

Clesio Tiago Alves da Silva

**DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM
ÁREAS DE PASSIVO AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO NA
REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli

Coorientador: Prof. Msc. William de Oliveira Sant Ana.

Araranguá
2018

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

Silva, Clesio Tiago Alves da
Desenvolvimento de indicadores de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em áreas de passivo ambiental: um estudo de caso na região carbonífera de Santa Catarina / Clesio Tiago Alves da Silva ; orientador, Giuliano Arns Rampinelli, coorientador, William de Oliveira Sant Ana, 2018.
120 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2018.

Inclui referências.

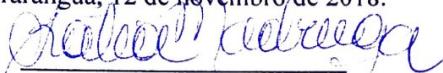
1. Energia e Sustentabilidade. 2. Energia Solar Fotovoltaica. 3. Áreas de Passivo Ambiental. 4. Geração Distribuída. I. Rampinelli, Giuliano Arns . II. Sant Ana, William de Oliveira . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade. IV. Título.

Clesio Tiago Alves da Silva

**DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM
ÁREAS DE PASSIVO AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO NA
REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade

Araranguá, 12 de novembro de 2018.



Prof.ª. Katia Cilene Madruga, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



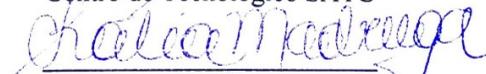
Prof.ª Giuliano Arns Rampinelli, Dr.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª William de Oliveira Sant'Ana, Me
Coorientador

Centro de Tecnológico SATC



Prof.ª. Katia Cilene Madruga, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª. Carla D'Aquino, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.º. Carlyle Torrès de Bezerra, Dr.
Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina

Aos meus pais e irmãos, que sempre acreditaram em mim, a minha esposa, que sempre esteve ao meu lado e a Deus, que me colocou ao lado de pessoas tão especiais.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que me ajudaram, direta ou indiretamente, em especial:

Ao meu orientador, Giuliano Arns Rampinelli, e meu coorientador, William de Oliveira Sant Ana, pelo grande incentivo, apoio, motivação e dedicação prestada durante todo desenvolvimento desta dissertação;

À Celesc Distribuição S/A e à Cooperativa de Eletrificação Rural de Lauro Müller – Coopermila, pelo fornecimento dos dados de alimentadores utilizados nesta pesquisa, em especial Eng. Zulnei Casagrande (Celesc) pelo assessoramento sempre que necessário.

Às carboníferas Cocalit e Catarinense por fornecer dados e autorizar o estudo em suas áreas.

A minha esposa, amiga e companheira Marluci Claudino Pereira, por me acompanhar em toda minha vida acadêmica, me apoiando e me incentivando em todos os momentos com todo amor que eu sempre precisei.

À minha família, por todo apoio e motivação que sempre me deram.

RESUMO

Os sistemas fotovoltaicos convertem energia solar em energia elétrica através do fenômeno físico denominado efeito fotovoltaico e podem ser conectados à rede elétrica. Atualmente, no Brasil, o setor passou pelo processo de normatização, regulamentação e revisões das leis e metodologias referentes a esse tipo de aproveitamento de energia elétrica. A implantação de grandes potências, demandam grandes áreas para instalação dos módulos fotovoltaicos e demais componentes, pois a usina é horizontal. Em Santa Catarina existem áreas de passivos ambientais que, após recuperadas, podem receber esse tipo de sistema. Atualmente existem 6503,00 hectares mapeados de áreas degradadas pela pretérita extração de carvão mineral, que, em parte, ainda precisam ser recuperadas. Este trabalho tem por objetivo desenvolver indicadores ambientais, energéticos, elétricos e socioeconômicos. Esses indicadores visam auxiliar na tomada de decisão para investimentos voltados para geração de energia solar fotovoltaica, uma vez que, identificam as melhores áreas para instalação de sistemas fotovoltaicos. As áreas para estudo compreendem: áreas que estejam em fase de projeto, em recuperação ou recuperadas ambientalmente. Foram escolhidas três áreas na região carbonífera de Santa Catarina para demonstrar a aplicabilidade dos indicadores. As áreas amostrais foram pré-selecionadas com base em algumas informações, como: localização, área mínima, topografia do terreno, possibilidade de conexão com a rede de distribuição e porte da vegetação circundante. Posteriormente, foram contatados os proprietários/envolvidos das respectivas áreas por meio de um ofício para permissão de estudos em sua propriedade. Após definidas as áreas amostrais, foram realizadas visitas *in loco* para verificar as informações sobre os terrenos e também para registros fotográficos. Na sequência, dados climáticos de estações meteorológicas próximas às áreas de passivo ambiental foram compilados. Todas essas informações combinadas formaram uma base de indicadores. A utilização dessas áreas, para este fim, além de proporcionar a preservação ambiental, traz benefícios sociais e econômicos para as comunidades que foram diretamente afetadas pela extração do carvão mineral, gerando emprego e renda pela recuperação das áreas de passivos, geração de energia elétrica e operação da usina fotovoltaica, podendo contribuir inclusive com os custos da recuperação ambiental.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Áreas de Passivo Ambiental, Geração Distribuída.

