. Matematicamente, é descrito por (2.3):

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (2.3)$$

$FC_t$  representa os fluxos de caixa;  $i$  é a taxa de atratividade; e  $t$  é um intervalo de tempo finito.

Salienta-se que as entradas de fluxo de caixa devem considerar sinal positivo e as saídas, sinal negativo. O valor final do VPL tem as seguintes interpretações em relação a atratividade do investimento:

- $VPL > 0$ ; oportunidade de investimento atraente. O resultado positivo indica retorno acima da taxa de atratividade desejada;
- $VPL = 0$ ; oportunidade de investimento viável. O retorno é suficiente para saldar os custos e garantir o valor referente a taxa de atratividade;
- $VPL < 0$ ; oportunidade de investimento inviável. O resultado negativo indica prejuízo ou ganho mínimo pela taxa de atratividade ao fim do tempo estimado.

### 2.3.3 Retorno sobre Investimento

Retorno sobre Investimento ou ROI (do inglês, Return On Investment) é um dos indicadores de viabilidade de investimento mais utilizados, a julgar por sua facilidade em concatenar lucratividade e investimento através de uma taxa percentual que o investidor estará ganhando ou perdendo (WERNKE, 2008). A relação entre lucro e investimento através do ROI pode ser vista em (2.4).

$$ROI = \left( \frac{\text{Lucro} - \text{Investimento}}{\text{Investimento}} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

Lucro representa toda receita proveniente do investimento e Investimento, todo valor necessário para a implementação do sistema. Embora muito utilizado como método indicador de possibilidade de efetivação do investimento, o ROI deve ser analisado com cautela, tendo em vista que não considera fatores que são influenciadores do lucro e do montante investido: duração, contexto, inflação e variação de taxas (CORDEIRO, 2014).

### 2.3.4 *Payback*

O *Payback* é definido pelo prazo (em unidade de tempo) no qual o VPL é igual a zero (ABREU; STEPHAN, 1982), isto é, o tempo necessário para que o somatório dos fluxos de caixas de um investimentos irão saldá-lo, conforme (2.5):

$$\sum_{t=0}^T FC_t \geq Investimento \quad (2.5)$$

Embora não seja um indicador de retorno de investimento, o *payback* atua como um avaliador de riscos, já que investimentos de menor tempo de retorno apresentam grau de risco menor (KASSAI et al., 2000).

Segundo Abreu e Stephan (1986) em consonância com os autores Kassai et al. (2000), os motivos pela qual o *payback* não é considerado um avaliador de retorno de investimento ocorre pelo fato dele não levar em conta o valor do dinheiro ao longo do tempo, não analisar os custos necessários à manutenção do investimento e desconsiderar os fluxos líquidos após liquidar o montante investido.

### 2.3.5 Impostos

Embora a narrativa do sistema de tributação seja a arrecadação para o custeamento das despesas advindas de melhorias e serviços públicos, inicialmente o setor de geração fotovoltaica enxergava isso como uma barreira para investimentos. Embora esta realidade esteja mudando com a isenção de impostos em algumas mercadorias ou sistemas fotovoltaicos completos, parte dos materiais e serviços necessários para instalação de sistemas fotovoltaicos não contemplam esta medida. Dos materiais não-isentos, diferentes impostos podem ser aplicados, dentre eles: Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e, ainda, o Imposto sobre Importação (II), quando são importados de outros países. Por fim, há o Imposto sobre Serviço (ISS), aplicado na instalação e execução de sistemas geradores.

Na sequência, a Tabela 1 demonstra o alíquota referente ao IPI sobre cada produto necessário na geração solar fotovoltaica segundo a TIPI 2017 - Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados (TIPI . . . , 2016), considerando produtos nacionais sem a aplicação

do II.

Tabela 1 – Alíquota de IPI em componentes de um sistema de geração solar.

<b>Produto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Alíquota</b>
Gerador Solar Fotovoltaico	Inclui: Painéis Solares, Inversor, String Box, Estrutura de Fixação, Cabos, e Conectores	0 %
Painel Solar	Todos	0 %
Inversor de Tensão	Todos	15 %
Estrutura de Fixação	Todos	0 %
Cabos	Condutores para uma tensão menor que 1000V	0 %
Conectores	Tipo MC4	15 %
String Box	Incluindo DPS, Chave Seccionadora, e Fusível	15 %

(Fonte: Adaptado de TIPI, 2016)

Dentro do grupo de consumidores de energia elétrica, os consumidores cativos do Estado de Santa Catarina tem em sua tarifa três tributos: CONFINS e PIS/PASEP, com alíquotas de 2,21% e 0,48%, respectivamente, e o ICMS, que tem sua alíquota variável de acordo com a classe de consumo, sendo de no mínimo 12% para consumos residenciais nos primeiros 150 kWh e rurais nos primeiros 500 kWh, e o máximo de 25% para consumo residencial acima de 150 kWh e rurais acima de 500 kWh e demais classes de consumo.

No Estado de Santa Catarina o ICMS é tributado por base no consumo mensal da unidade consumidora, mesmo que seja participante do sistema de compensação. Em outras palavras, a tributação não é aplicada apenas na diferença positiva entre o crédito do consumidor (energia excedente injetada na rede) e a energia consumida (ANEEL, 2016). Atualmente, 20 estados já aderiram à isenção do ICMS para micro e minigeração distribuída.

## 2.4 INCIDÊNCIA SOLAR

Geração de energia solar tem seu conceito estreitamente relacionado à quantidade de energia que chega à superfície dos painéis fotovoltaicos (ou a superfície terrestre, caso a aplicação seja outra). A quantidade de energia por unidade de área pode ser definida pelos termos incidência ou radiação solar.

Além da manutenção da vida através do fornecimento de luz e calor (fotossíntese das plantas, efeito estufa, movimento dos oceanos, estações do ano, entre outros), o Sol desempenha um papel imprescindível como fonte alternativa de energia limpa. A forma com que os raios solares chegam à Terra, após sofrerem reflexões e absorções na atmosfera, e a forma em que são distribuídos ao redor do globo terrestre são fatores determinantes na quantidade de energia a ser gerada.

Como visto, a radiação solar está correlacionada a fatores físicos do local. Esta análise tem por objetivo captar as informações que são importantes na determinação do valor de potência gerada:

- A latitude: determina que a proximidade à linha do Equador garantirá maior a incidência dos raios solares, haja vista que o ângulo de incidência será maior do que nos polos;
- Época do ano: devido ao movimento de translação da Terra, no inverno a inclinação do eixo terrestre não favorece o ângulo de incidência dos raios solares, no verão ocorre o oposto;
- Hora do dia: atrelada ao movimento de rotação, responsável pela determinação dos dias e noites, sendo que no período noturno diminui-se a potência incidida nos painéis;
- Nebulosidade: a presença de nuvens restringe a chegada de parte dos raios solares à superfície terrestre, pois causa a reflexão das ondas que incidem sobre a nuvem;
- Poluição: influencia o processo de reflexão e dispersão dos raios solares;
- Sombras, criadas pelos elementos externos que não dependem de variáveis naturais, como por exemplo os edifícios: limitam a chegada de raios solares nos painéis.

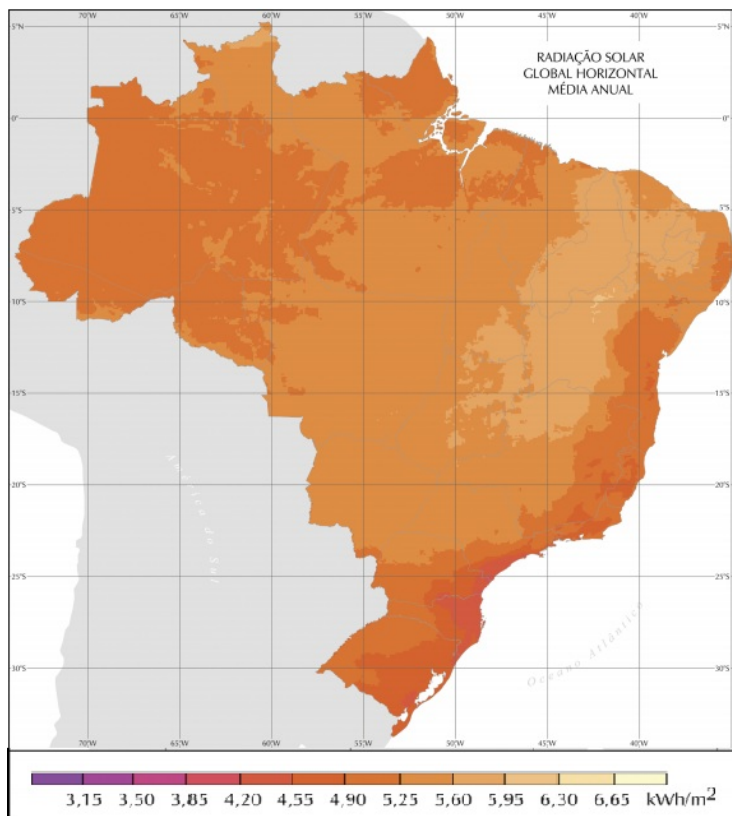
Dado a série de fatores listados, a instalação de um conjunto de painéis fotovoltaicos requer o estudo de fatores que são facilmente

observados e conhecidos, como a presença de prédios e poluição, e também os que não são determinísticos, como nebulosidade, época do ano, variações climáticas, entre outros.

### 2.4.1 Mapa Solarimétrico

Como forma de visualizar graficamente dados provenientes da análise da radiação solar e insolação diária, desenvolveram-se mapas com separações geográficas e isolinhas, que compreendem uma faixa de valores correspondente aos dados da região. Estes mapas são denominados solarimétricos.

Figura 11 – Média anual brasileira da incidência solar global horizontal.



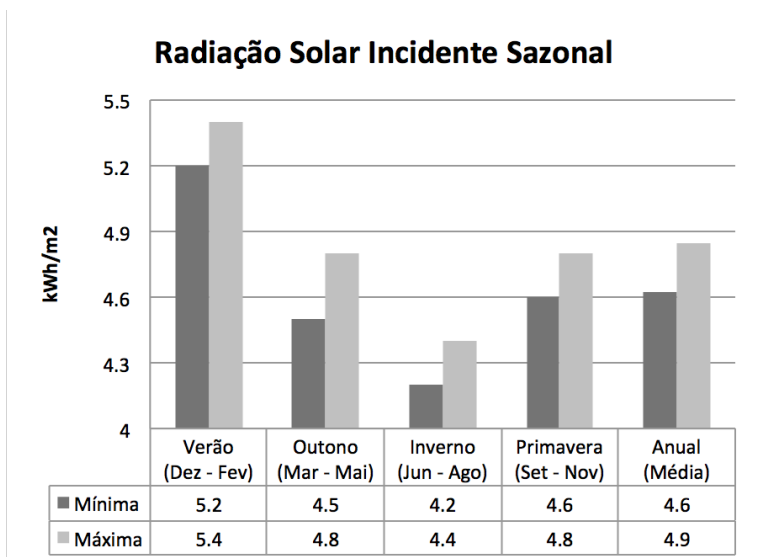
(Fonte: Adaptado INPE, 2006)

Devido à sua vasta extensão territorial, o Brasil apresenta os mais diversos cenários possíveis no quesito radiação solar, por se estender desde a latitude 5° ao norte até aproximadamente 33° ao sul da linha do Equador, garantindo uma faixa de 38° na latitude. O Brasil ainda conta com a vantagem de ter a maior parte do seu território localizada próxima à Linha do Equador, por conseguinte, com maiores períodos de insolação e disponibilidade energética solar.

A mesorregião da Grande Florianópolis encontra-se em uma área onde a incidência solar é a mais baixa do país. Não obstante, a Alemanha que tem sua maior média anual de incidência solar no país menor que a média anual mais baixa registrada em Florianópolis, atualmente é uma das maiores geradoras de energia solar do mundo, devido a políticas de incentivo governamentais (PEREIRA et al., 2006). Esta situação é suficiente para se contrapor ao argumento de que incidência solar brasileira é insuficiente para a geração solar fotovoltaica.

O levantamento de dados referentes à região da Grande Florianópolis podem ser representados através das estações em comparação a média anual.

Figura 12 – Gráfico incidência solar média sazonal.



(Fonte: Adaptado INPE, 2006)

Os dados acima foram apurados a partir de mapas solarimétricos.



Portanto, para a Grande Florianópolis, a radiação solar, segundo o mapas antepostos, apresenta valores médios anuais que variam entre 4,6 a 4,9 kWh/m<sup>2</sup>, uma média de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>.



### 3 ESTUDO DE CASO - DESCRIÇÃO DO AVIÁRIO

Este capítulo visa descrever o objeto de estudo - propriedade rural com três aviários - fornecendo o máximo de informações necessárias para a composição do sistema gerador fotovoltaico *grid-tie*, incluindo na estimativa de custos de instalação e manutenção.

#### 3.1 DADOS GERAIS

Na Tabela 2 é apresentada a descrição geral do aviário que apresenta melhores condições técnicas para a instalação do sistema gerador fotovoltaico.

Tabela 2 – Dados gerais do aviário com melhor capacidade de produção de energia

<b>DADOS GERAIS</b>	
<b>Município/UF</b>	Águas Mornas/SC
<b>Latitude</b>	27°41'38"S
<b>Longitude</b>	48°49'25"W
<b>Temperatura Máxima</b>	40°C
<b>Temperatura Mínima</b>	0°C
<b>Azimute</b>	-35°
<b>Albedo</b>	0%
<b>Inclinação do Telhado</b>	25°
<b>Área do Telhado</b>	1450m <sup>2</sup>
<b>Tipo do Telhado</b>	Cerâmica - Tipo Francesa
<b>Estrutura do Telhado</b>	Tipo Tesoura em Madeira
<b>Tensão de Alimentação</b>	380V Trifásico

(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Anualmente, estima-se que cada aviário aloje aproximadamente 14 mil aves por lote, cuja permanência é de aproximadamente 45 dias. Na propriedade em estudo há três aviários semelhantes ao descrito na Tabela 2 com capacidade de 6 lotes ao ano, totalizando um total de 252 mil aves/ano.

### 3.2 DESCRIÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA E USO DE CARGAS

Diferentemente de uma residência, as cargas instaladas em aviários não possuem grande variedade, sendo predominantemente compostas por motores de indução.

#### 3.2.1 Potência Instalada

Os aviários que são objetos de estudo são do tipo convencionais, isto é, não contam com ventilação por pressão negativa ou positiva, são compostos pelas cargas da Tabela 3.

Tabela 3 – Potência instalada em aviário convencional.

POTÊNCIA INSTALADA						
Aplicação	Tipo	Qtde	Marca	Potência [cv] [W]		Eficiência
Ventilador	Motor Ind. Trifásico	18	WEG	0,5	300	68,0 %
Bebedouro	Motor Ind. Trifásico	1	WEG	1,0	750	74,0 %
Comedouro	Motor Ind. Trifásico	4	WEG	0,5	370	68,0 %
Exaustor Centrifugo	Motor Ind. Trifásico	1	KCEL	3,0	2200	83,1 %
Iluminação	Lâmpada Compacta	17	Taschibra	–	25	–

(Fonte: Autoria Própria, 2017)

#### 3.2.2 Uso das Cargas

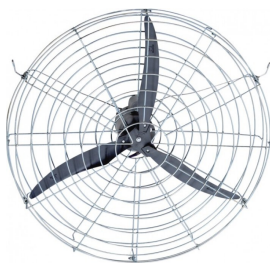
As aves, por serem homeotérmicas, necessitam do ambiente adequado para regular sua temperatura corpórea. A variação brusca, assim como valores fora de sua faixa de conforto, lhes causam estresse (TORRETTA, 2017). A alta temperatura faz o consumo de água elevar-se e o de alimentos reduzir, enquanto que, em temperaturas baixas, o consumo de alimento cresce demasiadamente, sem que haja a conversão em carne. Deste modo, conclui-se que este é um fator notório que

influencia os lucros do produtor.

Por ser um dos fatores predominantes e totalmente necessário, o controle de temperatura através do aquecimento e resfriamento do ambiente é o responsável pela maior parte do consumo energético em uma granja. Conforme visto na Tabela 3, além das lâmpadas, há a predominância de motores, os quais são utilizados nos seguintes equipamentos em cada aviário:

- Ventilador: Utilizado no resfriamento do aviário. Ao total são 18 ventiladores, como o mostrado na Figura 13, compostos de motores de indução trifásicos de 1/2 cv.

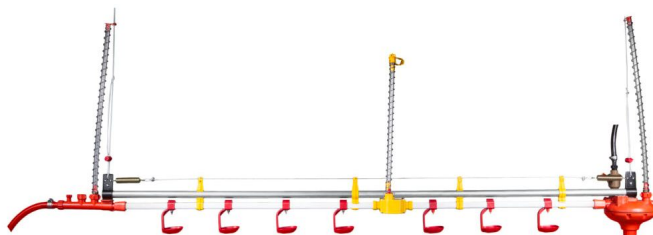
Figura 13 – Ventilador com motor de indução trifásico de 1/2 cv.



(Fonte: Granjtec, 2017)

- Bebedouro Automático Tipo *Nipple*: Utilizado para o fornecimento de água potável as aves é mostrado na Figura 14. Ao total, são 4 fileiras de bebedouros de aproximadamente 100 metros (aprox. 800 *nipples*) compostos por uma bomba d'água de 4 estágios de pressão acoplada a um motor de indução trifásico de 1 cv.

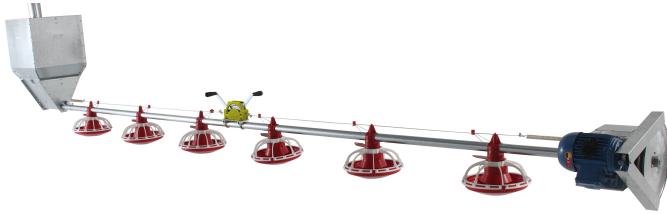
Figura 14 – Bebedouro tipo *nipple* com motobomba trifásica de 1 cv.



(Fonte: Casp, 2017)

- Comedouro Automático: Utilizado para o fornecimento de ração animal para as aves é mostrado na Figura 15. Ao total, são 4 fileiras de comedouros de aproximadamente 100 metros (aprox. 512 pratos), acionados por um motor de indução trifásico de 1/2 cv, cada fileira.

Figura 15 – Comedouro com motor de indução trifásico de 1/2 cv.



(Fonte: Casp, 2017)

- Exaustor centrífugo: utilizado para a ventilação forçada de ar quente para o sistema de aquecimento através da queima de lenha, é mostrado na Figura 16. Utiliza apenas um motor de indução trifásico de 3 cv.

Figura 16 – Exaustor do sistema de aquecimento com motor de indução trifásico 3 cv.