ABSTRACT

Photovoltaic systems convert solar energy into electrical energy through the physical phenomenon called photovoltaic effect and can be connected to the grid. Currently, in Brazil, the sector has undergone the process of normalization, regulation and revision of the laws and methodologies related to this type of use of electric energy. These power systems can be integrated into buildings or installed on the ground. The implantation of large power plants require large areas for the installation of photovoltaic modules and other components, since the plant is horizontal. In Santa Catarina there are areas of environmental liabilities that, after being recovered, can receive this type of system. Currently, there are 6503 hectares mapped of degraded areas by the previous coal extraction, which, in part, still need to be recovered. This work aims to develop environmental, energy, electrical and socioeconomic indicators. These indicators are intended to assist in decision-making for investments aimed at photovoltaic solar energy generation, since they identify the best areas for the installation of photovoltaic systems. The study area include: areas that are in the design phase, environmentally recoverable or recovered. The sample areas were pre-selected based on some information, such as: location, minimum area, terrain topography, possibility of connection to the distribution grid and surrounding vegetation. Subsequently, the owners of the respective areas were formally to request allowance to carry out studies on their property. After the sample areas were defined, on-site visits were carried out to verify information on the lands and also for photographic records. Weather data from meteorological stations close to the environmental liability areas were compiled. All this information combined formed a basis of indicators. The use of these areas for this purpose, besides providing environmental preservation, brings social and economic benefits to the communities that were directly affected by the extraction of mineral coal, generating employment and income through the recovery of the areas of liabilities, electricity generation and operation of the photovoltaic plant, and may even reduce the costs of environmental recovery.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Areas of Environmental Liability, Distributed Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Topologia Básica de um sistema SF conectado à rede.....	30
Figura 2 – Vista da célula e módulo fotovoltaico.....	31
Figura 3 – Orientação da face dos módulos fotovoltaicos para o norte verdadeiro em um dado local no hemisfério Sul (ângulo azimutal de superfície igual a 180°).....	32
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira em setembro de 2017.....	35
Figura 5 – Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN).....	36
Figura 6 – Mapa nacional da irradiação solar global em média diária..	37
Figura 7 – Mapa nacional da irradiação solar direta normal diária - média anual.....	38
Figura 8 – Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos e distribuição da população brasileira nas cidades.....	39
Figura 9 – Vista aérea usina Cidade Azul.....	46
Figura 10 – Fluxograma de atividades que foram desenvolvidas.....	50
Figura 11 – Mapa de Santa Catarina com a localização geográfica das áreas.....	51
Figura 12 – Área Rio do Meio.....	61
Figura 13 – Área Rio do Meio, vista do relevo e cobertura vegetal.....	62
Figura 14 – Irradiação solar média diária mensal no município de Lauro Müller.....	63
Figura 15 – Vista da rede elétrica na área Rio do Meio.....	64
Figura 16 – Vista mais próxima da área Rio do Meio.....	66
Figura 17 – Acesso entre a estrada geral e o local mais próximo da área Rio do Meio.....	66
Figura 18 – Área Zona 4.....	67
Figura 19 – Área Zona 4, vista do relevo e vegetação.....	68
Figura 20 – Vista da rede elétrica na área Zona 4.....	69
Figura 21 – Vista no interior da área Zona 4.....	70
Figura 22 – Acesso principal da área Zona 4.....	70
Figura 23 – Área Estiva dos Pregos.....	71
Figura 24 – Vista do interior da área Estiva dos Pregos.....	72
Figura 25 – Irradiação solar média diária mensal no município de Capivari de Baixo.....	72
Figura 26 – Vista da rede elétrica na área Estiva dos Pregos.....	74
Figura 27 – Vista da frente do terreno para a BR 101.....	75

Figura 28 – Vista de dentro do terreno para a igreja católica da comunidade Estiva dos Pregos.....	75
Figura 29 – Estrada dentro do terreno.....	76
Figura 30 – Comparativo da irradiação solar global média diária mensal para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.....	76
Figura 31 – Comparativo da irradiação solar global inclinada média diária mensal para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.	77
Figura 32 – Comparativo da irradiação solar direta média diária mensal para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.....	78
Figura 33 – Comparativo da irradiação solar anual para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.	78
Figura 34 – Resultado dos indicadores ambientais para as três áreas. .	89
Figura 35 – Resultado dos indicadores energéticos para as três áreas. .	89
Figura 36 – Resultado dos indicadores elétricos para as três áreas.....	90
Figura 37 – Resultado dos indicadores socioeconômicos para as três áreas.	90
Figura 38 – Pontuação final para as três áreas.	92
Figura 39 – Tempo de retorno do cenário 1.....	97
Figura 40 – Tempo de retorno do cenário 2.....	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Condições para um indicador ideal.	43
Quadro 2 – Percentual determinado para os indicadores principais.....	52
Quadro 3 – Valor percentual dos indicadores ambientais.	54
Quadro 4 – Valor percentual dos indicadores energéticos.	55
Quadro 5 – Valor percentual dos indicadores elétricos.....	57
Quadro 6 – Valor percentual dos indicadores socioeconômicos.	59
Quadro 7 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores ambientais.	59
Quadro 8 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores energéticos.	59
Quadro 9 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores elétricos. ...	60
Quadro 10 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores socioeconômicos.	60
Quadro 11 – Dados da rede elétrica da área Rio do Meio.....	64
Quadro 12 – Dados da rede elétrica da área Estiva dos Pregos.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Normais climáticas da Estação Meteorológica de Urussanga.	41
Tabela 2 – Irradiação solar anual no município de Lauro Müller.	63
Tabela 3 – Indicadores energéticos das áreas Rio do Meio e Zona 4.	63
Tabela 4 – Irradiação solar anual no município de Capivari de Baixo.	73
Tabela 5 – Indicadores energéticos para área Estiva dos Pregos.	73
Tabela 6 – Pontuação dos indicadores ambientais - Rio do Meio.	79
Tabela 7 – Pontuação dos indicadores energéticos - Rio do Meio.	80
Tabela 8 – Pontuação dos indicadores elétricos - Rio do Meio.	80
Tabela 9 – Pontuação dos indicadores socioeconômicos - Rio do Meio.	81
Tabela 10 – Pontuação dos indicadores ambientais - Zona 4.	82
Tabela 11 – Pontuação dos indicadores energéticos - Zona 4.	82
Tabela 12 – Pontuação dos indicadores elétricos - Zona 4.	83
Tabela 13 – Pontuação dos indicadores socioeconômicos - Zona 4.	83
Tabela 14 – Pontuação dos indicadores ambientais - Estiva dos Pregos.	84
Tabela 15 – Pontuação dos indicadores energéticos - Estiva dos Pregos.	85
Tabela 16 – Pontuação dos indicadores elétricos - Estiva dos Pregos.	85
Tabela 17 – Pontuação dos indicadores socioeconômicos - Estiva dos Pregos.	86
Tabela 18 – Resultados dos indicadores ambientais para as três áreas.	87
Tabela 19 – Resultados dos indicadores energéticos para as três áreas.	87
Tabela 20 – Resultados dos indicadores elétricos para as três áreas.	88
Tabela 21 – Resultados dos indicadores socioeconômicos para as três áreas.	88
Tabela 22 – Resultado final dos indicadores - Rio do Meio.	91
Tabela 23 – Resultado final dos indicadores - Zona 4.	91
Tabela 24 – Resultado final dos indicadores - Estiva dos Pregos.	91
Tabela 25 – Cenários para análise da viabilidade econômica.	96
Tabela 26 – VPL e TIR para os cenários 1 e 2.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
COOPERMILA	Cooperativa de Eletrificação Rural de Lauro Müller.
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DAM	Drenagem Ácida de Mina
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FECOERUSC	Federação das Cooperativas de Energia do Estado de Santa Catarina
GD	Geração Distribuída
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEAL	Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar
NBR	Norma Brasileira
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Operador Nacional do Sistema
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
REN	Resolução Normativa
SF	Solar Fotovoltaico
SIN	Sistema Interligado Nacional
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 JUSTIFICATIVA	24
1.2 OBJETIVOS	25
1.2.1 Objetivo geral	25
1.2.2 Objetivos específicos	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	27
2.2 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	28
2.2.1 A radiação solar	28
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos	29
2.2.2.1 Módulo fotovoltaico	30
2.2.2.2 Inversores	31
2.2.2.3 Ângulos de inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos	32
2.2.3 Panorama mundial da energia solar fotovoltaica	33
2.2.4 Panorama nacional da energia solar fotovoltaica	34
2.3 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	34
2.4 POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR	36
2.4.1 Potencial no Brasil	36
2.4.2 Potencial em Santa Catarina	40
2.5 INDICADORES: PRINCIPAIS ASPECTOS	42
2.6 ÁREAS DE PASSIVOS AMBIENTAIS	44
2.7 USINA SOLAR FOTOVOLTAICA CIDADE AZUL	46
3 METODOLOGIA	49
3.1 FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO	50
3.2 ESCOLHA DAS ÁREAS AMOSTRAIS	50
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS INDICADORES.....	51
3.3.1 Indicadores ambientais	52
3.3.2 Indicadores energéticos	54