(Fonte: Circular Exaustec, 2017)

### 3.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO AVIÁRIO

Uma unidade consumidora tem sua fatura de energia elétrica descrita pela quantidade de potência ativa consumida a cada hora, conforme (3.1):

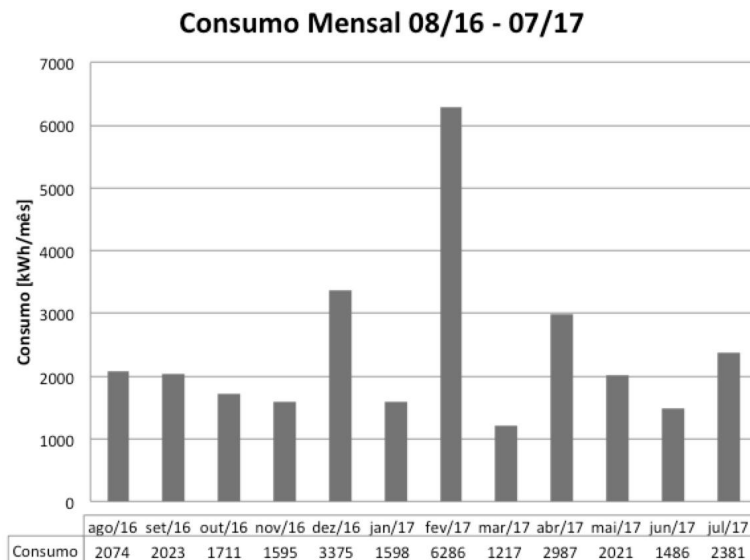
$$P_{consumido} = \sum_{n=1}^N P_n \times t_n \times D_n \quad (3.1)$$

Nessa equação,  $P_n$  representa a potência nominal do equipamento;  $t_n$  é o tempo que permanece ligado; e  $D_n$  período em dias que fica ligado.

Por outra forma, se trata de uma soma de produtos: a adição das potências dos equipamentos multiplicadas pelo tempo na qual permanecem ligados durante um período de dias.

Neste trabalho, o objeto de estudo é composto por três aviários praticamente iguais: mesmas dimensões; mesmo número de aves alojadas; mesmo período de alojamento; mesmo clima; e mesmos equipamentos utilizados (Tabela 3). A única diferença observada é o ângulo de azimute. Um dos aviários possui este desvio menor, sendo ele o mais apto à instalação do sistema gerador fotovoltaico. Por haver tamanha semelhança, adota-se que cada qual é responsável por um terço do consumo total apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Média mensal do consumo anual (08/2016 a 07/2017) de três aviários.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Diante da Figura 17, destaca-se que os três aviários demandam, em média, 2396 kWh/mês ao longo de um ano. Assumindo o anteposto, cada aviário é responsável por consumir, em média, 799 kWh/mês.

Entre os meses de dezembro de 2016 até abril de 2017, observa-se particularidades no consumo de energia. As causas baseiam-se em dois principais motivos: temperatura média mensal e tempo de alojamento. Durante o período supracitado, as temperaturas médias mensais se elevam e retoma-se a necessidade da redução do calor através dos ventiladores para o conforto homeotérmico das aves aumentando, por conseguinte, o consumo de energia elétrica.

A disparidade entre os meses de janeiro e março de 2017 está relacionada aos períodos em que os aviários permaneceram vazios ou não. O tempo de crescimento até o abate de uma ave é de três quinzenas, sendo necessária uma quinzena extra para a manutenção do aviário. Portanto, é necessário um ciclo de quatro quinzenas a cada lote. A distribuição dos lotes ao longo do ano é dada de maneira aproximada, pela Tabela 4.



Tabela 4 – Tabela da relação entre consumo por lote de ave de corte.

<b>TABELA DO CONSUMO POR LOTE DE AVES</b>				
<b>Mês da Fatura</b>	<b>Temperat. Média [°C]</b>	<b>Período</b>	<b>Situação do Aviário</b>	<b>Consumo [kWh/Lote]</b>
Janeiro	24,4	15/jan	Livre	7884
		31/jan	Alojado	
Fevereiro	24,7	15/fev	Alojado	
		28/fev	Alojado	
Março	23,6	15/mar	Livre	4195
		31/mar	Alojado	
Abril	21,5	15/abr	Alojado	
		30/abr	Alojado	
Maio	18,5	15/mai	Livre	3507
		31/mai	Alojado	
Junho	16,8	15/jun	Alojado	
		30/jun	Alojado	
Julho	16,3	15/jul	Livre	4455
		31/jul	Alojado	
Agosto	17,0	15/ago	Alojado	
		31/ago	Alojado	
Setembro	17,5	15/set	Livre	3734
		30/set	Alojado	
Outubro	19,8	15/out	Alojado	
		31/out	Alojado	
Novembro	21,5	15/nov	Livre	4970
		30/nov	Alojado	
Dezembro	22,5	15/dez	Alojado	
		31/dez	Alojado	

(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Os meses de janeiro e março são dois meses que recebem os primeiros lotes de aves do ano e, possuem apenas uma quinzena de aves alojadas, sendo esta a primeira quinzena de vida delas, portanto, necessitam de temperaturas mais elevadas para adaptação e crescimento (COBB, 2013). A partir de quinze dias de idade, necessitam de temperaturas menores, sendo este o fator que explica o alto consumo energético originado de um total de 54 ventiladores.

Embora a análise por mês apresente algumas variações, é possível observar um padrão sob a ótica da temperatura média versus consumo

a cada lote, reforçando a necessidade da ventilação forçada na criação de aves e o consumo de energia com estes equipamentos.

### 3.4 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA SOLAR

Como exposto na Seção 2.4 - Incidência da Radiação Solar é o fator primário na influência da quantia de energia radiante convertida em energia elétrica. Dentre os diversos estudos e mapas solarimétricos existentes, neste estudo utilizou-se dados compilados do software *open-source* RadiaSol, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O software RadiaSol tem por base o banco de dados de dois principais projetos: o primeiro, do Grupo de Fontes Alternativas de Energia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e, o segundo se trata do Projeto SWERA. Este último é mundialmente conhecido por levantar dados importantes para geração solar e eólica é constituído por dados de nove instituições, dentre elas: NASA, INPE e DLR.

Alterando os parâmetros Azimute, Inclinação e Albedo existentes no software RadiaSol, é possível coletar dados importantes para determinar o montante de energia a ser gerada, tais como: irradiação média inclinada, global e difusa; temperatura máxima, mínima e média. Para a região da Grande Florianópolis, os seguintes dados são observados, conforme mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de irradiação solar na Grande Florianópolis.

<b>IRRADIAÇÃO SOLAR - GRANDE FLORIANÓPOLIS</b>					
Mês	Dias	Irradiação Média [kWh/m <sup>2</sup> /dia]		Irradiação Média [kWh/m <sup>2</sup> ]	
		Global	Inclinada	Global	Inclinada
Janeiro	31	5,96	5,80	184,76	179,80
Fevereiro	28	5,59	5,65	156,52	158,20
Março	31	4,92	5,21	152,52	161,51
Abril	30	4,07	4,57	122,10	137,10
Maiο	31	3,26	3,86	101,06	119,66
Junho	30	2,83	3,46	84,90	103,80
Julho	31	2,90	3,49	89,90	108,19
Agosto	31	3,56	4,05	110,36	125,55
Setembro	30	4,13	4,50	123,90	135,00
Outubro	31	4,95	5,07	153,45	157,17
Novembro	30	5,75	5,68	172,50	170,40
Dezembro	31	6,15	5,92	190,65	183,52

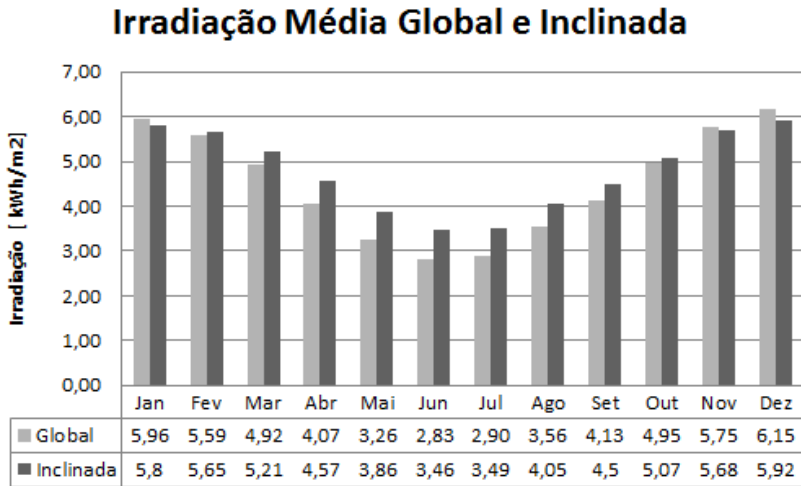
(Fonte: Adaptado RadiaSol 2, 2017)

Com fundamento nos dados da Tabela 5, estima-se que a irradiação média diária global e inclinada equivalem a 4,51 kWh/m<sup>2</sup>/dia e 4,77 kWh/m<sup>2</sup>/dia, respectivamente, resultando em uma irradiação total global anual de 1642,62 kWh/m<sup>2</sup> e inclinada de 1739,90 kWh/m<sup>2</sup> ao ano.

Da Figura 12, é possível constatar que os níveis de incidência solar no litoral catarinense estão entre os mais baixos no território brasileiro. No entanto, neste resultado não desqualifica a aptidão técnica da localidade frente à geração solar fotovoltaica, conforme citado no capítulo anterior, tendo em vista que a Alemanha possui índices de irradiação solar ainda menores e figura entre os maiores produtores de energia solar no âmbito mundial (SALAMONI; RUTHER, 2009).

Para melhor apreciação da Tabela 5, a Figura 18 apresenta o gráfico demonstrativo das irradiações médias global e inclinada.

Figura 18 – Irradiação média global e inclinada na Grande Florianópolis.



(Fonte: UFRGS, 2017)

Deste modo, pode-se observar índices elevados ao longo do verão, com um decréscimo no inverno, ou seja, as estações são bem definidas, corroborando com a ideia do clima sub-tropical presente em SC.

## 4 DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E ECONÔMICO DO ESTUDO DE CASO

Com o intuito de retomar o objetivo geral deste trabalho, a implementação dos projetos de um sistema de geração solar fotovoltaica, assim como a análise técnica e econômica, serão o escopo deste capítulo.

Conforme a Figura 1, o desenvolvimento desta etapa é sujeito a fatores que podem causar a inviabilidade. Deste modo, o estudo técnico e econômico deve estar em constante realimentação para encontrar o projeto com melhor custo-benefício. Nesta etapa, pode-se visualizar o melhor resultado encontrado. Na sequência, apresenta-se a aplicação do embasamento teórico de modo a justificar as escolhas e permitir a elaboração dos projetos, elencando todos os parâmetros necessários através do estudo técnico e financeiro.

### 4.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS TÉCNICOS

Um projeto é sempre precedido de um levantamento das características locais e das que são desejadas para sua implementação. Este ante-projeto conta com o auxílio de embasamento prévio e ferramentas, as quais devem oferecer suporte ao desenvolvimento do projeto.

Diante do exposto, o dimensionamento do gerador solar fotovoltaico que é capaz de suprir a demanda dos aviários foi realizado através dos cálculos com o auxílio de uma planilha de cálculo desenvolvida no Microsoft Office Excel®.

A planilha permite que o usuário entre com dados relativos ao consumo médio mensal; porcentagem do abatimento da fatura; localização; área do telhado; preferência por marcas de painéis fotovoltaicos e inversores. É possível que o usuário personalize as variáveis financeiras, podendo informar a taxa de atratividade, preço do kWh de energia elétrica e taxa de inflação esperada. Outra característica relevante desta planilha é a possibilidade de adicionar dados de componentes reais vendidos no mercado, permitindo constante atualização para acompanhar o desenvolvimento dos produtos relacionado à energia solar. Além dos dados técnicos, é possível adicionar os dados solarimétricos da localidade a ser estudada, bastando incluir os dados advindos do RadiaSol 2, em uma nova linha da base de dados solarimétricos da tabela.

Os resultados obtidos serão dispostos ao longo do texto e no Apêndice A encontram-se as planilhas completas. Os valores encon-

trados contam com aproximações, não levando em conta detalhes que necessitam de refinamento nos dados e métodos iterativos.

A busca de resultados apurados requer o uso de simuladores, já que são capazes de estimar as perdas da geração por fatores não triviais: sombreamento e poeira nos módulos; efeito Joule nos cabos; consumo noturno do inversor; ângulo de inclinação e azimute; temperaturas elevadas; perdas por sobretensão e potência nos inversores; entre outros. Utilizou-se o software PVSyst para confrontação dos resultados, sendo este o software mais conhecido e utilizado, desenvolvido para a plataforma Windows e de fácil acesso.

### 4.1.1 Dimensionamento do Sistema Gerador Fotovoltaico

Com posse dos dados levantados no capítulo anterior e com o auxílio da planilha supracitada, o dimensionamento do sistema gerador deve suprir um percentual do consumo energético descrito nas médias dos últimos 12 meses da fatura. Através de (4.1), tem-se a potência instalada necessária.

$$P_{FV} = \left[ \frac{\overline{P_{consumida}} \times R_{\%}}{G_{global} \times \eta \times N_{dias} \times P_{Mfv}} \right] \times P_{Mfv} \quad (4.1)$$

$\overline{P_{consumida}}$  representa o consumo médio em um período de tempo;  $R_{\%}$  o percentual de abate da fatura;  $G_{global}$  irradiação solar média do local;  $\eta$  é a eficiência do sistema;  $N_{dias}$  é o número de dias referente ao consumo médio; e  $P_{Mfv}$  a potência nominal do módulo fotovoltaico.

Para este trabalho, considera-se o  $\overline{P_{consumida}} = 2369$  kWh/mês;  $R_{\%} = 100\%$ ;  $G_{global} = 4,51$  kWh/m<sup>2</sup>;  $\eta = 80,7\%$ ;  $N_{dias} = 30$  dias; e  $P_{Mfv} = 325$  Wp. Para este cálculo, assume-se a potência do módulo fotovoltaico como conhecido. Posteriormente, neste capítulo será abordado o método de escolha.

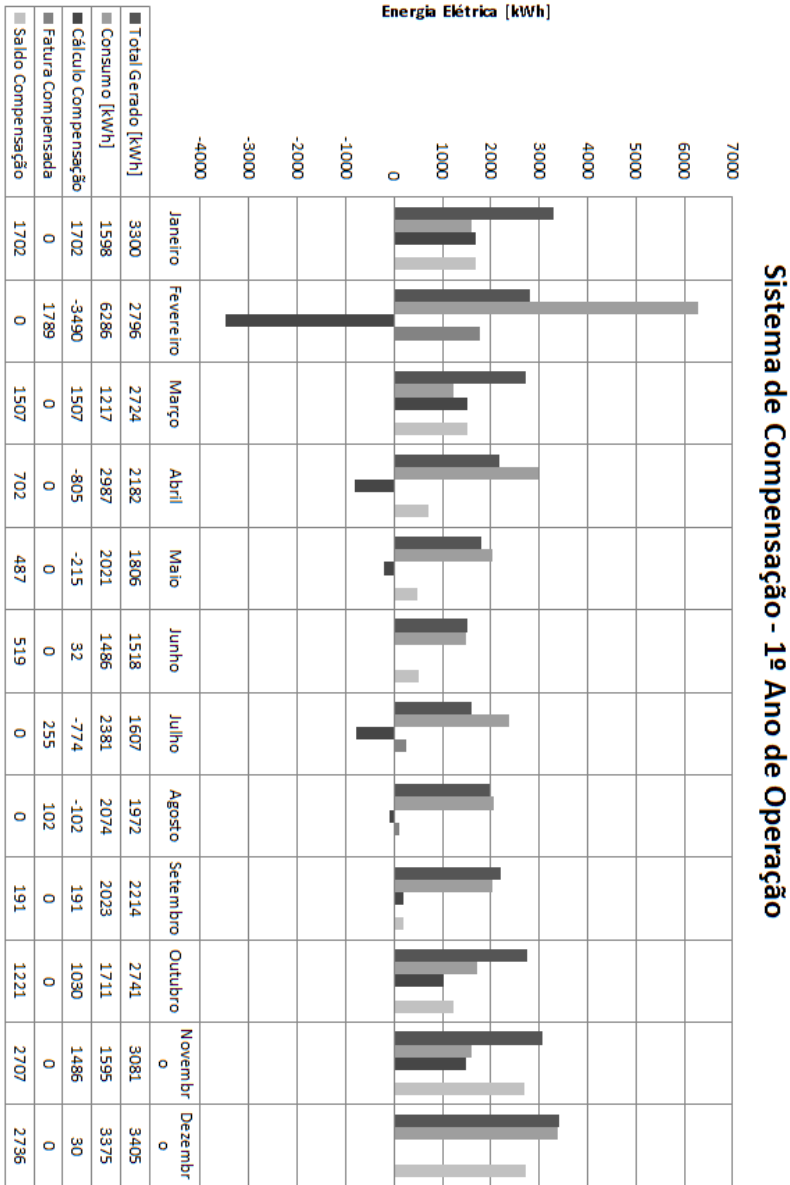
Portanto, é necessário que este sistema gerador tenha potência instalada de 22,1 kWp para que ele faça o abatimento completo da fatura. Tomando em conta o resultado anterior, o gerador fotovoltaico será capaz de produzir até 29345 kWh anualmente, ultrapassando o consumo dos aviários em uma margem de 2,02% no primeiro ano de operação. Portanto, além de tornar a propriedade auto-suficiente no quesito eletricidade, o sistema garantirá um acréscimo de 593 kWh a cada ano no saldo cumulativo do sistema de compensação, garantindo uma reserva para eventualidades ou pequenas cargas adicionais.

Avaliando a produção de energia e o consumo de energia men-

salmente, é possível entender o sistema de compensação. A Figura 19 mostra detalhadamente o perfil de energia da unidade consumidora junto com o sistema gerador, levando em consideração o que é gerado, consumido e, também o saldo do mês, isto é, se a produção gerou excedentes (injetou energia na rede e contabilizou créditos no sistema de compensação) ou foi insuficiente (consumiu da rede e abateu dos créditos). Os dados foram obtidos através da planilha de cálculo e podem ser visualizados no Apêndice A.

Ao analisar a Figura 19, destaca-se que para o primeiro ano (considerando o início da operação no primeiro mês do ano subsequente) observa-se que no mês de fevereiro ainda haverá uma fatura de 1789 kWh a ser paga, pois os ativos do sistema de compensação não são suficientes para saldar o pico observado em fevereiro. Ao final do primeiro ano de operação, o saldo cumulativo do sistema de compensação conta com 2736 kWh, que juntamente com o saldo de janeiro e com a produção de fevereiro do segundo ano, são capazes de saldar o pico de consumo de fevereiro. Observa-se também faturas menores em julho e agosto, que são consequências do mesmo motivo explicitado, que no segundo ano de operação serão totalmente compensadas pelo saldo.

Figura 19 – Balanço de energia elétrica para o primeiro ano de operação.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)



Estes resultados foram obtidos considerando-se os índices solari-métricos indicados na Tabela 5 e parâmetros de perda segundo a Tabela 6. Embora possam ser alteradas, nesta planilha adotou-se valores de perdas padrões obtidos através do software PVsyst. A eficiência dos equipamentos foi obtida através das especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes (Anexos A e B).