3.3.3 Indicadores elétricos	56
3.3.4 Indicadores socioeconômicos	57
3.4 COLETA DOS DADOS	59
4 RESULTADOS	61
4.1 ÁREA RIO DO MEIO	61
4.1.1 Indicadores ambientais.....	62
4.1.2 Indicadores energéticos	62
4.1.3 Indicadores elétricos	64
4.1.4 Indicadores socioeconômicos	65
4.2 ÁREA ZONA 4.....	67
4.2.1 Indicadores ambientais.....	67
4.2.2 Indicadores energéticos	68
4.2.3 Indicadores elétricos	68
4.2.4 Indicadores socioeconômicos	69
4.3 ÁREA ESTIVA DOS PREGOS	71
4.3.1 Indicadores ambientais.....	71
4.3.2 Indicadores energéticos	72
4.3.3 Indicadores elétricos	73
4.3.4 Indicadores socioeconômicos	74
4.4 COMPARATIVO ENERGÉTICOS DAS ÁREAS AMOSTRAIS	76
4.5 RESULTADOS DOS INDICADORES.....	79
4.5.1 Área Rio do Meio	79
4.5.2 Área Zona 4	81
4.5.3 Área Estiva dos Pregos	84
4.5.4 Resultados agrupados para as três áreas	86
4.6 MELHOR ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DA USINA SF	88
4.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	92
5 CONCLUSÃO	99
REFERÊNCIAS.....	102

ANEXO A - Características físicas do cabo de alumínio (CAA)...	111
ANEXO B - Características físicas do cabo de alumínio (CA).....	112
ANEXO C – Confirmação das empresas para visita das áreas.....	113
APÊNDICE 1 – Análise de viabilidade econômica.....	119

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade está atrelado à transformação do meio ambiente e obtenção de energia. O avanço tecnológico no mundo não supriu a carência de energia em todos os possíveis locais da convivência humana. Nas últimas décadas, tem-se visto o apelo de várias vozes que mostram o iminente fim da era dos combustíveis fósseis, o grande impacto ambiental ocasionado por essas fontes de energia e a insustentabilidade do modo como se obtém a energia que move a economia.

A geração de energia baseada na utilização de combustíveis fósseis, como por exemplo, petróleo e seus derivados, carvão e gás natural têm impactos relevantes na natureza. É indispensável que a sociedade organizada construa um novo modelo de matriz energética, que seja baseada na exploração e no aproveitamento racional e sustentável de fontes não renováveis e renováveis de energia. Paralelamente, é importante a percepção para o uso consciente da energia elétrica. A eficiência energética também deve ser contemplada, pois é necessário aumentar a produtividade a partir da diminuição do consumo energético.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade principal deste processo de conversão. A produção de células e módulos fotovoltaicos têm como base três gerações aplicadas como principais tecnologias: a primeira geração que compreende mais de 85% do mercado são as células de silício multicristalino e monocristalino. A segunda geração é comercialmente denominada de filmes finos e é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). A terceira geração, ainda está em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e é conhecida como células orgânicas ou poliméricas (CRESESB, 2014).

Os sistemas solares fotovoltaicos (SF) podem ser classificados basicamente em duas categorias de acordo com seu funcionamento: sistemas isolados ou conectados à rede. Os sistemas isolados não possuem conexão com a rede de distribuição das concessionárias. Os sistemas SF conectados à rede podem ser instalados em áreas rurais, urbanas, desérticas ou integrados em edificações (RAMPINELLI; GOMES, 2014).

Por sua vez, a implantação de usinas fotovoltaicas demanda grandes áreas para alocação dos módulos fotovoltaicos, visto que, a usina é horizontal. No entanto, a região carbonífera de Santa Catarina dispõe de

uma quantidade significativa de áreas que possuem algumas restrições de uso, e que podem ser utilizadas para esta finalidade.

O acúmulo destas áreas ocorreu devido ao fato de, ao longo do Século XX, a intensificação das atividades mineiras, acarretou na disposição descontrolada de estéril de cobertura e rejeitos do beneficiamento do carvão, que contêm minerais sulfetados (pirita e marcassita), provocando a acidificação e a contaminação dos recursos hídricos (SOARES et al., 2009).

Em face disto, a Região Carbonífera Catarinense foi reconhecida em 1980, por decreto federal, como área crítica nacional, devido seu estágio de degradação ambiental. Em 1993, o Ministério Público Federal, tendo em vista à recuperação ambiental das áreas degradadas pela atividade mineradora, moveu uma ação contra as empresas carboníferas, o Estado de Santa Catarina e a União Federal. Os réus foram condenados a apresentarem projetos de recuperação, compreendendo todas as áreas degradadas, além de outras obras que visem amenizar os danos sofridos principalmente pela população dos municípios sedes da extração e do beneficiamento de carvão (BRASIL, 2013).

1.1 JUSTIFICATIVA

O território brasileiro recebe elevados índices de irradiação solar, quando comparado com países como a Alemanha, por exemplo, onde a tecnologia fotovoltaica é disseminada para a produção de energia elétrica. Enquanto no país europeu os níveis de irradiação anual variam entre 900 – 1.250 kWh/m², na maior parte do território brasileiro são registrados valores entre 1.500 – 2500 kWh/m². Tais dados demonstram que as condições brasileiras são muito mais favoráveis ao aproveitamento da energia solar, o que justifica sua inserção como fonte complementar na matriz elétrica brasileira.

Por outro lado, a implantação de uma usina solar fotovoltaica requer o uso de uma área para instalação da mesma. Um inconveniente, é a utilização de áreas produtivas ou urbanas, com elevado preço agregado, elevando o custo e, muitas vezes, inviabilizando a implantação de um sistema deste tipo.

A utilização de áreas improdutivas ou áreas que tenham certas restrições de utilização é uma alternativa de local para a implantação de usinas deste tipo. Possíveis locais que se encaixam neste perfil são as áreas de passivos ambientais, como por exemplo, as áreas degradadas pela mineração que, geralmente, após a recuperação, possuem sérias restrições

de utilização para cultivos agrícolas, pastagens e também para ocupação humana.

Conforme Brasil (2013), atualmente, já estão mapeados 6.503,00 hectares de áreas degradadas para recuperação ambiental na Região Carbonífera de Santa Catarina. É neste contexto, que este trabalho contribuirá na escolha de áreas de passivos ambientais, com a aplicação de indicadores de geração distribuída (GD), que conduzirá na definição da melhor área, oportunizando a implantação de usinas solares fotovoltaicas.

A composição dos indicadores, verificará qual área, dentre um grupo de áreas pré-selecionadas, tem maior potencial para disposição de parque fotovoltaico. Desta forma, com o intuito de demonstrar a aplicabilidade dos indicadores, foram escolhidas três áreas na região carbonífera de Santa Catarina, duas no município de Lauro Müller, pertencentes à Carbonífera Catarinense e outra área no município de Capivari de Baixo, da empresa Cocalit.

A aplicação deste modelo resulta em inúmeros benefícios, como por exemplo: contribui para a conservação da área recuperada, visto que, proteções à usina, limita que as mesmas sejam ocupadas de forma irregular e desorganizada; para as comunidades diretamente afetadas pela mineração, uma vez que pode melhorar o aspecto visual; e assim como para o responsável pelas obras de recuperação ambiental, podendo cobrir, inclusive, os custos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudo técnico e econômico de implantação de um sistema SF em uma área de recuperação ambiental sem perspectiva de utilização futura, desenvolvendo indicadores de uso futuro para geração distribuída com sistemas SF.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar áreas recuperadas ou em recuperação que podem receber sistemas fotovoltaicos similares na região carbonífera catarinense;
- Selecionar áreas amostrais representativas.
- Analisar os parâmetros físicos das áreas;

- Medir ou estimar o recurso solar e parâmetros ambientais no local da instalação;
- Analisar os aspectos das redes elétricas de cada área.
- Analisar os aspectos socioeconômicos nas regiões próximas as áreas selecionadas; e
- Analisar a viabilidade econômica para implantação de uma usina solar fotovoltaica em uma área de passivo ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A extensa área territorial do Brasil, as distâncias de grandes centros consumidores e as questões ambientais, são aspectos que dificultam quando se trata em aumentar a oferta de energia elétrica no país.

O sistema elétrico adota uma maneira organizacional vista ao longo da história, conhecida como geração centralizada de energia, que consiste em grandes centrais de geração e extensas redes de transmissão e distribuição.

A existência de geradores próximos às cargas podem promover alguns benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em ampliação nos sistemas de distribuição e transmissão; redução do impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período que a demanda de carga é acentuada e a diversificação da matriz energética (ROCHA et al., 2014)

No mundo, a geração distribuída pode ter diferentes definições. Alguns países a definem com base no nível de tensão, outros países definem GD como tendo algumas características básicas, como por exemplo, se utilizam energias renováveis (BRAUN-GRABOLLE, 2010).

No Brasil, para a ANEEL, (Agência Nacional de Energia Elétrica), conforme os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), define-se geração distribuída por centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo ONS (ANEEL, 2016).

A partir de 2012 que a ANEEL estabeleceu as regras e a regulamentação para a micro e minigeração distribuída. Por meio da Resolução Normativa 482/2012, o Brasil adotou o mecanismo de compensação de energia elétrica, em que um consumidor que possui sua própria geração pode ser conectado na rede elétrica pública por meio da Unidade Consumidora (UC), injetar o excedente na rede elétrica e desta forma acumular créditos de kWh. Conforme a REN 482/2012, para enquadrar-se neste modelo de geração, a potência máxima deveria ser de 1000 kWp, no entanto, este limite foi ampliado com a criação da REN 687/2015. Os créditos de energia injetados na rede elétrica têm validade de 60 meses para serem compensados (ANEEL, 2012, 2015).

Em março de 2016, com a REN 687/2015, a ANEEL revisou a regulamentação e expandiu a abrangência da geração distribuída para os

conceitos de condomínio, consórcio, cooperativa e também autoconsumo remoto. Com isso, pode-se gerar em um determinado local e utilizar os créditos de energia gerados em outra unidade consumidora, desde que na mesma área de concessão da distribuidora. Pode-se também constituir um condomínio, cooperativa ou consórcio e instalar um gerador comunitário em local distinto do ponto de consumo de qualquer dos condôminos, cooperativados ou consorciados. A ANEEL estima que até 2024, no Brasil, com esta flexibilização, terão sido instalados mais de 1,2 milhão de geradores solares (PEREIRA et al., 2017).

2.2 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar que incide sobre a superfície terrestre anualmente é de $1,5 \times 10^{18}$ kWh, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia no mesmo período. Considerando apenas a superfície com potencial para a instalação de geradores de energia utilizando a energia solar, esta energia passa a ser de $10,8 \times 10^{11}$ GWh/ano. Isso aponta que, além de ser indispensável para a conservação da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, existindo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.) (RÜTHER, 2004).

Contudo, nem toda a radiação solar atinge a superfície terrestre. A atmosfera restringe a radiação solar através da reflexão, absorção e dispersão. O nível de irradiância na Terra atinge um valor total aproximado de 1.000 W/m^2 ao meio-dia, em condições climáticas favoráveis. A irradiação global horizontal anual, medida em kWh/m² é a soma da quantidade total da radiação solar que incide na superfície terrestre durante o período de um ano. Este parâmetro, sim, varia de um modo considerável conforme as regiões (CRESESB, 2014).

2.2.1 A radiação solar

A radiação solar é o requisito fundamental para obtenção da energia solar através do efeito fotovoltaico, é definida conforme a norma técnica brasileira ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas) NBR 10899:2013 como sendo a forma de transferência de energia advinda do sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons (ABNT, 2013).