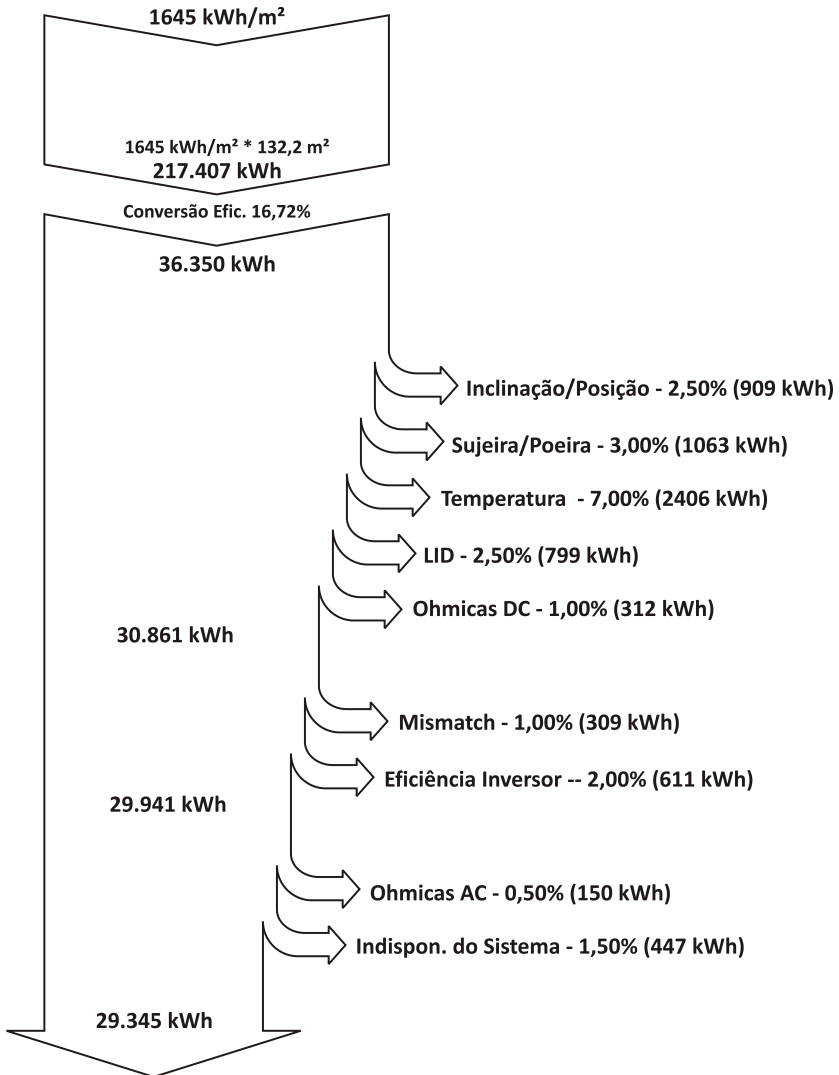
Tabela 6 – Percentuais de perdas utilizadas na simulação.

<b>TABELA DE PERDAS</b>		
<b>Tipo de Perda</b>	<b>Valor</b>	<b>Observações</b>
Inclinação do telhado e ang. de azimute	2,5%	
Temperatura dos Módulos	7,0%	
LID - Light Induced Degradation	2,5%	
Perdas ohmicas na conexão strings e inversor	1,0%	20m de cabo 2.5mm <sup>2</sup>
Perdas ohmicas na conexão inversor e entrada	0,5%	10m de cabo 6mm <sup>2</sup>
Mismatch entre módulos	1,0%	
Indisponibilidade do sistema	1,5%	Sistema desligado
Sujeira	3,0%	Perda anual
Garantia linear do módulo	0,72%	Perda anual

(Fonte: Aatoria Própria, 2017)

A Tabela 6 não apresenta valores referentes às perdas de eficiência de operação dos painéis e inversor. Para os painéis, a eficiência é baixa, em torno de 16,72%. No entanto, a eficiência de inversores está em torno de 98,0%, valor percentualmente grande. As perdas citadas anteriormente se mostram notórias ao longo de um ano de operação. Com o intuito de facilitar a visualização, observe-se o diagrama de perdas mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Diagrama de perdas para o primeiro ano de operação.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Diante do resultado apresentado na Figura 20, algumas considerações podem ser tomadas: a irradiação global horizontal permitiria produzir um total de 217,4 MWh nos 132,2 m<sup>2</sup> de painéis solares, to-

davia, a eficiência é de 16,72%, o que permite converter apenas 36,35 MWh. Da quantia convertida, 5489 kWh são perdidos ainda nos módulos e cabos. No inversor perde-se em torno de 920 kWh de energia, e por fim, 596 kWh são perdidos devido a outros fatores, como o efeito joule nos cabos e indisponibilidade do sistema. Isto posto, perde-se anualmente um total de 7,0 MWh (aproximadamente 584 kWh/mês). É essencial enfatizar que este diagrama não considera as perdas a longo prazo (i.e., perdas de eficiência linear dos módulos fotovoltaicos).

#### 4.1.2 Descrição do Sistema Gerador Fotovoltaico *Grid-Tie*

Para a montagem da unidade geradora de 22,1 kWp, é necessário descrever e quantificar os materiais necessários para a instalação da parte elétrica. O dimensionamento coerente à demanda almejada influencia rigorosamente no custo total e, conseqüentemente, na viabilidade econômica do investimento.

O custo total é majoritariamente definido pelos preços dos módulos fotovoltaicos e do inversor de tensão, os quais permitem um grau de liberdade maior na escolha de modelos e potências que melhor se ajustam no *tradeoff* entre custo e benefício. O preço dos demais materiais, tais como: cabos; estrutura de fixação; *string box*; e conectores MC4, dependem da aplicação de normas técnicas e a procura pelo menor preço no mercado.

Para os módulos fotovoltaicos, prioriza-se o módulo comercial de maior eficiência, considerando os que apresentam o menor preço por Wp. Com estes parâmetros, opta-se pelo módulo fotovoltaico policristalino Canadian Solar 325W, modelo CS6U-325, que apresenta eficiência de 16,72% (CANADIAN SOLAR INC., 2016). A quantidade de módulos necessários é estipulada pela razão entre a potência instalada do gerador (22100 Wp) e potência do módulo (325 Wp):

$$N_{Mfv} = \frac{P_{FV}}{P_{Mfv}} \quad (4.2)$$

Em (4.2)  $N_{Mfv}$  representa o número de módulos fotovoltaicos;  $P_{FV}$  a potência instalada do gerador solar fotovoltaico; e  $P_{Mfv}$  a potência nominal do painel a ser utilizado. Portanto, o projeto requer 68 módulos de 325Wp (por referência, o modelo CS6U-325).

Com o advento de tecnologias aplicadas a semicondutores, algoritmos de conversão de energia com máxima eficiência e softwares simuladores em geral, o mercado fotovoltaico trouxe uma diversidade

de modelos de inversores de tensão, muitos dos quais contam com o monitoramento *wireless* em tempo real em plataforma web ou aplicativo para smartphones. Os conversores disponíveis no mercado podem atingir desde algumas centenas de Watts até Megawatts de potência, sendo estes últimos aplicados à geração centralizada e não para geração distribuída.

Tal qual os módulos fotovoltaicos, os inversores também são escolhidos prioritariamente pela potência instalada do sistema. Almejando o menor custo e assegurando o funcionamento correto dos inversores, é possível ajustar a potência necessária do inversor através de um FDI (Fator de Dimensionamento de Inversores). Para a busca do FDI no ponto ótimo de operação, é preciso o uso de simulação numérica em conjunto com uma série de dados sobre irradiações ao longo do dia e temperatura ambiente. Analisando a literatura, encontra-se que os valores recomendados para FDI variam na faixa de 0,85 e 1,05 (PINHO; GALDINO, 2014). Para o estudo de caso em questão, o FDI que se encontra na faixa supracitada é de 0,90, indicando que o inversor está subdimensionado em 90% da potência instalada de módulos fotovoltaicos. A potência nominal do inversor é determinada através de (4.3) (PINHO; GALDINO, 2014).

$$P_{Nca} = FDI \times P_{FV} \quad (4.3)$$

Em (4.3)  $P_{Nca}$  representa a potência nominal do inversor; FDI é o fator de dimensionamento de inversor; e  $P_{FV}$  a potência instalada do gerador fotovoltaico.

Por consequência, majorando o resultado obtido pelo cálculo de (4.3), a potência do inversor para o gerador fotovoltaico é de 20 kW. Dentre os modelos existentes no mercado, destaca-se o inversor Fronius, modelo Symo 20.0.3M, que apresenta eficiência de até 98,0%. Este modelo possui monitoramento sem fio, permitindo, portanto, o acompanhamento em tempo real da produção de energia através de conexão *wireless*.

Os detalhes técnicos, assim como forma de conexão entre os componentes do gerador solar fotovoltaico, serão abordados na próxima seção, a qual almeja garantir o funcionamento correto e seguro das instalações, obedecendo às normas técnicas vigentes.

### 4.1.3 Energia Gerada Anualmente - Período de 25 anos

Segundo Rütther (2004), são diversos os fatores que afetam o rendimento energético de um sistema, sendo a variação da radiação o mais influente. Portanto, determinar a capacidade de geração em um quadro de tempo longo torna-se uma atividade preditiva, sendo necessário assumir que não há variância na radiação.

A degradação linear do painel é o único fator variante, relacionado aos efeitos do tempo, levado em consideração. Segundo o fabricante do módulo fotovoltaico, para o primeiro ano de operação, o painel sofre um decréscimo de 2,5% da sua potência nominal. Os anos de 2 a 25 sofrem um decréscimo de, no máximo, 0,7% ao ano. Ao final dos 25 anos, a queda não deve ultrapassar 19,3%, ou seja, cada placa deve permanecer com pelo menos 80,3% da sua potência nominal (CANADIAN SOLAR INC., 2017). A Tabela 7 mostra a energia elétrica estimada gerada ao longo dos anos.

Tabela 7 – Geração de energia elétrica anual estimada.

<b>GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL ESTIMADA</b>		
<b>Ano</b>	<b>Redução Próximo Ano [%]</b>	<b>Produção [kWh]</b>
1	2,5	29345
2	0,7	28611
3	0,7	28411
4	0,7	28212
5	0,7	28014
6	0,7	27818
7	0,7	27624
8	0,7	27430
9	0,7	27238
10	0,7	27048
11	0,7	26858
12	0,7	26670
13	0,7	26484
14	0,7	26298
15	0,7	26114
16	0,7	25931
17	0,7	25750

<b>18</b>	0,7	25570
<b>19</b>	0,7	25391
<b>20</b>	0,7	25213
<b>21</b>	0,7	24036
<b>22</b>	0,7	24861
<b>23</b>	0,7	24687
<b>24</b>	0,7	24514
<b>25</b>	0,7	24343
<b>Total</b>	<b>17,05%</b>	<b>663471</b>

(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Embora a Tabela 7 considere as perdas descritas pelo fabricante, ao término do período de 25 anos aproximadamente 83% da potência nominal é conservada, gerando em torno de 663,5 MWh. Neste mesmo período, a diferença entre a geração de energia do primeiro ano e do vigésimo quinto ano é de 5002 kWh.

#### 4.1.4 Aspectos Construtivos da Instalação do Sistema Gerador Fotovoltaico

A concepção de um projeto, independente de sua aplicação, deve observar as etapas de execução e suas minúcias. Para tanto, em um projeto elétrico é necessário verificar as particularidades que podem por em risco a segurança e a integridade do sistema e usuários. Para tal fim, além das limitações técnicas dos componentes de um sistema gerador fotovoltaico, normas técnicas devem ser aplicadas para a garantia da padronização e estabelecimento de um patamar mínimo de proteção. São adequadas ao projeto do sistema gerador fotovoltaico as seguintes normas:

- ABNT NBR 16149:2013: Sistemas Fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- ABNT NBR IEC 62116:2012: Procedimentos de ensaios de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica;
- ABNT NBR 16274:2014: Sistemas fotovoltaicos conectados a rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;

- ABNT NBR 16612:2017: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho;
- ABNT NBR 5410:2004: Instalações elétricas de baixa tensão;
- ABNT NBR 5456:1987: Eletricidade geral - Terminologia;
- ABNT NBR 10899:2006: Energia solar fotovoltaica - Terminologia;
- PRODIST Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição;

Se, por alguma eventualidade, o desenvolvimento do projeto contemple algum parâmetro que não é abordado nas normas existentes, indica-se a utilização de normas internacionais (PINHO; GALDINO, 2014), como exemplo:

- IEC 60364-7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV power supply systems (requisitos para instalações e locais especiais - Sistemas de energia solar fotovoltaica);
- IEC TS 62257: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification (Recomendações para pequenos sistemas de energia renováveis e híbridos para eletrificação rural);
- IEC 61724: Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis (Monitoramento de performance de sistemas fotovoltaicos) - diretrizes para medida, transferência de dados e análise);

Além das normas nacionais e internacionais acima, órgãos como IEEE e IEC dispõe de documentos que estão relacionados a parâmetros de segurança dos inversores *grid-tie* (PINHO; GALDINO, 2014) e não ao projeto propriamente dito. São elas:

- IEEE 1547: Standart for interconnecting distributed resources with electric power systems (Padrão para a conexão de recursos distribuidos com a rede elétrica);
- IEEE 909-2000: Recommended practice for utility interface of photovoltaic (PV) systems (Padrão recomendado para a conexão com a rede de sistemas fotovoltaicos);

- IEC 61727: Characteristics of the utility interface (Características da rede elétrica no ponto de conexão);
- IEC 62116: Testing procedure of islanding prevention methods for utility-interactive photovoltaic inverters (Procedimento de teste de métodos de detecção de ilhamento para inversores fotovoltaicos conectados à rede elétrica);
- VDE 0126-1-1: Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid (Desconexão automática de geradores da rede elétrica pública de baixa tensão).

As informações contidas no manual de cada equipamento trás consigo orientações importantes das limitações e de modo de instalação, as quais não podem ser negligenciadas.

#### 4.1.4.1 Orientação e Localização dos Módulos Fotovoltaicos

Como exposto na Seção 2.4 - Incidência Solar, muitos são os motivos que fazem a energia irradiante ser atenuada ao longo da atmosfera e sofrer variações ao longo dos dias e anos. Ainda assim, é possível desenvolver um projeto aonde o ajuste da orientação geográfica e da inclinação dos painéis possam garantir que a máxima irradiância seja coletada.

Tendo em vista que a meta está na máxima conversão de energia, o módulo fotovoltaico deve estar posicionado de modo que os raios solares incidam perpendicularmente à superfície do painel (MEHLERI et al., 2010). Para isto, idealmente, pode-se utilizar um sistema seguidor (*tracking system*), um dispositivo capaz de rotacionar e inclinar os painéis de acordo com a posição solar. Todavia, o alto custo deste equipamento limita sua aplicação.

Para aplicações de menor escala, por exemplo, microgeração distribuída, utiliza-se uma regra geral: o ângulo de inclinação deve ser próximo ao da latitude e deve estar, preferencialmente, orientado ao Norte geográfico (MEHLERI et al., 2010). Portanto, o desvio azimutal deve tender a zero.

Apesar da adequação ao norte geográfico e à inclinação serem primordiais à máxima conversão energética, nem sempre este ajuste apresenta vantagem técnica e econômica. Os aviários deste estudo possuem a mesma inclinação no telhado, diferindo no ângulo de azimute: dois deles possuem aproximadamente  $60^\circ$  desviados a Leste e o outro,  $35^\circ$  a Leste. A inclinação do telhado é de  $25^\circ$ , sendo a latitude



27°. Portanto, não há vantagem em requerer uma estrutura que corrija 2° de diferença. O mesmo vale para a correção do desvio azimutal, embora este seja consideravelmente maior (aproximadamente 35°). É pré-suposto que a confecção de uma estrutura de fixação capaz de corrigir este desvio é inviável financeiramente (maiores custos com material e mão de obra na instalação) e tecnicamente (estética e peso maior sobre a estrutura do telhado).

Através de simulações utilizando o software PVsyst, observou-se que as perdas relativas à orientação e à inclinação contabilizam apenas 2,2%, sendo esta menor que a perda causada pela poeira depositada sobre os painéis. Na planilha de cálculo, foi contabilizado uma perda de 2,5%, conforme visto no diagrama da Figura 20.

#### 4.1.4.2 Definição das Interconexões de Módulos Fotovoltaicos - *Strings*

Assim como a associação de elementos acumuladores de energia, a junção de painéis fotovoltaicos em série (denominado por *strings*) e/ou paralelo tem por objetivo elevar a tensão e corrente a níveis que possam ser processados pelo inversor de tensão (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Conforme discutido de antemão, para este estudo de caso, a unidade geradora de 22,1 kWp será composta de 68 módulos fotovoltaicos 325Wp e um inversor de tensão de 20 kW. As especificações técnicas utilizadas nesta seção encontram-se nos Anexos A e B. Para os cálculos serão utilizados os valores nas condições nominais de temperatura das células, indicados pelo índice NOCT ( $G_{NOCT} = 800\text{W/m}^2$ ,  $T_{NOCT} = 20^\circ\text{C}$  e  $W_{NOCT}=1\text{m/s}$ ).

O principal fator delimitante na escolha da quantidade de módulos fotovoltaicos em uma *string* se dá pelas especificações de tensão máxima e mínima de entrada do inversor. Portanto:

$$N_{FV_{max}} = \frac{V_{INV_{max}}}{V_{OC_{max}}} \quad (4.4)$$

Em (4.4)  $N_{FV_{max}}$  é o número máximo de módulos fotovoltaicos;  $V_{INV_{max}}$  é o valor máximo da tensão CC de entrada do inversor; e  $V_{OC_{max}}$  é o valor máximo da tensão de circuito aberto. O valor de  $V_{INV_{max}}$  é obtido através dos dados do fabricante e pode ser consultada no Anexo A e vale 1000V. O valor de  $V_{OC_{max}}$  será discutido adiante.

$$N_{FV_{min}} = \frac{V_{INV_{min}}}{V_{OC_{min}}} \quad (4.5)$$

Em (4.5)  $N_{FV_{\min}}$  é o número mínimo de módulos fotovoltaicos;  $V_{INV_{\min}}$  é o valor mínimo da tensão CC de entrada do inversor; e  $V_{OC_{\min}}$  é o valor mínimo da tensão de circuito aberto. O valor de  $V_{INV_{\min}}$  é obtido através dos dados do fabricante e pode ser consultado no Anexo A e vale 200V. O valor de  $V_{OC_{\min}}$  será discutido adiante.

Para efeito de cálculo, deve-se tomar em conta a tensão de circuito aberto dos painéis, a qual depende da temperatura ambiente que a placa opera. Em geral, quanto maior a temperatura de operação do módulo, menor a tensão. De maneira oposta, maior será a tensão em temperaturas mais baixas. As tensões (nominal e circuito aberto) em painéis fotovoltaicos são definidas pela expressão (4.6):

$$V(T_{FV}) = V_{OC_{NOCT}} \times \{1 - B \times [T_{FV} - T_{FV_{NOCT}}]\} \quad (4.6)$$

$T_{FV}$  é definido conforme (4.7) (WENHAM et al., 2006):

$$T_{FV} = T_{ambiente} + \frac{T_{FV_{NOCT}} - T_{NOCT}}{G_{NOCT}} \times G_{FV} \quad (4.7)$$

Em (4.6) B representa o coeficiente de temperatura de circuito aberto e  $T_{FV_{NOCT}}$  é a temperatura do módulo fotovoltaico nas condições NOCT. Ambos os parâmetros podem ser conferidos na ficha técnica do módulo fotovoltaico (Anexo B) e valem, respectivamente,  $-0,0031^{\circ}\text{C}^{-1}$  e  $43^{\circ}\text{C}$ . O valor da irradiação solar sobre o módulo fotovoltaico  $G_{FV}$  vale  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , pois caracteriza o pior cenário possível.