A definição de irradiação solar é a quantidade de radiação solar que incide em uma superfície e integrada durante um intervalo de tempo

especificado, normalmente uma hora ou um dia e é medida em watt hora por metro quadrado (Wh/m^2) (VIANA, 2010).

Para o cálculo da quantidade estimada de energia elétrica que um sistema fotovoltaico poderá produzir é utilizado a irradiação solar como parâmetro.

O nível de irradiação solar, assim como outros fatores, entre eles: a inclinação e orientação do módulo fotovoltaico, sombreamento parcial, temperatura de operação, eficiência e ponto de operação dos inversores, fiação e conectores, sujeira sobre o módulo fotovoltaico, etc., alteram a produtividade dos sistemas fotovoltaicos (URBANETZ JUNIOR et al., 2014).

A produtividade do sistema é a razão entre a energia elétrica em corrente alternada produzida em um determinado período e a potência nominal instalada do gerador fotovoltaico, e é dado em (kWh/kWp) (CRESESB, 2014).

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos

Um arranjo fotovoltaico é a interligação elétrica de módulos fotovoltaicos, de forma a se obter os níveis de corrente e de tensão pretendidos e permitir uma única saída de tensão e corrente. Sistema SF é o conjunto de elementos composto de um ou vários arranjos fotovoltaicos, podendo incluir dispositivos para controle, condicionamento, supervisão, proteção e armazenamento de energia elétrica, fiação, fundação e estrutura (BRAUN-GRABOLLE, 2010).

O efeito fotovoltaico foi observado em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que observou em um experimento eletroquímico que a exposição a luz solar de elétrons de platina originava o efeito fotovoltaico.

Em 1876, dois cientistas britânicos, W. G. Adams e R. E. Day, descobriram que a energia solar podia ser convertida diretamente em energia elétrica quando a luz incidia sobre uma placa semicondutora.

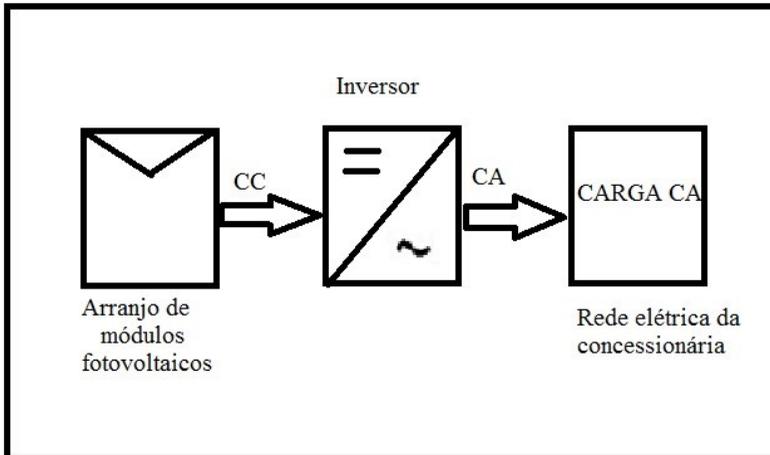
Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em dois tipos: os sistemas conectados à rede ou isolados, também conhecidos como sistemas autônomos (CRESESB, 2014)

Os sistemas SF conectados à rede contribuem com a redução das perdas com transmissão e distribuição de energia elétrica, pois são uma forma de geração distribuída e dispensam o uso de banco de baterias, a potência gerada é consumida diretamente pelas cargas locais e o excedente é absorvido pela rede elétrica. Contribuindo com a disponibilidade de energia junto ao ponto de consumo, possibilitando a

redução da geração pelas fontes tradicionais de energia, no caso do Brasil, principalmente as usinas hidroelétricas e térmicas (URBANETZ JUNIOR et al., 2016).

A Figura 1 representa a topologia básica de um sistema SF conectado à rede da concessionária.

Figura 1 – Topologia Básica de um sistema SF conectado à rede.



Fonte: (SILVA, 2013).

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008), sistemas fotovoltaicos isolados são aqueles que não têm qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica; e sistemas conectados à rede elétrica são aqueles de fato conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica.

2.2.2.1 Módulo fotovoltaico

A célula solar, também conhecida como célula fotovoltaica, é o elemento principal para a transformação da radiação eletromagnética em energia elétrica e pode ser compreendida como um dispositivo semicondutor que gera uma corrente elétrica, quando exposta à radiação solar (SEGUEL, 2009).

Os módulos solares mais comuns são fabricados com silício monocristalino e multicristalino e filmes finos. A Figura 2 ilustra um módulo SF. Eles são classificados por sua estrutura física, que podem ser:

standard com ou sem armação e, módulos semitransparentes (RÜTHER, 2004).

As células solares devem ser aplicadas em módulos, já que uma célula fornece tensão elétrica, em torno de 0,4 V. A densidade da corrente é na ordem de 30 mA/cm². A tensão e a corrente desejadas para o sistema, é que vão definir o número de células que devem ser conectadas ao módulo e se o arranjo vai ser em série e/ou paralelo (CRESESB, 2014).

Figura 2 – Vista da célula e módulo fotovoltaico.



Fonte: (URBANETZ JUNIOR, 2010).

2.2.2.2 Inversores

O inversor tem funções específicas que são: transformar a tensão contínua dos módulos em alternada, limitar corrente e tensão e encontrar o ponto de máxima potência do módulo solar. São responsáveis em fazer a ligação do módulo fotovoltaico ou do banco de baterias com a rede elétrica da distribuidora ou com a rede elétrica da residência.