O clima do município de Águas Mornas pode atingir  $T_{ambiente} = 0^{\circ}\text{C}$  nos invernos rigorosos, e este será considerado o pior cenário no efeito sobre as máximas tensões. Nos verões, registra-se a máxima temperatura,  $T_{ambiente} = 40^{\circ}\text{C}$ . Resolvendo sequencialmente as equações (4.7) e (4.6), juntamente com o coeficiente de temperatura segundo o Anexo B, a equação (4.6) retorna a tensão de circuito aberto máxima de  $V_{OC_{\max}} = 43,49\text{V}$  e mínima  $V_{OC_{\min}} = 39,02\text{V}$ .

Aplicando em (4.4) e (4.5), tem-se que o número máximo de painéis para uma *string* é de 22 e o mínimo, de 5. O maior número onde é possível dividir um total de 68 painéis e obter um número inteiro é  $N_{FV} = 17$  unidades, obedecendo o intervalo de 5 a 22 módulos fotovoltaicos. Assim sendo, por definição, o sistema será montado para que se tenha 4 *strings* de 17 módulos.

Para que ocorra a máxima transferência de potência dos painéis para a rede de distribuição, é necessário que o inversor opere com valores de tensão dentro de sua faixa de operação MPPT, que é de-

terminada pela tensão máxima na STC (Condições de Teste Padrão) aplicando (4.8):

$$V_{MPPT} = N_{FV} \times V_{MP} \quad (4.8)$$

$V_{MPPT}$  representa a tensão de operação MPPT do inversor;  $N_{FV}$  é o número de módulos fotovoltaicos; e  $V_{MP}$  é a tensão nominal dos painéis sob as condições do STC. Este valor pode ser obtido através do Anexo B e vale 37,0V.

Portanto,  $V_{MPPT} = 629,0V$  está localizado aproximadamente no ponto intermediário da faixa de operação MPPT, que varia de 420V até 800V, comprovando portanto, que a escolha de 4 *strings* de 17 módulos é válida.

Em síntese, cada *string* é definida com as seguintes especificações:

- Número de Módulos ( $N_{FV}$ ): 17 unidades
- Tensão Nominal Máxima no STC ( $V_{MPPT}$ ): 629,0 V
- Tensão Circuito Aberto Máxima ( $V_{OC_{max}}$ ): 739,32V V
- Corrente Nominal Máxima no STC ( $I_{MP}$ ): 8,78 A
- Corrente de Curto-Circuito ( $I_{SC}$ ): 9,34 A
- Potência Nominal Máxima ( $P_{max}$ ): 5525 W

#### 4.1.4.3 Conexão do Quadro de Proteção CC - *String Box*

Os diversos painéis ligados em série em uma *string* devem ser conectados a um ponto em comum, denominado *String Box* (VILLALVA; GAZOLI, 2012), que tem por finalidade prover uma maior segurança contra surtos à instalação elétrica no lado de corrente contínua, sendo composta basicamente de chaves seccionadoras, fusíveis e DPSs.

Embora a chave seccionadora não seja um componente de atuação imediata, ao contrário dos disjuntores termo-magnéticos, sua função é estabelecer uma ferramenta que possa ser utilizada para a abertura do circuito, possibilitando manutenções no inversor ou painéis, devendo ser especial para aplicações em corrente contínua. Os fusíveis devem ser colocados um em cada polo das *strings*, de modo a proteger algum surto de menor magnitude de forma rápida. As vantagens deste

componentes são o custo e facilidade de reposição. O DPS deve ser especial para aplicações em corrente contínua e ser capaz de evitar que descargas atmosféricas nos painéis ou proximidades possam significar um risco de avarias no inversor. É possível encontrar no mercado DPSs e seccionadoras especiais para aplicações em geração fotovoltaica.

Para a escolha dos dispositivos que melhor atendem ao projeto, é necessário observar as correntes e tensões na entrada da *string box*. Primariamente, é necessária uma *string box* com quatro entradas e apenas uma saída, sendo que as quatro entradas CC tem por objetivo unificar as *strings* em paralelo, por consequência, somando-se as correntes. Esta observação é importante no que tange à escolha da chave seccionadora e DPS. Para os fusíveis, utiliza-se um para cada polo e, portanto, considera-se a corrente da *string* individual. Para a entrada da *string box*:

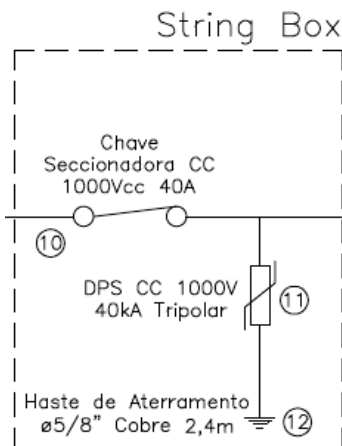
- Número de Módulos: 4 *strings* de 17 módulos
- Tensão Nominal Máxima das *Strings*: 629 V
- Tensão Circuito Aberto Máxima ( $V_{OC_{max}}$ ): 739,32V
- Corrente Nominal Máxima das *Strings* no STC: 35,12 A
- Corrente de Curto Circuito das *Strings*: 37,36 A
- Potência Nominal Máxima das *Strings*: 22100 W

Com os dados anteriores, descreve-se a necessidade dos seguintes componentes para constituir a *string box*:

- Fusível 10A (um para cada polo, 8 no total);
- DPS Classe II 40kA 1000Vcc (preferencialmente, para aplicação em instalações fotovoltaicas)
- Chave Seccionadora CC 1000Vcc 40A (preferencialmente, para aplicação em instalações fotovoltaicas)

Esses componentes devem ser interconectados em uma caixa de proteção IP65, conforme detalhamento descrito no Diagrama Multifilar - Apêndice D.

Figura 21 – Esquemático composição da (string box) utilizada no estudo de caso



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

#### 4.1.4.4 Conexão do Quadro de Proteção CA

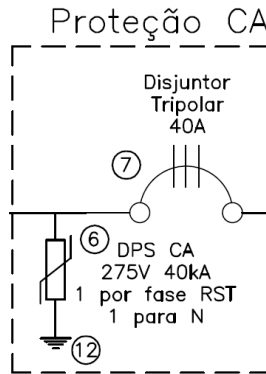
Instalado entre o inversor de tensão e o quadro de distribuição, sua aplicação é análoga a da *string box*, proteger o inversor de surtos e oferecer um modo de desconexão do mesmo do circuito. Neste caso, são utilizados um disjuntor termo-magnético e DPS para aplicação em CA.

A escolha do disjuntor e do DPS está relacionada às características de saída do inversor. Para o inversor utilizado como base deste projeto, utilizam-se as informações contidas no Anexo A. O inversor referenciado dispõe de uma conexão com a rede de distribuição com ligação trifásica, além do neutro e proteção (aterramento). A corrente de saída é, no máximo, 32A por fase. Para o Estado de Santa Catarina, o uso de transformador é dispensável, pois o inversor tem saída controlada no intervalo de 320V a 460V e inclui, portanto, a tensão padronizada para SC, 380V trifásico.

Com os dados antepostos, para o quadro de proteção CA são necessários os seguintes componentes:

- Disjuntor termo-magnético tripolar 40A;
- DPS Classe II 40kA 275Vca (um por fase e neutro, 4 no total).

Figura 22 – Esquemático da composição da caixa de proteção CA utilizada no estudo de caso.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Os citados componentes devem ser interconectados em uma caixa de proteção IP65, conforme detalhamento descrito no Diagrama Multifilar - Apêndice D.

#### 4.1.4.5 Dimensionamento dos Condutores

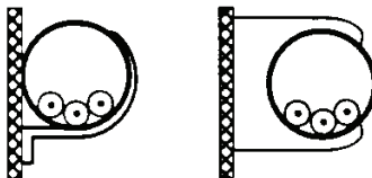
Para instalações em baixa tensão, suas especificações são determinadas pela norma técnica ABNT NBR 5410:2004, que propõe satisfazer os requisitos mínimos de segurança em instalações elétricas. O escopo desta norma atende instalações em geral, em especial as que tem níveis de tensão inferiores a 1000V, para corrente alternada, e 1500V, para corrente contínua. A inobservância desta norma em relação ao dimensionamento dos condutores traz riscos a pessoas e animais, assim como deterioração da instalação.

O dimensionamento do condutor pode ser realizado de maneiras diferentes, sendo o método da capacidade de condução de corrente o mais rápido e prático. Para tal, é necessário ter informações da corrente nos circuitos, da quantidade de condutores carregados (energizados) e também informações sobre a forma com que os fios serão instalados.

Neste estudo de caso, os cabos condutores de energia serão alocados em eletrodutos aparentes. Segundo a NBR 5410:2004, o método de instalação é o número 3, cuja referência é dada pelo método B1 e descrição conforme segue "*Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta*

menos de 0,3 vezes o diâmetro do eletroduto".

Figura 23 – Modos de instalação em eletrocalha aparente (método B1).



(Fonte: NBR 5410, 2004)

À esquerda: eletroduto fixado sobre a parede (abraçadeira tipo U).  
À direita: eletroduto fixado afastado da parede (abraçadeira tipo D).

Consoante a Seção 4.1.4.2, cada *string* conduzirá apenas 8,78A. Logo, não é necessário condutores de grande seção nominal para a ligação entre as *strings* de módulos até a *string box*. Não obstante, cada *string* irá operar em tensões elevadas, podendo chegar a  $V_{OC_{max}} = 739,32V$  à  $0^{\circ}C$ . Em vista disso, para cada *string* (um cabo por polo, dois no total) é indicado o uso de cabo XLPE com isolamento mínimo de 750V, com seção nominal de  $2,5mm^2$ , cuja aplicação permita a exposição a intempéries (sol, chuva e frio) e instalados dentro de eletroduto de PVC não-inflamável de 1/2 polegada.

Para a ligação entre *string box* e inversor, ainda em CC, as correntes das *strings* irão se somar, atingindo 37,36A (curto-circuito) e 739,32V de tensão máxima (circuito-aberto). Para tanto, recomenda-se o uso de cabos PVC com isolamento mínimo de 750V, com seção nominal de  $6,0mm^2$ , instalados dentro de eletroduto PVC não-inflamável de 3/4 polegada.

Em relação às conexões entre inversor e quadro de distribuição, passando pela quadro de proteção CA, estas são dependentes das características de saída do inversor, que apresenta saída trifásica (R, S e T), com presença de neutro (N) e proteção (PE), com corrente máxima de saída é 32A por fase e tensão de 380V entre fases (conforme tensão da rede de distribuição). Segundo as diretrizes da NBR 5410:2004, os condutores das fases, neutro e proteção requerem cabo PVC com seção nominal mínima de  $6mm^2$ , com isolamento de no mínimo 400V, sendo que as fases devem estar preferencialmente contidas dentro de um mesmo eletroduto de 1 polegada e os condutores neutro e fase em outro eletroduto, de 3/4 polegada.

Embora a NBR 5410 delimite o uso de cabos verdes-amarelos exclusivos para o condutor de Proteção e indica a cor azul para o condutor

Neutro, para as três fases não há especificações. Recomenda-se, como boa prática de engenharia, o uso de cores diferentes. Para a instalação estudada, sugere-se o uso conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Distribuição das cores por condutor.

<b>DESCRIÇÃO DE COR POR CONDUTOR</b>		
<b>Aplicação</b>	<b>Condutor</b>	<b>Cor</b>
Corrente Contínua	Positivo +	Vermelho
Corrente Contínua	Negativo -	Preto
Corrente Contínua	Proteção PE	Verde
Corrente Alternada		
Corrente Alternada	Neutro N	Azul
Corrente Alternada	Fase R	Preto
Corrente Alternada	Fase S	Branco
Corrente Alternada	Fase T	Vermelho

(Fonte: Autoria Própria, 2017)

O modo das conexões, assim como seu detalhamento, pode ser verificado no Diagrama Multifilar - Apêndice D.

#### 4.1.4.6 Sistema de Aterramento

O sistema de aterramento é indispensável para prevenção de surtos e choques elétricos. O aterramento tem função de conduzir toda corrente elétrica não desejada à terra (superfície equipotencial neutra), sendo denominado como proteção do sistema gerador solar fotovoltaico.

Conforme consta na norma FECO-D-04 da concessionária local - CEREJ, é obrigatória a presença de um sistema de aterramento na entrada de energia, onde é conectado também o neutro. Para o gerador solar fotovoltaico deste estudo de caso, é recomendada a instalação de um segundo sistema de aterramento, exclusivo para esta finalidade.

Ainda fundamentado na norma técnica FECO-D-04 e também na NBR 5410:2004, algumas diretrizes podem ser utilizadas. É recomendado que os cabos referentes à proteção e aterramento não possuam emendas ou qualquer dispositivo de interrupção; a haste deve ser preferencialmente de cobre com, no mínimo, 2,4 metros de comprimento; e o valor máximo da resistência de aterramento não deverá ser maior que 25 Ohms. Para a correção deste parâmetro deverão ser adicionados tantos eletrodos quanto necessário.



O modo com que o sistema gerador se conectará às proteções e ao aterramento poderão ser observadas com detalhes no Diagrama Multifilar - Apêndice D.

#### **4.1.5 Documentação Exigida pela Concessionária**

Com base nas condições da ANEEL através dos documentos dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODISP, o Módulo 3 trata diretamente da interligação de sistemas micro e minigeradores na rede de distribuição. Este módulo, conduz à forma na qual este processo deve ser realizado, abordando exigências de projetos, assim como, a documentação mínima a ser exigida pelas concessionárias.

A cooperativa CER EJ atua no município de Águas Mornas como distribuidora de energia elétrica e detêm suas normas internas sobre a documentação necessária. A FECO-G-03 é a responsável pelas tratativas da conexão de mini e microgeradores no sistema de distribuição. A documentação exigida não difere do que é indicado no PRODIST Módulo 3 (FECOERUSC, 2013):

- Anotação de Responsabilidade Técnica do responsável pelos projetos elétricos com a assinatura do titular da unidade consumidora;
- Projeto elétrico das instalações de conexão;
- Memorial descritivo;
- Diagrama unifilar;
- Desenhos/projetos elétricos da instalação do micro ou minigerador;
- Especificações técnicas dos equipamentos a serem instalados.

#### **4.2 ANÁLISE DOS ASPECTOS ECONÔMICOS**

De modo geral, a aquisição ou investimento em bens ou produtos tem sua ideia casada com o retorno que este trará, seja econômico, seja no bem-estar de quem investe. Isto posto, o emprego de capital na compra do sistema fotovoltaico é cercado de estudos que tratam de

justificar ou não a viabilidade do investimento. Para este trabalho, o estudo abrangerá o sistema dimensionado em um intervalo de 25 anos.

Do mesmo modo que os aspectos técnicos, as análises econômicas dependem de fatores externos não determinísticos. Uma análise econômica depende basicamente da inflação (atrelada ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo, IPCA) e de taxas de atratividade que, para este estudo de caso, estarão vinculadas a rendimentos da poupança. A metodologia adotada para a definição destes parâmetros está na obtenção da média aritmética dos últimos 10 anos. Embora esta análise seja extremamente subjetiva quanto à qualidade desta informação, o resultado independe de análises profundas quanto ao cenário do país, tanto sob a ótica política e como comercial.

O IPCA é o índice utilizado pelo governo para determinar a inflação. É contabilizado pelo Sistema Nacional de Preços ao Consumidor, o qual analisa o comportamento dos preços de produtos e serviços mensalmente. Ao término de cada ano, calcula-se o índice acumulado, ou seja, a variação média nos preços ao longo do ano. A Tabela 9 mostra estes índices para os últimos dez anos.

Tabela 9 – Taxa do IPCA acumulado anual entre 2007-2016.

IPCA ACUMULADO ANUAL										
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Média
4,45%	5,90%	4,31%	5,90%	6,50%	5,83%	5,91%	6,40%	10,67%	6,28%	6,22%

(Fonte: Adaptado de Portal Brasil, 2017)

Portanto, a taxa de inflação acumulada indexada através da média aritmética do IPCA é de 6,22%, que será considerada estável por um período de 25 anos.

Quando aplicado, o investidor espera que o capital retorne a ele com um acréscimo no montante. A porcentagem que este acréscimo representa é denominada por taxa de atratividade (ou desconto). Este índice pode ser encontrado de diversas maneiras, dependendo da forma com a qual o investidor deseja equiparar seu investimento. Para este estudo, toma-se por base os ganhos através das aplicações na poupança, método mais fácil e seguro, porém de baixa rentabilidade. O rendimento médio anual dos últimos 10 anos pode ser conferido na Tabela 10.

Tabela 10 – Taxa do rendimento da poupança anual entre 2007-2016.

RENDIMENTO ACUMULADO ANUAL DA POUPANÇA										
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Média
7,79%	7,74%	7,09%	6,81%	7,50%	6,58%	6,32%	7,02%	7,94%	8,35%	7,31%

(Fonte: Adaptado de Portal Brasil, 2017)

A taxa de atratividade será de 7,31%, conforme a média aritmética dos rendimentos médios anuais da poupança.

#### 4.2.1 Custos do Sistema de Geração Fotovoltaica

O custo inicial de instalação é determinante na análise econômica, tendo em vista que o montante necessário para o investimento está condicionado ao custo de equipamentos e materiais utilizados, assim como, na mão de obra empregada para a instalação. Dispondo da lista de materiais necessários, buscou-se um orçamento junto a uma empresa local, conforme as especificações já apresentada nas seções anteriores. A Tabela 11 apresenta a relação de materiais segundo o escopo da proposta comercial da empresa seguida do valor total.

Tabela 11 – Custo dos materiais, projetos e instalação do gerador fotovoltaico de 22,1kWp.

CUSTOS SISTEMA GERADOR FOTOVOLTAICO 22,1 kWp		
Qtde	Item	
68	Painel Solar Fotovoltaico Canadian 325 Wp CS6U-325P	
1	Inversor Grid-Tie Fronius 20kW WLAN Symo 20.0.3M	
1	Estrutura de Fixação de Painéis para Telha Cerâmica	
10	Pares de Conector MC4 (Macho + Fêmea)	
1	String Box 4 entradas/1 saída 1000Vcc 40A	
300	Cabo XLPE 2,5mm <sup>2</sup> 750Vcc (150m Vermelho e 150m Preto)	
150	Cabo PVC 6,0mm <sup>2</sup> 750Vcc (30m Verde; 30m Azul; 30m Preto; 30m Branco e 30m Vermelho)	
1	Caixa de Proteção CA (DPS 275V 20/45kA + Disjuntor 32A)	
1	Sistema de Aterramento (Hastes + Cordoalha + Solda Exotérmica)	
	<b>Sub Total Materiais</b>	<b>R\$ 73.832,04</b>
	Projetos e Documentação	
	Instalação	
	<b>Sub Total Execução</b>	<b>R\$ 10.000,00</b>
	<b>Total</b>	<b>R\$ 83.832,04</b>

(Fonte: Autoria Própria, 2017)

O valor total apresentado na Tabela 11 já contempla os impos-

tos, assim como o percentual referente ao lucro da empresa. Por fim, o valor total de R\$ 83.832,04 representa a quantia necessária para o investimento e que será utilizado nesta análise.

#### **4.2.2 Custos de Manutenção**

Diferentemente de outros métodos de geração de energia elétrica, um dos grandes benefícios da geração solar fotovoltaica é não possuir partes móveis ou girantes. Assim sendo, os custos de manutenção são nulos sob o aspecto mecânico. Neste trabalho considera-se, para os aspectos econômicos, que os painéis fotovoltaicos terão vida útil de 25 anos e o inversor de tensão terá vida útil de 10 anos. Fundamentados na hipótese colocada, os cálculos econômicos serão desenvolvidos em um intervalo de 25 anos e, em vista disso, será necessário fazer a troca do inversor duas vezes: no ano 10 e ano 20 de operação.

Nos valores atuais, o inversor de tensão Fronius Symo 20.0-3-M custa aproximadamente R\$ 20.156,60 que, reajustado segundo a taxa média do IPCA de 6,22% e assumindo modelo semelhante ou igual, custará R\$ 36.853,63 em 10 anos e R\$ 67.381,89 em 20 anos. Estes valores serão considerados no cálculo da viabilidade econômica.

O acúmulo de sujeira sobre os painéis tem impacto direto sobre a eficiência com qual os painéis convertem energia. A irradiância coletada decresce de acordo com a densidade de acúmulo de poeira e esta apresenta-se como perda de potência (MANI; PILLAI, 2010). As manutenções a curto prazo se restringem a limpezas dos painéis fotovoltaicos, que podem ser executadas pelo próprio investidor. Portanto, não acrescentam custos consideráveis no estudo de viabilidade econômica e serão negligenciadas.

#### **4.2.3 Análise do Fluxo de Caixa**

Estimados os custos do investimento inicial e os custos de manutenção, é possível traçar de forma visual um gráfico capaz de avaliar os desembolsos e os retornos financeiros.

O custo inicial é real, pois foi estimado no presente, não cabendo reajustá-lo através de indexadores de inflação. No entanto, os valores (desembolsos e reembolsos) representam projeções no futuro, baseados nas condições de inflação já expostas. Os reembolsos deste projeto são representados pela economia gerada através do abatimento das faturas

de energia. Com o auxílio da Tabela 7, tem-se os seguintes reembolsos anuais, mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Reembolso (economia) estimado pela produção anual de energia elétrica.

<b>REEMBOLSO ANUAL ESTIMADO</b>			
<b>Ano</b>	<b>Produção [kWh]</b>	<b>Preço [R\$/kWh]</b>	<b>Reembolso [R\$]</b>
<b>1</b>	29345	0,420	12.324,80
<b>2</b>	28611	0,446	12.764,11
<b>3</b>	28411	0,474	13.463,14
<b>4</b>	28212	0,503	14.200,44
<b>5</b>	28014	0,535	14.978,12
<b>6</b>	27818	0,568	15.798,39
<b>7</b>	27624	0,603	16.663,58
<b>8</b>	27430	0,641	17.576,16
<b>9</b>	27238	0,681	18.538,71
<b>10</b>	27048	0,723	19.553,97
<b>11</b>	26,858	0,768	20.624,84
<b>12</b>	26670	0,816	21.754,35
<b>13</b>	26484	0,866	22.945,72
<b>14</b>	26298	0,920	24.202,33
<b>15</b>	26114	0,978	25.527,76
<b>16</b>	25931	1,038	26.925,78
<b>17</b>	25750	1,103	28.400,36
<b>18</b>	25570	1,103	29.955,70
<b>19</b>	25391	1,244	31.596,21
<b>20</b>	25213	1,322	33.326,56
<b>21</b>	25036	1,404	35.151,68
<b>22</b>	24861	1,491	37.076,74
<b>23</b>	24687	1,584	39.107,24
<b>24</b>	24514	1,683	41.248,93
<b>25</b>	24343	1,787	43.507,91

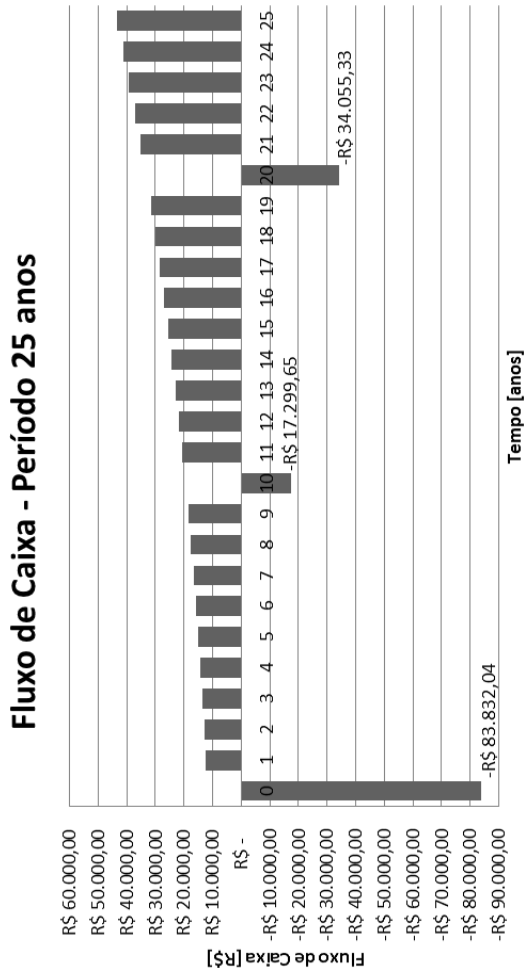
(Fonte: Autoria Própria, 2017)

O preço médio do kWh com impostos inclusos foi reajustado anualmente através da taxa de inflação indexada pelo IPCA de 6,22% a.a. Se forem consideradas as saídas referentes às manutenções junto a este valor de reembolso da produção energética, se obtêm o fluxo de

caixa utilizado no cálculo de *Payback*, VPL e ROI. Em síntese, este fluxo de caixa no intervalo de 25 anos pode ser representado graficamente através da Figura 24.

Os valores negativos encontrados se referem ao investimento inicial do ano 0; nos anos 10 e 20 o montante negativo se dá pelo fato do custo de manutenção (compra de novo inversor) ser superior ao ganho (produção de energia elétrica).

Figura 24 – Fluxo de caixa.

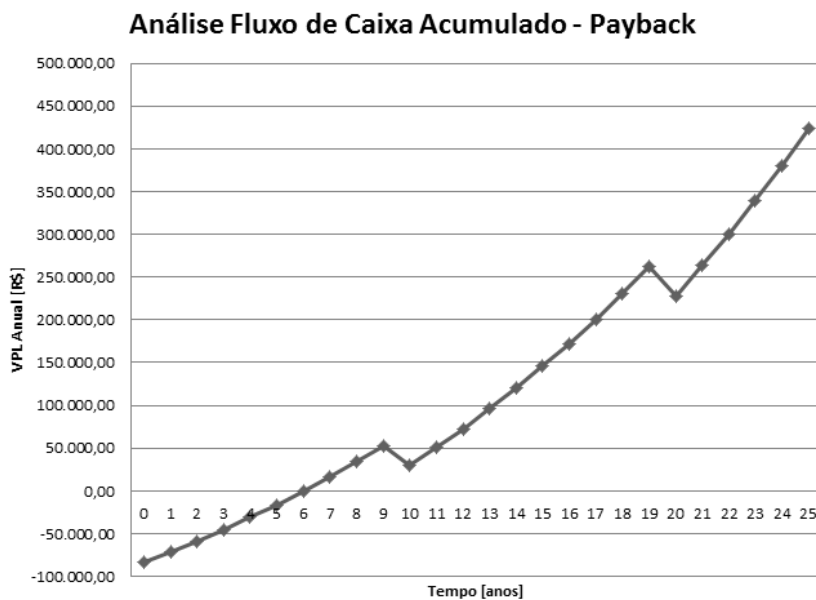


(Fonte: Autoria Própria, 2017)

#### 4.2.4 Análise do *Payback* Simples

Diante do fluxo de caixa apresentado na Figura 24, é possível estimar o tempo necessário para liquidar o investimento inicial. Conforme (2.5), ao realizar o fluxo de caixa acumulado ao longo dos anos, a curva mostrada da Figura 25 é obtida.

Figura 25 – Fluxo de caixa acumulado - análise do *payback*.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

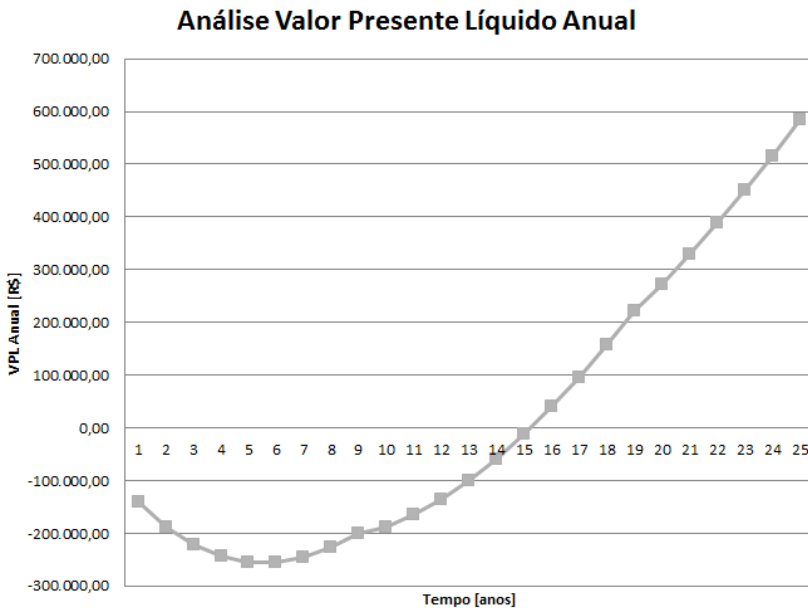
Analisando o gráfico da Figura 25, observa-se que a curva cruza o eixo temporal entre 6 e 7 anos. Os fluxos de caixa no 6º e 7º ano de operação são, respectivamente, R\$ -303,04 e R\$ 16.360,54. Isto posto, é evidente que o investimento é resgatado no início do 6º ano de funcionamento.

Os recuos observados nos anos 10 e 20 são causados pelo custo de manutenção da troca de inversores. Ainda que representem um valor relevante, não representam risco no tempo necessário de recuperação do investimento.

#### 4.2.5 Análise do Valor Presente Líquido (VPL)

Diferente do *payback*, que apresenta viabilidade em curto prazo, o VPL se mostra interessante a médio prazo, tendo em vista que considera o fluxo de caixa reajustado pela taxa de atratividade de 7,31% a.a.. A Figura 27 apresenta a análise pelo valor presente líquido.

Figura 26 – Análise do valor presente líquido (VPL) anual.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

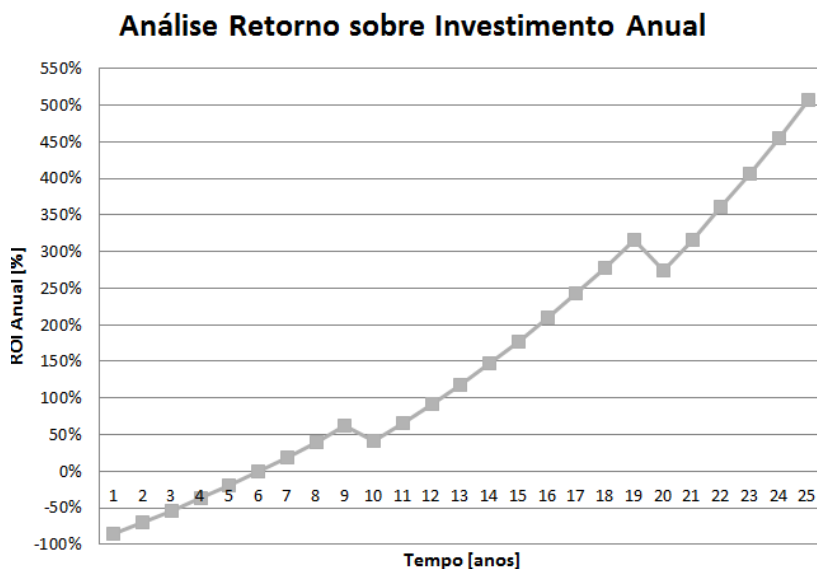
Se, hipoteticamente, o fluxo de caixa for aplicado na cardeneta de poupança no ano analisado, sob o ganho 7,31% a.a., conclui-se que somente a partir do 15º ano de operação o investimento descontado através dos ganhos garantirá a rentabilidade que a poupança seria capaz de oferecer. No entanto, esta conclusão desconsidera outros ganhos indiretos como, por exemplo, a não variabilidade do preço do kWh por bandeira tarifária, valorização do imóvel e benefícios sócio-ambientais.



## 4.2.6 Análise do Retorno sobre Investimento (ROI)

O resultado apresentado nesta seção não é um indicador de viabilidade, mas sim a estimativa de ganhos além do que fora investido. Esta análise é mostrada na Figura 27.

Figura 27 – Análise do retorno sobre investimento (ROI) anual.



(Fonte: Autoria Própria, 2017)

Com base apenas no investimento inicial em relação ao fluxo de caixa do ano analisado, entre os anos 6 e 7 o investimento se iguala ao fluxo de caixa, conforme visto através do *payback*. Neste ponto não há ganhos, embora o investimento já tenha sido pago. A partir deste ponto, todo valor é visto como ganho sobre o investimento. Ao final de 25 anos, o ROI estará estimado em 506% além do investido, ou seja, um total de R\$583.442,53.

Por necessitar de manutenção, os anos 10 e 20 apresentam uma queda abrupta que influencia o percentual de retorno. A título de informação, caso estas manutenções não fossem necessárias, o ROI estaria avaliado a 636%.

### 4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO MUNICÍPIO DE ÁGUAS MORNAS/SC

Apesar dos demais aviários do município de Águas Mornas estarem em localizações diferentes, a operacionalidade, *layout* e cargas instaladas dos aviários é aproximadamente a mesma. Portanto, é razoável afirmar que o consumo energético dentro de um mesmo clima será o mesmo ou semelhante.

Expandindo essa afirmação para a média de consumo vista no capítulo anterior (799 kWh/mês), conclui-se que os 24 aviários<sup>1</sup> existentes em Águas Mornas representam um consumo de 19168 kWh/mês ou 230016 kWh/ano, o que seria equivalente fornecer energia para 64 residências com consumo equivalente a 300 kWh/mês, aproximadamente 240 pessoas.

Desta forma, é notório salientar a importância da micro e mini-geração solar distribuída em consumidores de alta demanda energética em benefício às residências, principalmente as de baixa renda, que não dispõe de recursos para o investimento em energia solar. Ressalta-se, ainda, que se trata de uma fonte de energia limpa, renovável e inesgotável, de baixa manutenção, baixa ocupação e sem emissão de ruídos.

Sob a abordagem de impactos nos parâmetros de sistemas de potência da rede, Rüter (2004) afirma que algumas propriedades não são quantificadas, dentre elas: a redução de perdas na transmissão; redução de áreas dedicadas apenas para geração de energia; redução de picos de consumo ao longo do dia; e a modularidade deste tipo de sistema, que reduz o tempo de instalação em locais que necessitam de geração.

Em contraponto, a geração fotovoltaica introduz na rede elétrica algumas oscilações que, se negligenciadas, podem resultar em perdas na qualidade de energia ou a interrupção de fornecimento. A alta concentração de geração fotovoltaica pode causar variação nos níveis de tensão; aumento nos índices de distorção harmônica na rede; a complexidade de monitoração aumenta, causando, portanto, maior dificuldade em observar e corrigir falhas; e pelo fato de depender das condições climáticas, a geração fotovoltaica é de caráter aleatório, podendo dificultar o planejamento e operação dos sistemas de energia (SUNDARAM; SHEEBA; BABU, 2016).

---

<sup>1</sup>Informação concedida por Renato Vambommel, em setembro de 2017

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou uma análise sob as perspectivas técnica e econômica para a implementação de um sistema microgerador solar fotovoltaico distribuído. O sistema desta proposta tem por finalidade abater os gastos com energia elétrica em uma propriedade rural composta por três aviários de aves de corte localizado em Águas Mornas, no Estado de Santa Catarina.

Nos últimos anos, notou-se um forte desenvolvimento da atividade avícola no sul do Brasil. Idem na cidade de Águas Mornas que, juntamente a produção de hortaliças, adotou a avicultura como forma de garantir o sustento de muitas famílias. O impacto desta atividade reflete diretamente na redução do êxodo rural, na geração de empregos e na distribuição de renda. Salienta-se que este modelo de produção coexiste em todo o Estado de Santa Catarina, garantindo a liderança do estado como exportador de carne de frango do Brasil. À vista disso, a redução de gastos com energia elétrica é necessária para maximizar os lucros do produtor.

Após a visita in loco nos aviários, foram levantadas todas as informações pertinentes e que influenciam na geração de energia elétrica. Com base nestes parâmetros, criou-se uma planilha capaz de calcular todas as informações pertinentes à geração fotovoltaica, dentre elas, a capacidade de geração, todos os parâmetros relativos à análise técnica de um projeto, assim como um estudo econômico que visa demonstrar a viabilidade do investimento. Para a propriedade rural em questão, há a necessidade de uma unidade geradora fotovoltaica com 22,1 kWp de potência instalada, sendo capaz de produzir 29,15 MWh/ano. O conjunto gerador requer 68 módulos fotovoltaicos de 325 Wp e um inversor de tensão de 20 kW.

A elaboração dos projetos deve observar normas e especificações técnicas dos componentes do gerador solar fotovoltaico. Desse modo, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de assegurar o funcionamento correto dos equipamentos sem sobrecargas, além do uso dos mecanismos de proteção necessários para precaução de acidentes e surtos. A divisão das *strings* de módulos fotovoltaicos levou em conta o efeito da temperatura ambiente, sabido que esta característica influencia diretamente a corrente e a tensão dos painéis. Os módulos fotovoltaicos foram divididos em quatro *strings* de 17 módulos, alcançando na *string* a tensão de circuito aberto máxima ( $V_{OC_{max}}$ ) de 720,80V, sob a temperatura mínima local de 0°C e radiação solar máxima de 800W/m<sup>2</sup>,

sendo esta tensão menor que a máxima permitida na entrada do inversor especificado. Em adição à descrição técnica e aplicações das normas, junto ao Apêndice deste trabalho, os diagramas unifilar, multifilar e de arranjos permitem uma visualização de como cada parte estará conectada, demonstrando em detalhes a topologia dos circuitos de entrada aos aviários. Do mesmo modo, foram detalhadas as chaves seccionadoras, DPSs, disjuntores termo-magnéticos, fusíveis e o sistema de aterramento separado do já existente no padrão de entrada de energia.

Com relação a viabilidade econômica, adotou-se uma análise baseada em quantificar o tempo em que este investimento será saldado. Avaliou-se de forma temporal de riscos (*Payback*), o ajuste dos valores arrecadados no futuro apresentados em valores presentes através de uma taxa indexada pelo rendimento da poupança (VPL) e o retorno que o investimento trará no término de um prazo de 25 anos (ROI). Os resultados são satisfatórios, pois é notória a viabilidade deste investimento com ressalvas a médio prazo.