Algumas características que devem ser consideradas na especificação de um inversor são apresentadas a seguir (CRESESB, 2014):

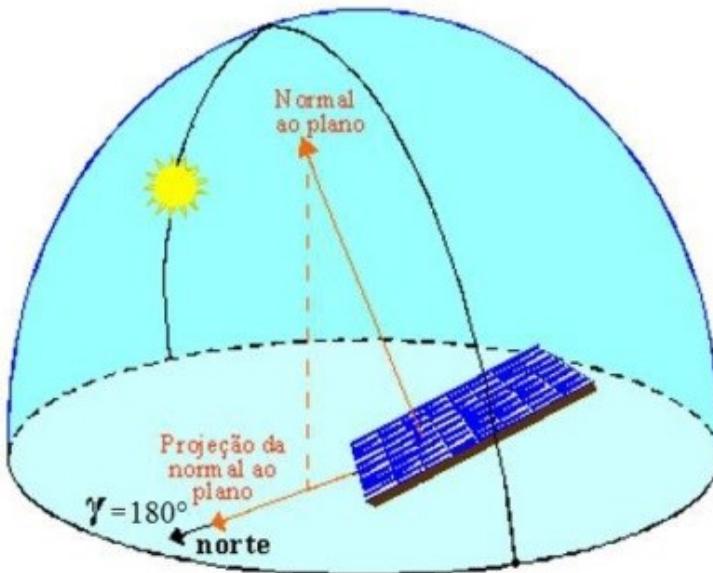
- Forma de onda;
- Eficiência da conversão de potência;
- Potência nominal de saída;
- Taxa de utilização;
- Tensão na entrada;

- Tensão na saída;
- Capacidade de surto;
- Regulação da tensão;
- Frequência;
- Proteções (sobretensão na entrada CC, sobrecargas e elevação da temperatura);
- Modularidade;
- Fator de potência; e
- Consumo de potência sem carga (consumo permanente ou autoconsumo).

2.2.2.3 Ângulos de inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos

Em geral, para instalação de um módulo solar no hemisfério norte, os coletores devem ficar voltados para o sul geográfico. Já se o sistema for instalado no hemisfério sul, como ilustrado na Figura 3, os coletores devem ficar voltados para o norte geográfico (ANEEL, 2005; CRESESB, 2014; GASPARIN; KRENZINGER, 2017).

Figura 3 – Orientação da face dos módulos fotovoltaicos para o norte verdadeiro em um dado local no hemisfério Sul (ângulo azimutal de superfície igual a 180°).



Fonte: (CRESESB, 2014)

A inclinação ótima dos coletores deve ser próximo da latitude onde os mesmos estão instalados, no entanto, variações no ângulo de inclinação dos módulos não difere em mais do que 1% da energia produzida por um sistema de referência, com inclinação igual a latitude e orientado para o norte geográfico (GASPARIN; KRENZINGER, 2017).

Existem três tipos de Norte em cartografia, são eles: Norte Geográfico ou verdadeiro, Norte Magnético e Norte de Quadrícula.

Norte Geográfico ou verdadeiro, é aquele indicado por qualquer meridiano geográfico, ou seja, na direção da rotação da Terra. Norte Magnético é a direção do polo magnético indicado pela agulha imantada de uma bússola. Norte da Quadrícula, é representado nas cartas topográficas, no sentido Norte-Sul (IBGE, 1998).

O Polo Norte definido pelos meridianos, ou seja, no Norte Geográfico, não se situa no Norte Magnético para onde a agulha aponta exatamente. A declinação magnética, deste modo, existe porque o polo norte e o polo magnético não coincidem, assim, podemos defini-la como o ângulo formado entre o Norte Geográfico e o Norte Magnético, sempre representado em graus (FITZ, 2000).

2.2.3 Panorama mundial da energia solar fotovoltaica

O uso das tecnologias que utilizam o sol para geração de energia elétrica, tem aumentado substancialmente nos últimos anos, especialmente a fotovoltaica, que passou de 3,7 GWp para 305 GWp entre 2004 e 2016 – crescimento anual de 45%. Em 2016 foram instalados 76,1GW de capacidade de energia solar no mundo, um aumento de aproximadamente 50% em relação ao ano anterior. Os Estados Unidos e a China foram os países que mais cresceram, sendo os mesmos responsáveis pelo aumento do índice mundial. Na contramão, a Europa, registrou uma desaceleração, quando comparado com o ano de 2015 (REN21, 2017).

Verificando o progresso da capacidade mundial instalada de sistemas fotovoltaicos, fica claro a importância que essa fonte de energia tem adquirido nos últimos anos na matriz energética de diversos países. Em 2014, a fonte solar já representou uma parcela de 1% do total de energia elétrica produzida no mundo (REN21, 2015).

Nos países europeus, em especial a Alemanha, esse crescimento foi promovido devido a grandes subsídios à fonte. Porém com a redução dos incentivos, a Europa começou a deixar de liderar o número de instalações. Dessa forma, observou-se uma transferência de liderança no número de instalações para países asiáticos, principalmente a China.

Destacando que, houve uma considerável redução nos custos de produção da tecnologia, sendo essencial à sua competitividade (EPE, 2016; REN21, 2015).

2.2.4 Panorama nacional da energia solar fotovoltaica

A geração distribuída está impulsionando o mercado fotovoltaico no Brasil, uma vez que, a atual regulamentação elimina uma das maiores barreiras ao desenvolvimento da energia solar fotovoltaica.

Um fato que deve ser destacado sobre a energia fotovoltaica no Brasil, foi a entrada da energia solar fotovoltaica em larga escala no território brasileiro. Promovido pelo Ministério de Minas e Energia MME, o Leilão de Reserva de Energia de 2014 contou, pela primeira vez, com um certame exclusivo para comercialização da energia solar fotovoltaica, garantindo a contratação de 890 MW. Logo após, em 2015 foram realizados mais dois certames, contratando juntos, mais 1763 MW. Este volume de potência não havia sido verificado no país até o momento (EPE, 2016).

Ao final do ano de 2015, havia registro de 1675 sistemas fotovoltaicos conectados sob o regime REN 482, somando 13,4 MW. A nova resolução ampliou as possibilidades da micro e minigeração, com várias alterações que começaram a valer a partir de março de 2016 (EPE, 2016).

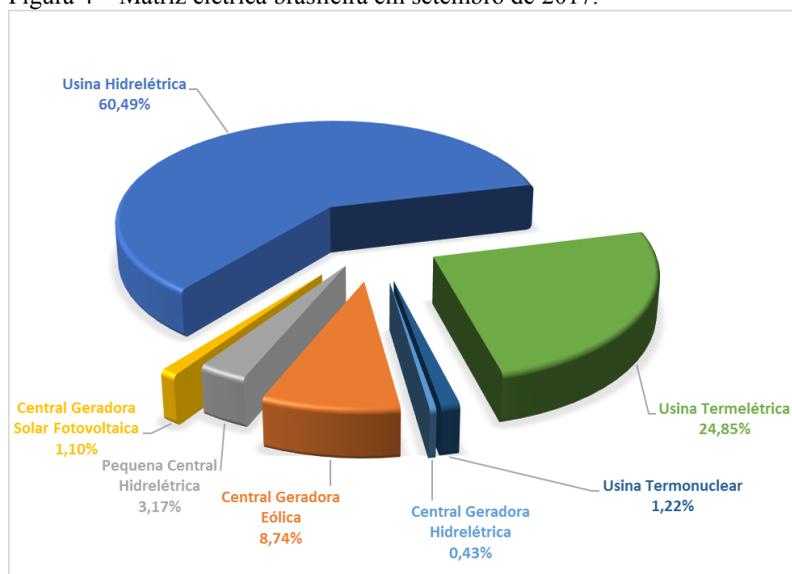
O Ministério de Minas e Energia (MME) lançou, em 2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), que tem por objetivo atrair R\$ 100 bilhões em investimentos privados para a geração de energia solar até 2030. A meta é incentivar aproximadamente 2,7 milhões de casas, comércios, indústrias e unidades agrícolas a instalarem painéis solares para gerar 48 milhões de megawatts/hora (MWh) por ano. O Brasil poderá deixar de emitir ao ano 29 milhões de toneladas de gás carbônico (CO₂), o principal responsável pelo aquecimento global, com este projeto. Desta forma, o país deve cumprir parte do objetivo de reduzir em 43% as emissões brasileiras, conforme acordo assumido na 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21), do mesmo ano (BRASIL, 2016a).