Partindo de um investimento inicial de R\$ 83.832,04, o estudo do *payback* indica que será resgatado no início do 6º ano de operação. O VPL é positivo a partir do 15º ano (considerando taxa de atratividade de 7,31% a.a.). Embora o VPL seja maior que zero, ele mostra que este investimento é vantajoso a médio e longo prazos. Por fim, o retorno sobre o investimento, mostra que, ao término de 25 anos, este sistema irá retornar ao investidor um total de R\$583.442,53, aproximadamente 5 vezes o montante aplicado, além de manter o sistema gerador operando normalmente. Ressalta-se que os valores apresentados levam em consideração os custos adicionais referentes à manutenção do sistema e desprezam ganhos indiretos, como a valorização do imóvel e ganhos sócio-ambientais.

Não somente o investidor estará se beneficiando do gerador solar fotovoltaico, como também, sob o ponto de vista macro, o sistema interligado nacional toma vantagens, pois haverá redução de perdas devido à transmissão, redução de áreas exclusivas à produção energética e auxílio na redução dos picos de energia diurnos. Se forem considerados os benefícios ambientais e da sustentabilidade, a energia gerada através de painéis solares é proveniente de uma fonte limpa e inesgotável, de baixas manutenção, ocupação, degradação visual e isenta de geração de ruídos. O estudo de caso abrange um município com 24 granjas de mesmo padrão, as quais consomem juntas um total de aproximadamente 230016 kWh/ano. Caso todos os aviários adotassem a geração solar fotovoltaica, a economia gerada seria suficiente para

fornecer energia elétrica a 64 residências com consumo médio de 300 kWh/mês.

Além de estar corroborando com o objetivo geral - analisar um estudo de caso e suas singularidades, este trabalho almeja servir de referencial teórico para que novos projetos deste gênero possam ser desenvolvidos.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Os nichos de pesquisa deste tema são variados, podendo abranger várias linhas de estudo na área ambiental, econômica e engenharia sendo esta capaz de englobar aspectos de engenharia mecânica, elétrica, conceitos de química, entre outras ciências e tecnologias. Sugere-se:

- Desenvolvimento de um sistema baseado em inteligência artificial capaz de auxiliar o usuário a desenvolver a solução técnica de sistemas geradores fotovoltaicos, ajustando as escolhas até a decisão que melhor se aproxima ao compromisso entre custo e benefício;
- Análise do efeito dos sistemas fotovoltaicos sobre uma linha de transmissão, cujas unidades consumidores possuam sistemas geradores fotovoltaicos: analisar a influência das harmônicas criadas por inversores; acréscimos ou decréscimos em perdas; como se comporta o fluxo de potência na rede elétrica; e de que forma estes sistemas geradores contribuem para a redução dos picos diurnos.
- Sugere-se a criação de uma interface que seja capaz de processar entrada de dados, tais como: potência do gerador fotovoltaico; banco de dados com os materiais utilizados; precificação dos materiais; entre outros, e que automatize uma saída de dados na qual seja possível gerar documentos básicos, por exemplo, diagrama unifilar, blocos, interconexão de módulos, assim como um memorial descritivo prévio e relatórios de análise de viabilidade econômica.

## 5.2 TRABALHOS CORRELATOS

Com a ascensão da temática energia solar fotovoltaica juntamente com sustentabilidade, inúmeros trabalhos em diferentes áreas tem sido criados de modo a explorar este tema. Deste modo, destacam-se os trabalhos por ordem cronológica.

Santos (1997) trás um estudo sobre a análise de sistemas fotovoltaicos voltados à geração de energia. No entanto, por se tratar de uma fonte de pesquisa baseada há duas décadas atrás, é possível comparar a evolução dos processos tecnológicos e normativos com a atualidade.

Na sequência, Montenegro (2013), em sua dissertação, aprofunda-se no âmbito econômico do investimento em sistemas fotovoltaicos aplicados a residências, a qual serviu principalmente de base no entendimento financeiro deste trabalho.

O autor Baldin (2013) descreve em seu trabalho a geração de energia em aviários através de biodigestores, abrange de forma geral temas relacionados à transformação de energia da biomassa e discrimina o perfil energético de um aviário de frangos de corte, assim como faz uma breve análise econômica a partir de dados de produção de energia gerada e consumida.

## REFERÊNCIAS

ABREU, P. F. S. P. de; STEPHAN, C. *Análise de Investimentos*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1982. ISBN 85-7001-099-0.

ABSOLAR. *A Energia que Cresce*. 2017.  
<<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/a-energia-que-cresce.html>>. Acessado em 18/05/2017.

ANEEL. *Resolução Normativa N<sup>o</sup> 482, de 17 de abril de 2012*. [S.l.], abr. 2012. <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>.

ANEEL. *Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica*. 2. ed. Brasília, DF, maio 2016.

BALDIN, V. *Geração de energia na avicultura de corte a partir da cama de aviário*. Dissertação (Mestrado) — UTFPR, Pato Branco, 2013.

BROM, L. G.; BALIAN, J. E. A. *Análise de Investimentos e Capital de Giro. Conceitos e Aplicações*. [S.l.]: Saraiva, 2007. ISBN 9788502060128.

CANADIAN SOLAR INC. *Ficha Técnica: CS6U-315/320/325/330P*. San Ramon, CA, EUA, jul. 2016.  
<<http://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto33151IdArquivo5162.pdf>>. Acessado em 30/08/2017.

CANADIAN SOLAR INC. *Limited warranty statement photovoltaic module products*. ago. 2017.  
<[https://www.canadiansolar.com/downloads/warranties/en/Canadian\\_Solar-PV\\_Module\\_Warranty-en.pdf](https://www.canadiansolar.com/downloads/warranties/en/Canadian_Solar-PV_Module_Warranty-en.pdf)>. Acessado em 16/10/2017.

CERATTO, V. *Custo da energia para os avicultores*. Junho 2015. <<http://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/custo-da-energia-para-os-avicultores-12-dicas-praticas-de-economia-por-valmor/20150622-124444-V961>>. Acessado em 24/04/2017.

CIDASC. *Boletim Agropecuário traz panorama da produção de carnes em Santa Catarina*. 2016.  
<<http://www.cidasc.sc.gov.br/blog/2017/03/24/boletim-agropecuário-traz-panorama-da-produção-de-carnes-em-santa-catarina/>>. Acessado em 24/04/2017.

COBB. *Desenvolvimento ótimo de frangos de corte: Um guia prático para assegurar o desempenho inicial correto de frangos de corte*. nov. 2013. <[http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/055769bb-6a4b-41b7-822e-44a32b85c629\\_pt.pdf](http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/055769bb-6a4b-41b7-822e-44a32b85c629_pt.pdf)>. Acessado em 16/08/2017.

CORDEIRO, M. *O que é ROI? Descubra se seus investimentos estão valendo a pena*. 2014. <<http://www.marketingdeconteudo.com/roi/>>. Acessado em 24/07/2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Relatório de Síntese Ano Base 2015*. Rio de Janeiro, jun. 2016. <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorio Sintese.aspx?anoColeta=2016anoFimColeta=2015>>. Acessado em 24/04/2017.

FECOERUSC. *FECO-G-03 Requisitos Conexão Mini Micro Geradores Sistema Distribuição Energia*. Içara, SC, nov. 2013. <<http://www.cerej.com.br/wp-content/uploads/Requisitos-Mini-Micro-geradoras-acesso-Distribuicao-CEREJ.pdf>>.

FIESC. *Santa Catarina em Dados - 2015*. 2015. <[http://fiesc.com.br/sites/default/files/medias/sc\\_em\\_dados\\_site\\_correto.pdf](http://fiesc.com.br/sites/default/files/medias/sc_em_dados_site_correto.pdf)>. Acessado em 11/05/2017.

KASSAI, J. R. et al. *Retorno de Investimento: Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000. ISBN 85-224-2551-5.

MANI, M.; PILLAI, R. Impact of dust on solar photovoltaic (pv) performance: Research status, challenges and recommendations. *Elsevier*, v. 14, p. 3124–3131, 2010.

MEHLERI, E. et al. Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays. *Elsevier*, v. 35, p. 2468–2475, nov. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Energia solar fotovoltaica cresceu quase 30% no mundo em 2014*. Dezembro 2015. <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-solar-fotovoltaica-cresceu-quase-30-no-mundo-em-2014](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-solar-fotovoltaica-cresceu-quase-30-no-mundo-em-2014)>. Acessado em 26/04/2017.

MONTENEGRO, A. de A. *Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil*. Dissertação (mathesis) — UFSC, Florianópolis, SC, 2013.



PEREIRA, E. B. et al. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. [S.l.], 2006. <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>. Acessado em 10/05/2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, mar. 2014.

RüTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos : o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. [S.l.]: LABSOLAR, 2004. ISBN 85-87583-04-2.

SALAMONI, I. T.; RUTHER, R. *Um programa residencial de telhados solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92659/270188.pdf>>.

SANTOS, C. B. dos. *Análise de Sistemas Fotovoltaicos para Geração de Energia Solar*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, set. 1997.

SUNDARAM, S.; SHEEBA, K. N.; BABU, J. S. C. Grid connected photovoltaic systems: challenges and control solutions - a potential review. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, v. 4, n. 6, p. 463–473, dez. 2016. ISSN 2315-4462. <<http://www.ijeee.net/uploadfile/2016/1224/20161224044342783.pdf>>. Acessado em 19/10/2017.

TIPI 2017 - Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados. 12 2016. <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2016/Decreto/Anexo/AND8950.pdf](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Decreto/Anexo/AND8950.pdf)>.

TOLMASQUIN, M. T. *Fontes Renováveis de Energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. ISBN 85-7193-095-3.

TORRETTA, M. *Fatores que afetam a conversão alimentar em frangos de corte*. jan. 2017. <<http://www.agroceresmultimix.com.br/blog/fatores-que-afetam-conversao-alimentar-em-frangos-de-corte/>>. Acessado em 10/08/2017.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações*. 1. ed.. ed. São Paulo: Érica, 2012. ISBN 978-85-365-0416-2.

WENHAM, S. R. et al. *Applied Photovoltaics*. [S.l.]: Earthscan, 2006. ISBN 1844074013.

WERNKE, R. *Gestão Financeira: Ênfase em Aplicações e Casos Nacionais*. Rio de Janeiro: Saraiva, 2008. ISBN 9788502067660.

**APÊNDICE A - Planilha de Cálculo da Análise Técnica e  
Econômica de Sistemas Microgeradores Distribuídos**



# CALCULADORA DE PARÂMETROS - MICROGERAÇÃO SOLAR DISTRIBUIDA

## DADOS DE ENTRADA

### INFORMAÇÕES GERAIS - OBRIGATÓRIO

	Local	
	Área do Telhado [m <sup>2</sup> ]	1450
	Consumo Médio [kWh/mês]	2396
	Cidade	Águas Mornas
	Percentual De Abatimento	100%
	Mod Fv	
	Fabricante de Módulo Fotov.	Canadian
	Potência [Wp]	325
	Código do Produto	Canadian325
	Inversor	
	Fabricante de Inversor	Fronius
	Potência [Wp]	20
	Código do Produto	Fronius20
	Economia	
	Taxa de Atratividade Desejada	7,31%
	Taxa de Inflação (IPCA médio)	6,22%
	Preço Energia c/ Imp. [R\$/kWh]	0,42
	Estimativa do Investimento [R\$]	83.832,04

### CONSUMO MENSAL [kWh] - OPCIONAL

	Consumo Médio de Energia Mensal	
	Janeiro	1598
	Fevereiro	6286
	Março	1217
	Abril	2987
	Maior	2021
	Junho	1486
	Julho	2381
	Agosto	2074
	Setembro	2023
	Outubro	1711
	Novembro	1595
	Dezembro	3375

### LEGENDA

Preencher	
Automático	
Constantes	

## CALCULADORA PV (Versão Beta)

### Micro-geração Solar Distribuída:

#### Estudo de Caso Técnico e Econômico para Aviários em Águas Mornas

Acadêmico: Eduardo Steffens - 11202837

Orientador: Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, PhD.

Sobre

Esta planilha é componente do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, desenvolvida pelo graduando Eduardo Steffens. Foi desenvolvida com o intuito de auxiliar nos cálculos referentes a projetos elétricos voltados ao planejamento de sistemas de micro-geração distribuída fotovoltaica. Sua utilização é limitada a sistemas de 31,2 kWp (aprox. 96 módulos fotovoltaicos de 325 Wp). Por ser uma versão de testes, os resultados devem ser analisados criteriosamente por uma pessoa habilitada. É permitido alterar as variáveis marcadas e adicionar dados solarimétricos e de equipamentos desejados.

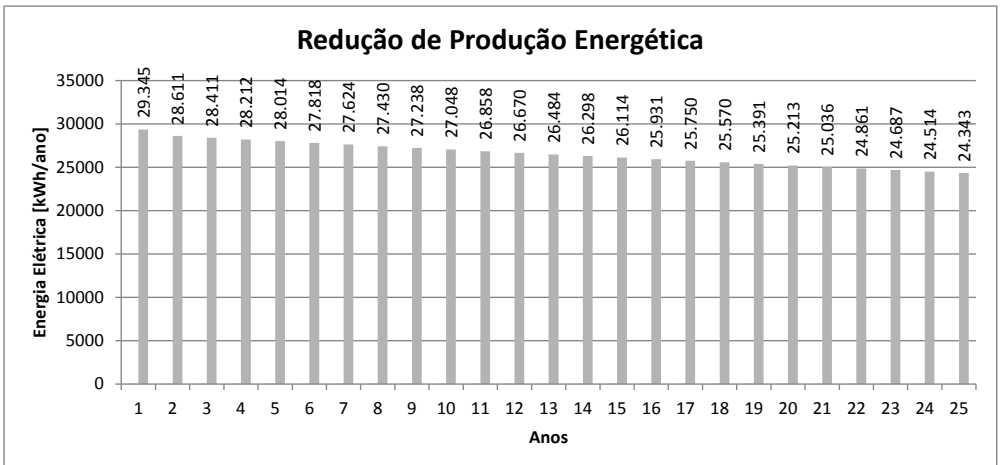
É autorizada a reprodução total ou parcial do trabalho com a autorização do autor.

## ANÁLISE TÉCNICA - RESULTADOS

ANÁLISE TÉCNICA		
Geral	Potência Instalada	22,1 kW
	Área Ocupada	132,19 m <sup>2</sup>
	Área Suficiente	SIM
	Geração Méd. Mensal	2445 kWh/mês
	Geração Total Anual	29345 kWh/ano
Técnico - String	Qtde Módulos Fv.	68 unidades
	Voc(T <sub>FVmax</sub> )	42,86 V/string
	N <sub>FVmax</sub>	23 unidades
	Voc(T <sub>FVmin</sub> )	40,98 V/string
	N <sub>FVmin</sub>	4 unidades
Técnico - String Box	Qtde. de Strings	4 strings
	Qtde PV por String	17 unidades
	P <sub>max</sub>	5525 W/string
	I <sub>MPtotal</sub>	35,12 A
	I <sub>ScTotal</sub>	37,36 A
Tec. - Caixa CA	V <sub>OCmax</sub>	728,57 V
	V <sub>MPPTtotal</sub>	629,00 V
	P <sub>total</sub>	22100 W
	Qtde. de Entradas	4 entradas
	Qtde. de Saídas	1 saídas
Tec. - Condutor	DPS CC	Classe II 40kA 1000V
	Chave Seccionadora	40 A
	I <sub>ACmax</sub>	32 A
	Tipo Conexão	3-NPE
	Tensão Trifásica	380 V
Tec. - Caixa CA	Disjuntor	40 A
	DPS CA	Classe II 40kA 460V
	Bitola Cond DC	2,5 mm <sup>2</sup>
	Isolação Min DC	750 V
	Bit. Eletroduto DC	1/2 pol.
Tec. - Condutor	Bitola Cond AC	6 mm <sup>2</sup>
	Isolação Min AC	400 V
	Bit. Eletroduto AC	1 pol.

DETALHAMENTO DE PERDAS ANUAIS			
Descrição das Perdas	Valor	Total após Perdas	
IRRAD. ANUAL DISPONÍVEL	100%	1645	kWh/m <sup>2</sup>
IRRAD. COLETADA x ÁREA	100%	217407	kWh
Eficiência do Módulo FV	16,72%	36350	kWh
Perda Inclinação/Posição	2,50%	35442	kWh
Perda por Sujeira/Poeira	3,00%	34378	kWh
Perda Temp. no Mód. FV	7,00%	31972	kWh
Perda LID	2,50%	31173	kWh
Perdas Ohmicas DC	1,00%	30861	kWh
ENERGIA ENTRADA INV.	15,01%	30861	kWh
Perda Mismatch	1,00%	30552	kWh
Perda Eficiência do Inv.	2,00%	29941	kWh
Perda Outros	0,00%	29941	kWh
ENERGIA SAÍDA INVERSOR	14,56%	29941	kWh
Perdas Ohmicas AC	0,50%	29792	kWh
Perdas Indispon. do Sist.	1,50%	29345	kWh
ENERGIA FINAL ENTREGUE	14,27%	29345	kWh

DEGRADAÇÃO MÓDULO			
Evento	Idade [Ano]	Produção [kWh]	Perdas
Início da Operação	0	29345	0%
Tempo do Payback	6	27818	95%
Fim Garantia Linear do Mód.	25	24.343	83%