2.3 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte com forte predominância de usinas hidroelétricas e com múltiplos proprietários,

formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Em 2018, a capacidade total de geração de energia elétrica no Brasil atingiu a marca aproximada de 162 GW com participação das diversas fontes de energia. A energia elétrica proveniente da fonte solar fotovoltaica teve um aumento significativo em relação ao ano de 2017, em que tinha uma participação de 0,19% na matriz elétrica brasileira, subindo para 1,10% em 2018. A Figura 4 apresenta o percentual de contribuição para a matriz elétrica brasileira no ano de 2018, de cada tipo de fonte geradora de energia elétrica (ANEEL, 2017, 2018; ONS, 2017).

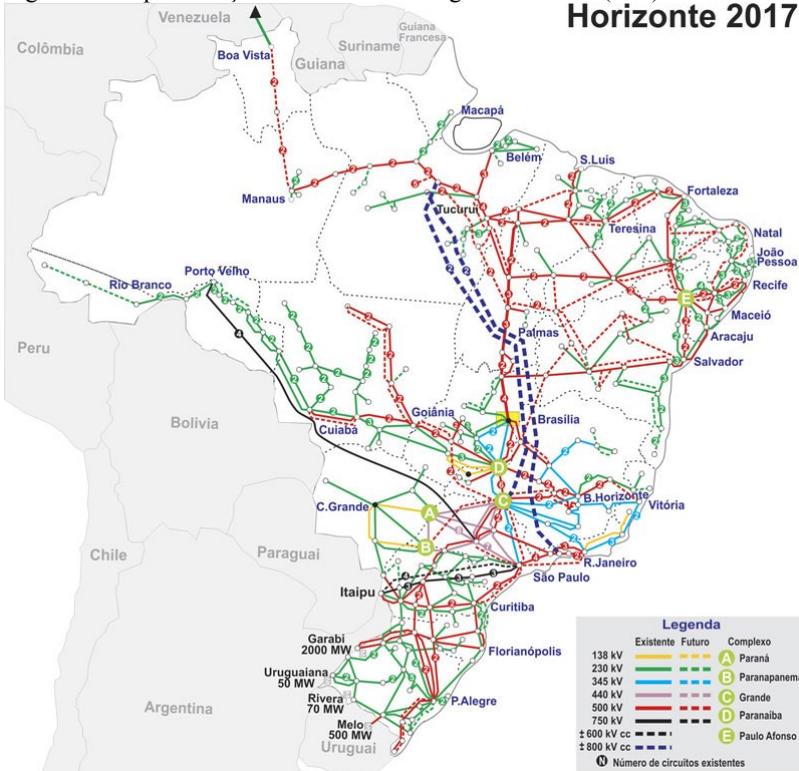
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira em setembro de 2017.



Fonte: (ANEEL, 2018)

Atualmente, menos de 1% da carga total do país está isolada do Sistema Interligado Nacional (SIN), o que equivale a aproximadamente 760 mil consumidores em 246 localidades, situadas na grande parte na região amazônica. A Figura 5 apresenta o mapa do Sistema Interligado Nacional, em que ilustra a abrangência nacional do SIN (ONS, 2017).

Figura 5 – Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN).



Fonte: (ONS, 2017)

2.4 POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR

2.4.1 Potencial no Brasil

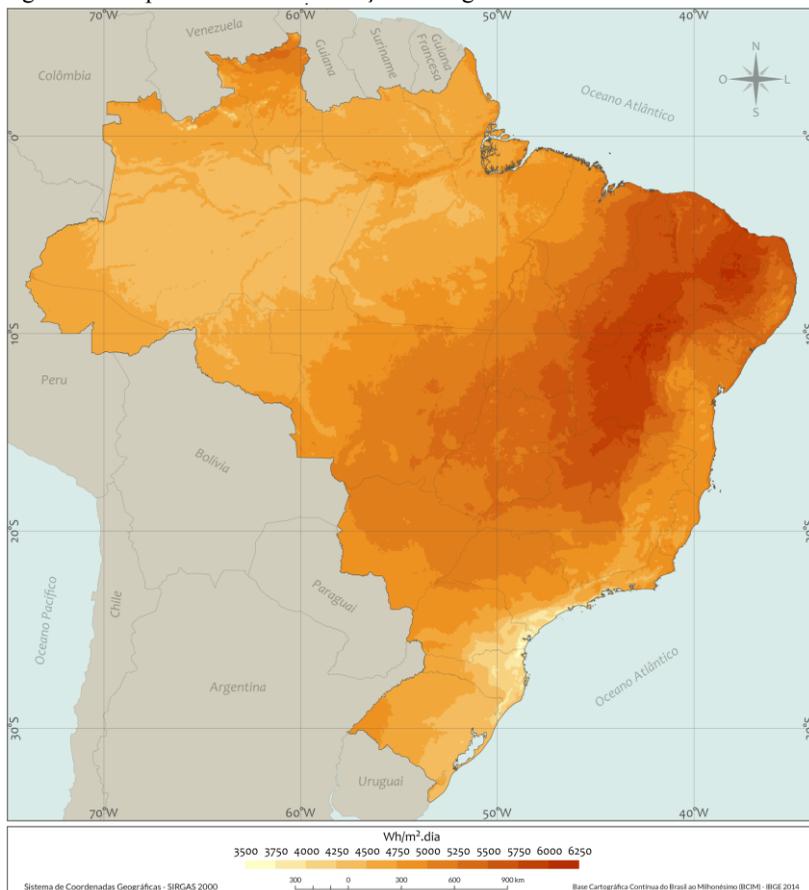
O Brasil está situado quase que totalmente na região limitada pelos Trópicos de Câncer e Capricórnio, de incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição favorece elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno, o que confere ao país condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar.