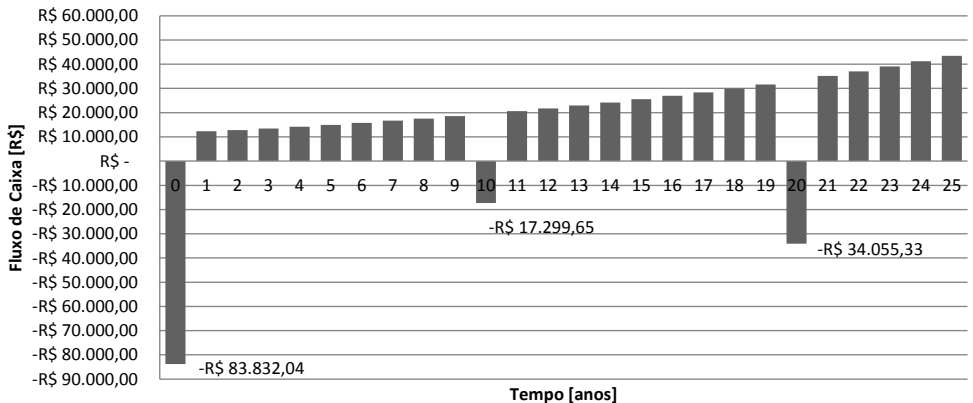


## ANÁLISE TÉCNICA - RESULTADOS

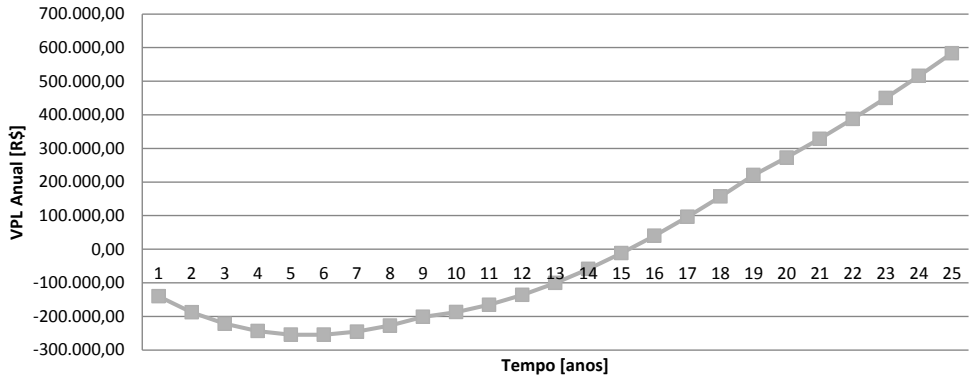
## ANÁLISE ECONÔMICA

Ano	Energia [kWh]	Preço Energia	Fluxo de Caixa Bruto	Manutenção (Saídas)	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado	VPL Anual	ROI Anual
0			-R\$ 83.832,04		-R\$ 83.832,04	-R\$ 83.832,04		-100%
1	29.345	R\$ 0,42	R\$ 12.324,80		R\$ 12.324,80	-R\$ 71.507,24	-R\$ 140.218,23	-85%
2	28.611	R\$ 0,45	R\$ 12.764,11		R\$ 12.764,11	-R\$ 58.743,13	-R\$ 187.755,75	-70%
3	28.411	R\$ 0,47	R\$ 13.463,14		R\$ 13.463,14	-R\$ 45.279,99	-R\$ 221.902,20	-54%
4	28.212	R\$ 0,50	R\$ 14.200,44		R\$ 14.200,44	-R\$ 31.079,55	-R\$ 243.743,26	-37%
5	28.014	R\$ 0,53	R\$ 14.978,12		R\$ 14.978,12	-R\$ 16.101,43	-R\$ 254.287,70	-19%
6	27.818	R\$ 0,57	R\$ 15.798,39		R\$ 15.798,39	-R\$ 303,04	-R\$ 254.472,64	0%
7	27.624	R\$ 0,60	R\$ 16.663,58		R\$ 16.663,58	R\$ 16.360,54	-R\$ 245.168,50	20%
8	27.430	R\$ 0,64	R\$ 17.576,16		R\$ 17.576,16	R\$ 33.936,70	-R\$ 227.183,61	40%
9	27.238	R\$ 0,68	R\$ 18.538,71		R\$ 18.538,71	R\$ 52.475,41	-R\$ 201.268,45	63%
10	27.048	R\$ 0,72	R\$ 19.553,97	R\$ 36.853,63	-R\$ 17.299,65	R\$ 30.448,58	-R\$ 187.255,65	36%
11	26.858	R\$ 0,77	R\$ 20.624,84		R\$ 20.624,84	R\$ 51.073,42	-R\$ 165.352,20	61%
12	26.670	R\$ 0,82	R\$ 21.754,35		R\$ 21.754,35	R\$ 72.827,77	-R\$ 136.246,74	87%
13	26.484	R\$ 0,87	R\$ 22.945,72		R\$ 22.945,72	R\$ 95.773,49	-R\$ 100.578,42	114%
14	26.298	R\$ 0,92	R\$ 24.202,33		R\$ 24.202,33	R\$ 119.975,82	-R\$ 58.940,33	143%
15	26.114	R\$ 0,98	R\$ 25.527,76		R\$ 25.527,76	R\$ 145.503,59	-R\$ 11.882,64	174%
16	25.931	R\$ 1,04	R\$ 26.925,78		R\$ 26.925,78	R\$ 172.429,37	R\$ 40.084,39	206%
17	25.750	R\$ 1,10	R\$ 28.400,36		R\$ 28.400,36	R\$ 200.829,73	R\$ 96.487,69	240%
18	25.570	R\$ 1,17	R\$ 29.955,70		R\$ 29.955,70	R\$ 230.785,42	R\$ 156.888,77	275%
19	25.391	R\$ 1,24	R\$ 31.596,21		R\$ 31.596,21	R\$ 262.381,63	R\$ 220.881,33	313%
20	25.213	R\$ 1,32	R\$ 33.326,56	R\$ 67.381,89	-R\$ 34.055,33	R\$ 228.326,30	R\$ 272.774,70	272%
21	25.036	R\$ 1,40	R\$ 35.151,68		R\$ 35.151,68	R\$ 263.477,97	R\$ 328.578,02	314%
22	24.861	R\$ 1,49	R\$ 37.076,74		R\$ 37.076,74	R\$ 300.554,72	R\$ 387.897,73	359%
23	24.687	R\$ 1,58	R\$ 39.107,24		R\$ 39.107,24	R\$ 339.661,95	R\$ 450.369,28	405%
24	24.514	R\$ 1,68	R\$ 41.248,93		R\$ 41.248,93	R\$ 380.910,88	R\$ 515.655,04	454%
25	24.343	R\$ 1,79	R\$ 43.507,91		R\$ 43.507,91	R\$ 424.418,79	R\$ 583.442,53	506%
<b>PAYBACK</b>			<b>VPL - 25 anos</b>		<b>ROI - 25 anos</b>		<b>Viável?</b>	
R\$	-303,04		R\$	583.442,53	506%		SIM	
6	anos							

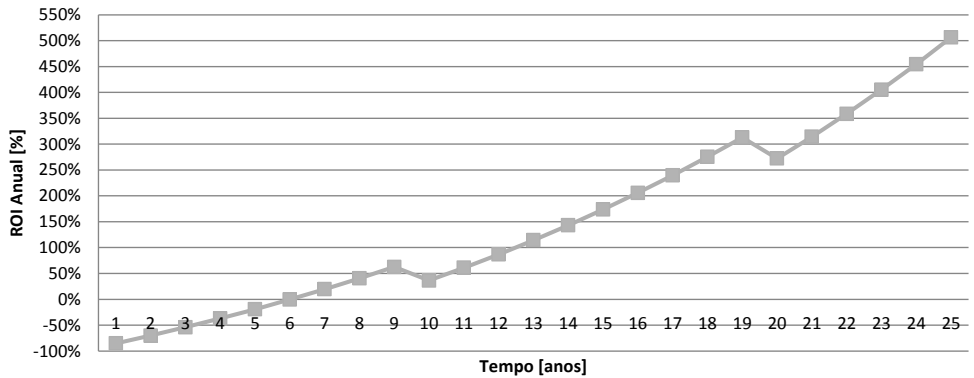
## Fluxo de Caixa - Período 25 anos



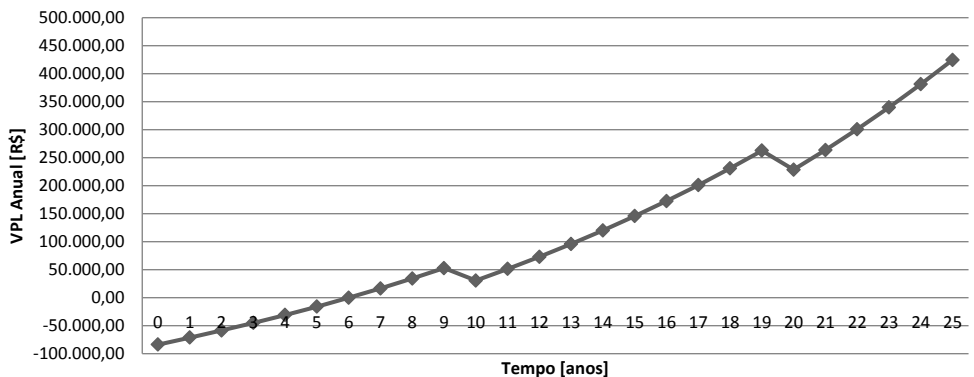
## Análise Valor Presente Líquido Anual



## Análise Retorno sobre Investimento Anual



## Análise Fluxo de Caixa Acumulado - Payback

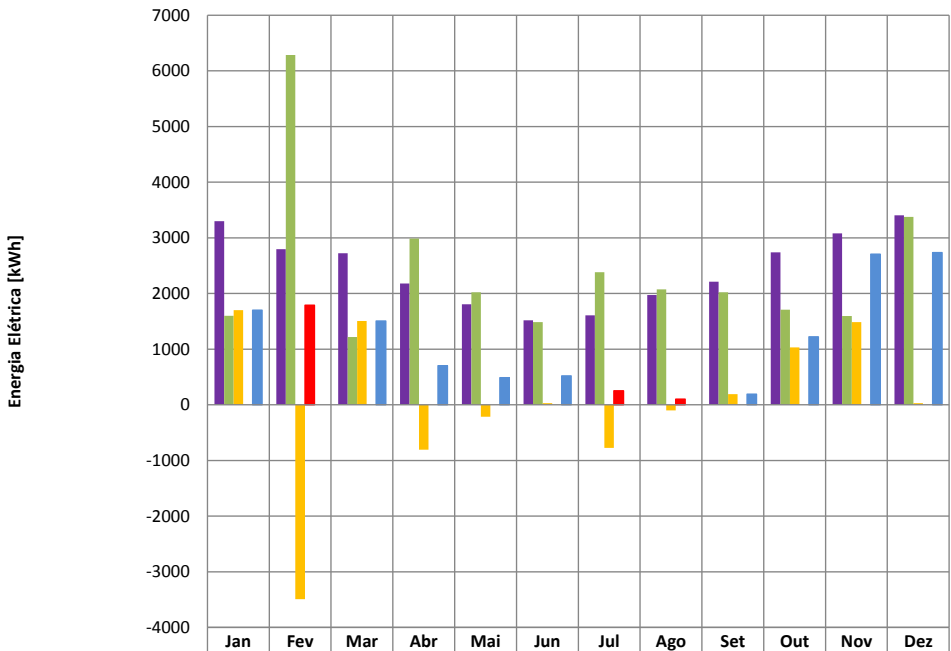




**SISTEMA DE COMPENSAÇÃO 1º ANO DE OPERAÇÃO [kWh]**

Mês	Quantidade Dias	Total Gerado	Contribuição Anual	Consumo [kWh]	Cálculo Compensação	Fatura Compensada	Saldo Compensação
Jan	31	3300	11,24%	1598	1702	0	1702
Fev	28	2796	9,53%	6286	-3490	1789	0
Mar	31	2724	9,28%	1217	1507	0	1507
Abr	30	2182	7,43%	2987	-805	0	702
Mai	31	1806	6,16%	2021	-215	0	487
Jun	30	1518	5,17%	1486	32	0	519
Jul	31	1607	5,48%	2381	-774	255	0
Ago	31	1972	6,72%	2074	-102	102	0
Set	30	2214	7,54%	2023	191	0	191
Out	31	2741	9,34%	1711	1030	0	1221
Nov	30	3081	10,50%	1595	1486	0	2707
Dez	31	3405	11,60%	3375	30	0	2736
<b>TOTAL</b>		29345		28754	Dif. Gerado e Consumo	Fatura a Pagar	Saldo Disponível
<b>MÉDIA</b>		2445	100,00%	2396			

### Sistema de Compensação - 1º Ano de Operação



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Total Gerado [kWh]</b>	3300	2796	2724	2182	1806	1518	1607	1972	2214	2741	3081	3405
<b>Consumo [kWh]</b>	1598	6286	1217	2987	2021	1486	2381	2074	2023	1711	1595	3375
<b>Cálculo Compensação</b>	1702	-3490	1507	-805	-215	32	-774	-102	191	1030	1486	30
<b>Fatura Compensada</b>	0	1789	0	0	0	0	255	102	0	0	0	0
<b>Saldo Compensação</b>	1702	0	1507	702	487	519	0	0	191	1221	2707	2736

**ANÁLISE TÉCNICA - PLANILHA DE APOIO PARA CÁLCULOS**

VARIÁVEIS DE PERDAS - EDITAR SOMENTE SE NECESSÁRIO (Fonte: PVsyst)					CONSTANTES		
Externas			Módulos Fotovoltaicos		PERDAS TOTAIS	$G_{NOCT}$	$T_{NOCT}$
Sujeira	Posição	Indispon.	Temper.	LID		800	20
3,0%	2,5%	1,5%	7,0%	2,5%		$W/m^2$	$^{\circ}C$
Inversor			Ohmicas nos Fios		19,3%	$W_{NOCT}$	$G_{FVNOCT}$
Mismatch	Eficiencia	Outros	DC	AC		1,00	1000
1,0%	2,0%	0,0%	1,0%	0,5%		m/s	$W/m^2$

SISTEMA - POTÊNCIA							
Consumo Médio Mensal	Irradiação Global Média Dia	Potência Gerador	Potência Gerador Eficiencia	Qtde Módulos Fotovoltaicos	Potência Instalada Final	Potência Inversor	FDI
2396 kWh/mês	4,51 $W/m^2/dia$	17,73 kW	21,96 kW	68 unid.	22,1 kW	20,0 kW	0,90 OK

DEFINE ÁREA	
Área Ocup.	Situação
132,19 $m^2$	Area Suficiente

DEFINE ENERGIA GERADA	
Ener. Gerada	Prod Med. Mês
29341 kWh/ano	2445 kWh/mês

DEFINE STRING						
$T_{FVmax}$	$T_{FVmin}$	$V(T_{FVmax})$	$V(T_{FVmin})$	$N_{FVmax}$	$N_{FVmin}$	
34,71 $^{\circ}C$	68,75 $^{\circ}C$	42,86 V	40,98 V	23 unid.	4 unid.	
Qtde Strings	# PV/String	$I_{MPmax}$	$I_{SCmax}$	$V_{MPmax} = V_{MPPT}$	$V_{OCmax}$	$P_{max}$
4 strings	17 unid.	8,78 A/string	9,34 A/string	629,00 V/string	728,57 V/string	5525 W/string

DEFINE STRING BOX						
$P_{total}$	$V_{MPPTtotal}$	$V_{OCtotal}$	$I_{MPtotal}$	$I_{SCtotal}$	Entradas	Saídas
22100 W	629,00 V	728,57 V	35,12 A	37,36 A	4	1

DEFINE CAIXA CA		
$I_{ACmax}$	Conexão	Tensão Trif
32 A	3-NPE	380 V

DEFINE CONDUTORES	
$I_{DCmax}$	$I_{ACmax}$
9,34 A	32 A
Isol. AC	Isol DC
400 V	750 V
Bit. Cond DC	Bit. Cond AC
2,5 $mm^2$	6 $mm^2$
Bit. Eletr. AC	Bit. Eletr. DC
1 pol.	1/2 pol.

Tabela de Apoio - Define Strings				
PV total	Qtde strings	PV/string	Decisor	Escolha
68	10	6,80	Impossível	17
68	9	7,56	Impossível	
68	8	8,50	Impossível	
68	7	9,71	Impossível	
68	6	11,33	Impossível	
68	5	13,60	Impossível	
68	4	17,00	17	
68	3	22,67	Impossível	
68	2	34,00	Impossível	
68	1	68,00	Impossível	





**BASE DE DADOS - MATERIAIS DIVERSOS**

**CONDUTORES (Método de Instalação B1)**

2 cond. Carregado - XLPE		3 cond. Carregado - PVC	
Corrente [A]	Bitola [mm <sup>2</sup> ]	Corrente [A]	Bitola [mm <sup>2</sup> ]
31	2,5	21	2,5
42	4	28	4
54	6	36	6
		50	10
		68	16
		89	25
<b>Aplicação</b>	CC	<b>Aplicação</b>	CA
<b>Isolação</b>	750	<b>Isolação</b>	400

**VALORES COM. DE DISJ./SECC.**

Disjuntores	Seccionador
10	10
16	16
20	25
25	32
32	40
40	50
50	63
63	80

**ELETRODUTOS**

Bitola Fios	Bitola Eletrodutos	
	2 Condutores	3 Condutores
1,5	1/2	1/2
2,5	1/2	1/2
4	3/4	3/4
6	3/4	1
10	1/2	1

**DPS CC**

Tensão	DPS
150	Classe II 40kA 150V
300	Classe II 40kA 300V
600	Classe II 40kA 600V
1000	Classe II 40kA 1000V
Fonte Clamper	

**DPS CA**

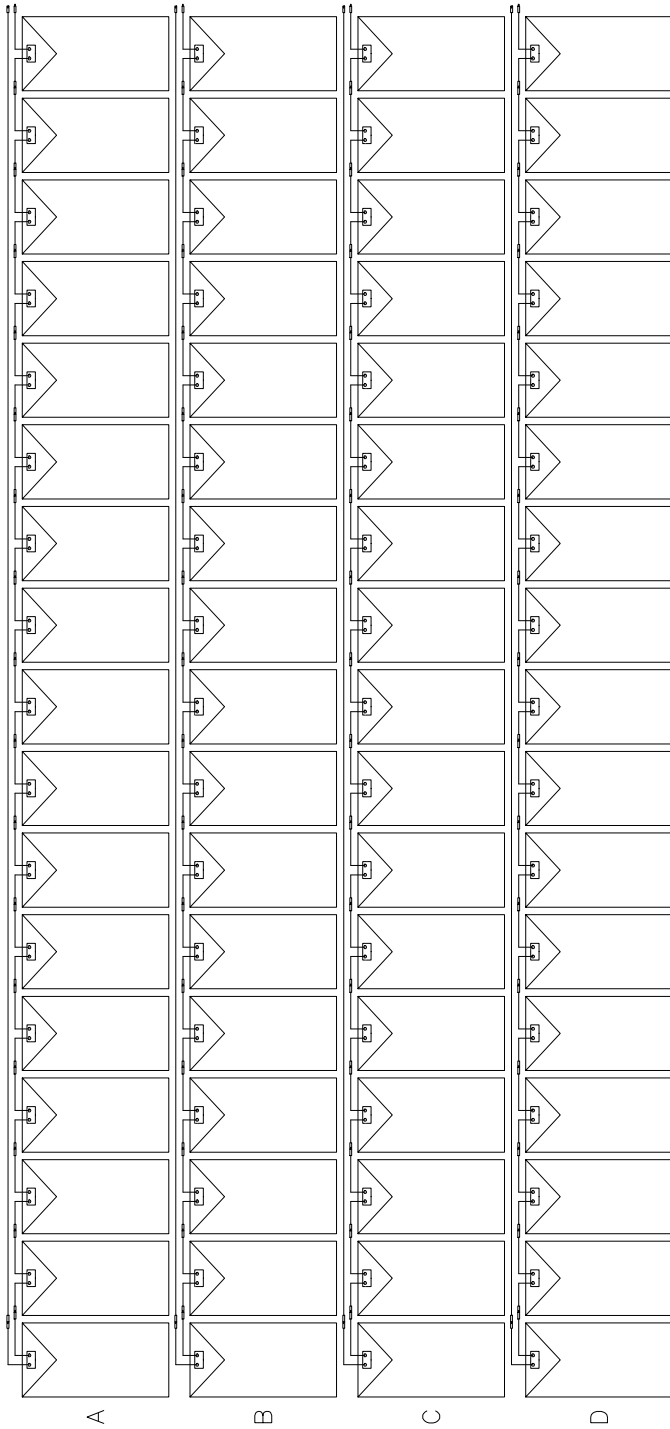
Tensão	DPS
275	Classe II 40kA 275V
320	Classe II 40kA 320V
385	Classe II 40kA 385V
460	Classe II 40kA 460V
Fonte Clamper	



## APÊNDICE B - Diagrama de Arranjos (*Strings*)

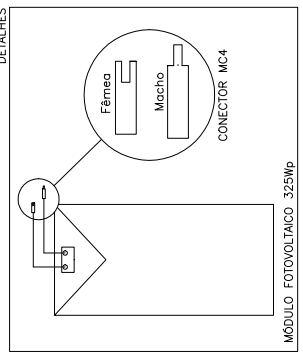






1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

DETALHES



STRING	MÓDULOS	POTÊNCIA STRING
A	17 x 325Wp	5525 Wp
B	17 x 325Wp	5525 Wp
C	17 x 325Wp	5525 Wp
D	17 x 325Wp	5525 Wp
TOTAL	68 x 325Wp	22100 Wp

Consultar detalhes omitidos em:  
 Prancha 02/03 Diag. Unifilar  
 Prancha 03/03 Diag. Multifilar

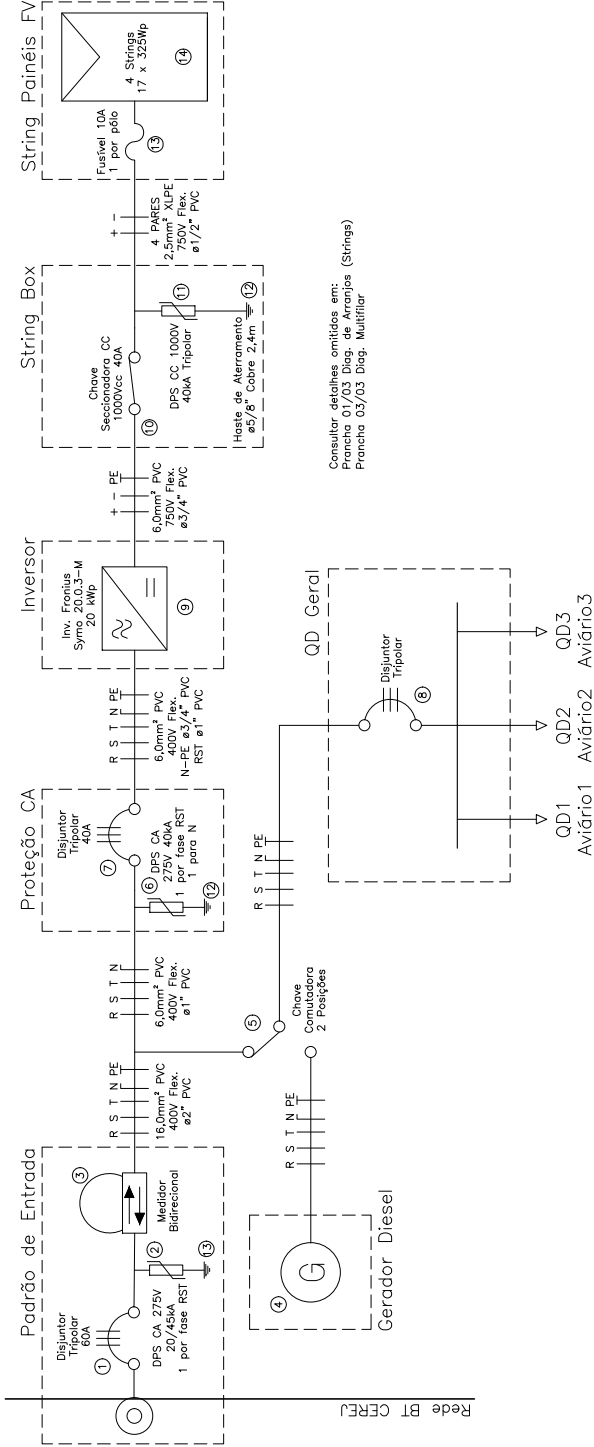
Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica Trabalho de Conclusão de Curso	
Título	SISTEMA GERADOR FOTOVOLTAICO – AMÁRIOS SR. R.V.
Prancha	DIAGRAMA DE ARRANJOS (STRINGS) – INTERLIGAÇÃO DOS MÓDULOS
Autores	01/03
Disciplina	14/09/2017
Professor	EDUARDO STEFFENS

MÓDULO FOTOVOLTAICO 325Wp



## APÊNDICE C – Diagrama Unifilar





Rede BT CEREU

Consultar detalhes omitidos em:  
 Prancha 01/03 Diag. de Arranjos (Strings)  
 Prancha 03/03 Diag. Multifilar

Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica Trabalho de Conclusão de Curso	
SISTEMA GERADOR FOTOVOLTAICO – AVIÁRIOS SR. R.V.	Título
DIAGRAMA UNIFILAR – ACESSO A REDE DE DISTRIBUIÇÃO	Prancha
INFORMAÇÕES	INFORMAÇÕES
Autores	Autores
02/03	02/03
EDUARDO STEFFENS	EDUARDO STEFFENS
14/09/2017	14/09/2017



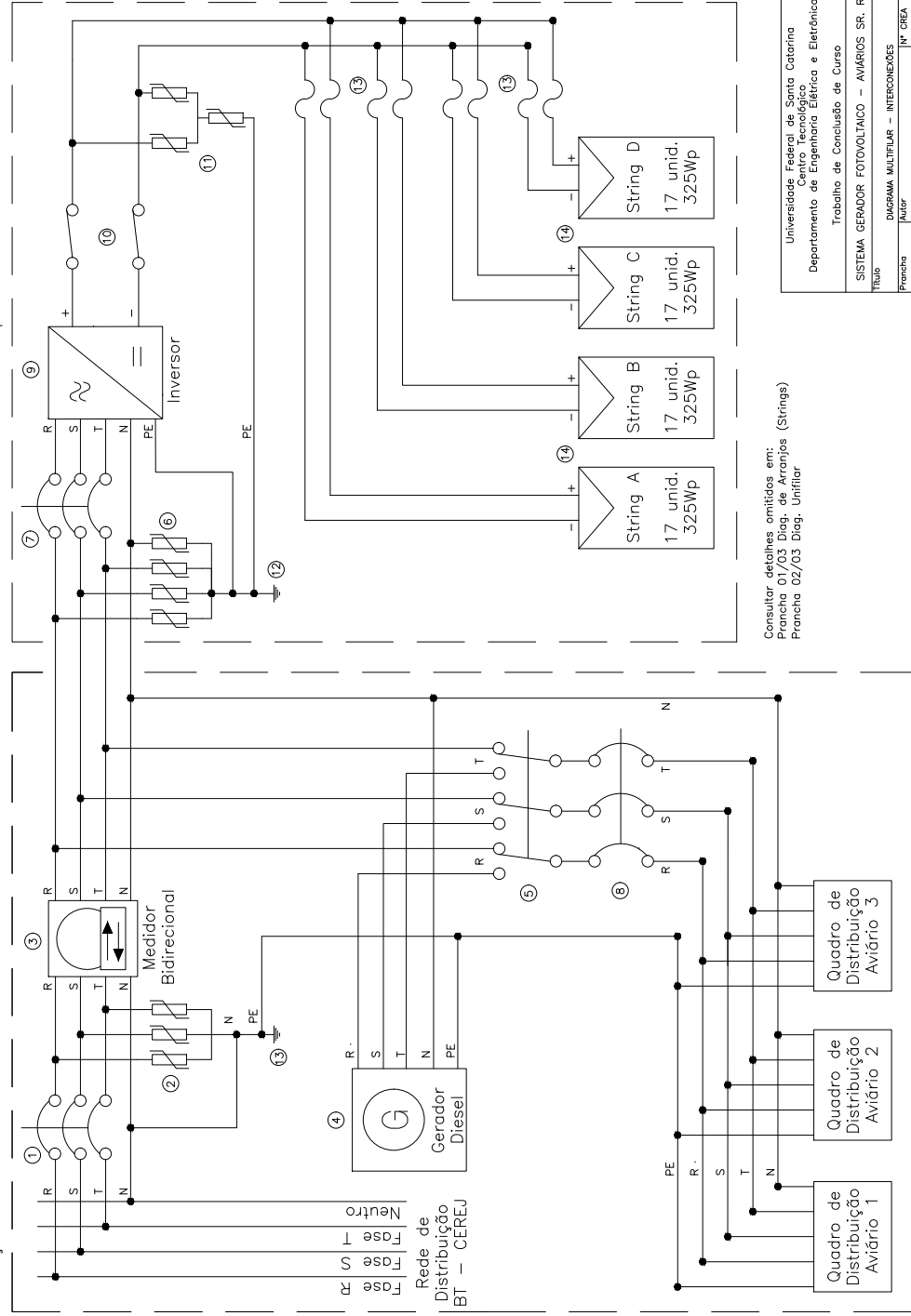
## APÊNDICE D - Diagrama Multifilar





Instalação Elétrica Existente

Gerador Solar Fotovoltaico 22.1 kWp



Consultar detalhes omitidos em:  
 Prancha 03 Diag. de Arranjos (Strings)  
 Prancha 02/03 Diag. Unifilar

Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica Trabalho de Conclusão de Curso	
Título SISTEMA GERADOR FOTOVOLTAICO – AVIÁRIOS SR. R.V.	
Prancha Autor	N.º CREA Inscrição Data
03/03	14/09/2017
EDUARDO STEFFENS	



**ANEXO A - Ficha Técnica Inversor de Tensão 20kW  
Fronius Symo 20.0.3M**



## DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)<sup>1)</sup>

DADOS DE ENTRADA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Max. corrente de entrada ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$ )	27.0 A / 16.5 A		33.0 A / 27.0 A		
Max. corrente do conjunto curto-circuito (MPP <sub>1</sub> /MPP <sub>2-1</sub> )	40.5 A / 24.8 A		49.5 A / 40.5 A		
Min. tensão de entrada ( $U_{dc\ min}$ )			200 V		
Feed-em tensão inicial ( $U_{dc\ start}$ )			200 V		
Tensão nominal de entrada ( $U_{dc,r}$ )			600 V		
Max. tensão de entrada ( $U_{dc\ max}$ )			1,000 V		
MPP voltage range ( $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$ )	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Numero de rastreadores MPP			2		
Numero de ligações CC			3+3		

DADOS DE SAÍDA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Saída nominal AC ( $P_{ac,r}$ )	10,000 W	12,500 W	15,000 W	17,500 W	20,000 W
Max. potência de saída	10,000 VA	12,500 VA	15,000 VA	17,500 VA	20,000 VA
Max. corrente de saída ( $I_{ac\ max}$ )	20 A		32 A		
Grid conexão ( $U_{ac,r}$ )	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V				
Min. Tensão de saída ( $U_{ac\ min}$ )	150 V				
Max. Tensão de saída ( $U_{ac\ max}$ )	275 V				
Frequência ( $f_s$ )	50 Hz / 60 Hz				
Faixa de Frequência ( $f_{min} - f_{max}$ )	45 - 65 Hz				
Fator de distorção	< 2 %				
Fator de potência ( $\cos\ \phi_{ac,r}$ )	0 - 1 ind. / cap.				

DADOS GERAIS	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensões (altura x largura x profundidade)	725 x 510 x 225 mm				
Peso	34.7 kg		43.4 kg		
Grado de Proteção	IP 66				
Classe de Proteção	1				
Categoria de sobretensão (DC / AC)	2 / 3				
Consumo Noturno Consumo Noturno	< 1 W				
Conceito retificador	Sem Transformador				
Resfriamento	Resfriamento Refrigeração de ar controlado				
Instalação	Instalação Montagem interna e externa				
Faixa de temperatura ambiente	-25 - +60 °C				
Umidade relativa permitida	0 - 100 %				
Tecnologia de conexão de rede	6x DC+ und 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
Principal tecnologia de conexão	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
Certificados e compliance para modelo básico	VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, CER 06-190, G83/2, VDE AR-N 4105, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-21, ABNT NR 16149				

<sup>1)</sup>Dados preliminares

## DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)<sup>1)</sup>

EFICIÊNCIA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Max. eficiência	97,8 %		98,0 %		
Eficiência Europeia (ηEU)	97,4 %	97,5 %	97,7 %	97,7 %	97,8 %
MPP adaptação eficiente	> 99,9 %				
DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Medição de isolamento CC	Yes				
Comportamento de sobrecarga	Mudança do ponto de operação, limitação da produção				
Disjuntor CC	Yes				
INTERFACES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web / Fronius Solar.web, Fronius Modbus TCP, JSON				
6 entradas ou 4 digital in/out	Interface com receptor de telecomando				
USB (A socket) <sup>2)</sup>	Para entradas USB				
2x RS422 (R)45 socket) <sup>2)</sup>	Fronius Solar.Net, protocolo In terface				
Saída de Sinal <sup>2)</sup>	Gerenciamento de energia (saída de relé livre de potencial)				
Datalogger and Webserver	Integrado				

<sup>1)</sup> Dados preliminares

<sup>2)</sup> Também válido para versão simples

/ Carregadores de Bateria / Tecnologia de Soldagem / Energia Solar

### NÓS TEMOS TRÊS DIVISÕES E UM OBJETIVO: SUPERAR LIMITES.

/ Seja em Carregadores de Bateria, Tecnologia de Soldagem ou na Energia Solar - a nossa missão é claramente definida: ser líder em tecnologia e qualidade. Com aproximadamente 3.000 funcionários em todo o mundo, nós superamos os limites do que é possível, como prova disso temos as mais de 850 patentes ativas. Enquanto os outros se desenvolvem lentamente, nós ultrapassamos barreiras. Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite [www.fronius.com](http://www.fronius.com)



v.02 2012 PB

Filial RS  
R. Inspetor Valdemar F.  
Arruda,  
309, Cinquentenário  
Caxias do Sul  
CEP 95012-640 - RS

Filial SP Interior  
R. Padre Francisco Van  
Der Maas, 12-25  
Jd. Contorno - Bauru  
CEP 17047-020

Filial MG  
Rua LL, 213  
Arvoredo  
Contagem - MG  
CEP. 323113-188  
Tel +55 31 3472-6000

Home Office AM  
+55 92 8249-1415

Filial PR/SC  
Rua John Lennon, 225  
Afonso Pena, São José  
dos Pinhais - PR  
CEP. 83050-380  
Tel +55 41 3283-6217

Fronius do Brasil Comércio  
Indústria e Serviços Ltda

Escritório central  
Av. Dr. Ulysses Guimarães, 3389  
Vila Nogueira, Diadema, SP  
CEP: 09990-080  
Telefone +55 11 3563-3800  
Fax +55 11 3563-3777  
vendas.solar@fronius.com  
www.fronius.com.br

**ANEXO B - Ficha Técnica Módulo Fotovoltaico 325Wp  
Canadian CS6u-325P**







## MAXPOWER CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

A alta qualidade e confiabilidade dos módulos Canadian Solar está assegurada com sua experiência de 15 anos no mercado, oferecendo módulos bem projetados, com um rigoroso control de qualidade dos materiais e um sistema de fabricação automatizado, além de serem 100% testados no método EL.

25  
anos

de garantia de potência de saída linear

10  
anos

de garantia do produto em materiais e mão de obra

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS



Excelente eficiência do módulo de até 16.97 %



Excepcional desempenho em baixa irradiação: 96 %



Alto desempenho em condições PTC de até 92.15 %



Caixa de Junção IP67, resistência de longo prazo ao clima



Carga de neve até 5400 Pa e carga de vento até 2400 Pa

### CERTIFICADOS DO SISTEMA DE GESTÃO\*

ISO 9001:2008 / Sistema de gestão de qualidade

ISO 14001:2004 / Sistemas de gestão ambiental

OHSAS 18001:2007 / Norma Internacional para segurança e saúde ocupacional

### CERTIFICADOS DO PRODUTO\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO / CEC AU

UL 1703 / IEC 61215 desempenho: listado na CEC (US) / FSEC (US Florida)

UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE

Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

IEC 60068-2-68: SGS

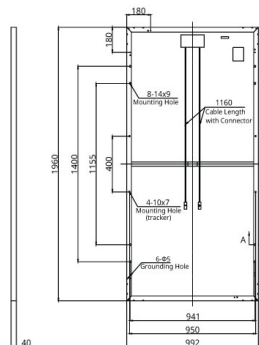


\* As exigências de certificação são diferentes em cada mercado, portanto solicite ao seu representante de vendas local da Canadian Solar os certificados válidos para os produtos na região em que eles serão usados.

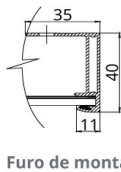
**CANADIAN SOLAR INC.** está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo mundo. Fabricante líder de módulos solares e desenvolvedora de projetos fotovoltaicos, com mais de 20 GW em módulos da mais alta qualidade instalados em todo o mundo desde 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

## MÓDULO / DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)

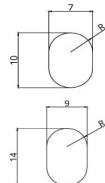
### Vista Traseira



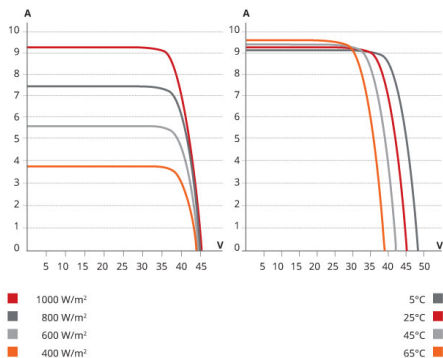
### Seção marco A-A



### Furo de montagem



## CS6U-320P / CURVAS I-V



## DADOS ELÉTRICOS | STC\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Corrente operacional opt. (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Tensão circuito aberto (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Corrente curto-circuito (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Eficiência do módulo	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
Temperatura operacional	-40°C ~ +85°C			
Tensão do sistema máx.	1000 V (IEC) ou 1000 V (UL)			
Proteção contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Class. máx. fusíveis em série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

\* Sob Condições de Teste Padrão (STC) de irradiação de 1000 W/m<sup>2</sup>, espectro AM de 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

## DADOS ELÉTRICOS | NOCT\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmax)	231 W	235 W	239 W	242 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	33.7 V	33.9 V	34.0 V	34.2 V
Corrente operacional opt. (Imp)	6.87 A	6.94 A	7.01 A	7.08 A
Tensão circuito aberto (Voc)	42.0 V	42.2 V	42.4 V	42.5 V
Corrente curto-circuito (Isc)	7.41 A	7.48 A	7.54 A	7.63 A

\* Sob Temperatura Operacional Nominal Célula (NOCT), irradiação de 800 W/m<sup>2</sup>, espectro AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C, velocidade do vento 1 m/s.

## DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, média de eficiência relativa de 96.0 % a partir de uma irradiação de 1000 W/m<sup>2</sup> a 200 W/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25°C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-las. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

## DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo célula	Policristalina, 6 polegadas
Configuração cél.	72 (6×12)
Dimensões	1960×992×40 mm (77.2×39.1×1.57 in)
Peso	22.4 kg (49.4 lbs)
Vidro dianteiro	Vidro temperado de 3.2 mm
Material do marco	Alumínio anodizado
J-Box	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm <sup>2</sup> (IEC) ou 4 mm <sup>2</sup> & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Conectores	T4 series ou PV2 series
Por Pallet	26 peças, 635 kg (1400 lbs)
Por Container (40' HQ)	624 peças

## CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificações	Dados
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0.41 % / °C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.31 % / °C
Coefficiente de temperatura (Isc)	0.053 % / °C
Temp. operacional nominal da célula	43±2 °C

## SEÇÃO DO PARCEIRO