Ao comparar, a região mais ensolarada da Alemanha, país referência em energia fotovoltaica, a mesma tem um índice de radiação solar 40% menor que o índice da região menos ensolarada do Brasil (CABRAL; TORRES; SENNA, 2013).

A Figura 6 apresenta os dados brasileiros de irradiação solar global no plano inclinado, adequado às aplicações fotovoltaicas e de aquecimento. Os dados são apresentados em média diária anual de irradiação solar global inclinada.

O mapa apresentado ilustra as regiões onde a irradiação solar é maior no Brasil, indicando, inicialmente, as melhores áreas para o aproveitamento solar. Verificando-se exclusivamente este fator, percebe-se que o oeste da Bahia é um dos lugares mais propícios.

Figura 6 – Mapa nacional da irradiação solar global em média diária.

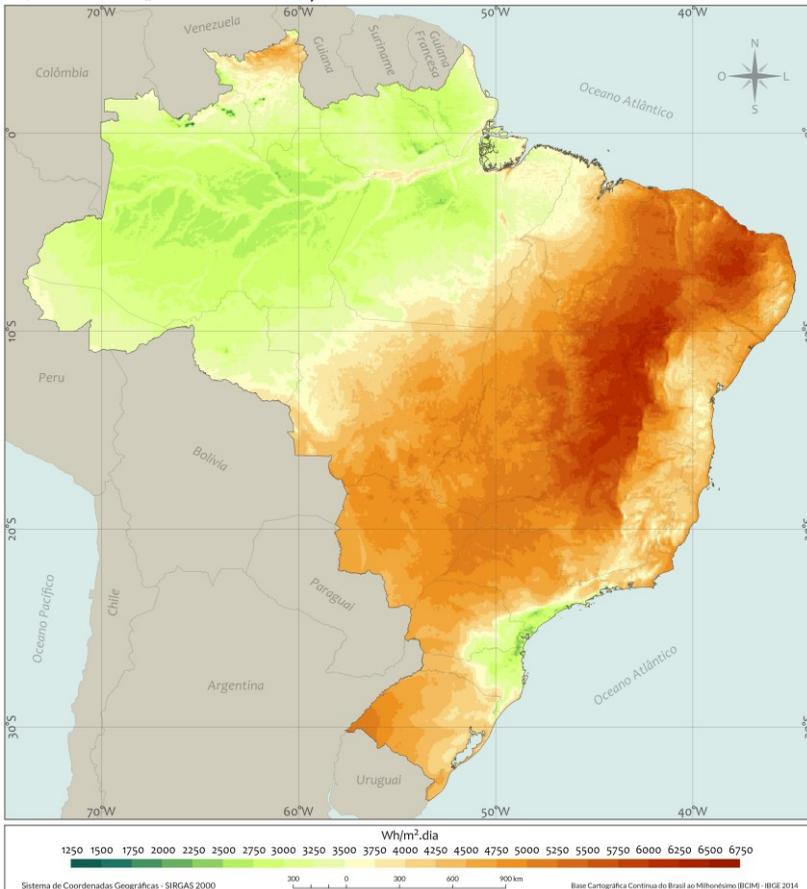


Fonte: (PEREIRA et al., 2017).

Considerando que a faixa de variação da irradiação global horizontal anual do Brasil seja de 1.500 a 2.200 kWh/m², praticamente todo território brasileiro é elegível à expansão do aproveitamento deste recurso (PEREIRA et al., 2006).

Além dos valores de irradiação no plano horizontal, a Figura 7 apresenta um mapa que demonstra a média de irradiação solar direta normal diária incidente sobre um plano.

Figura 7 – Mapa nacional da irradiação solar direta normal diária - média anual.

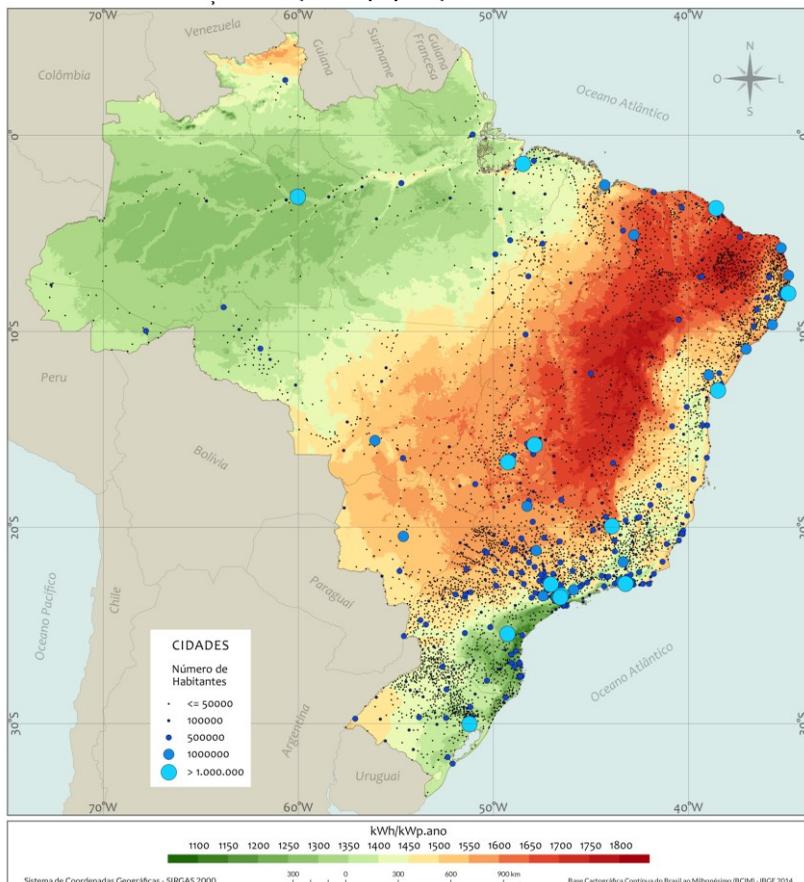


Fonte: (PEREIRA et al., 2017).

O mapa do potencial mostrado na Figura 8 apresenta a concentração de municípios e população brasileira e a distribuição da

disponibilidade de irradiação anual. Com a queda acentuada dos preços dos geradores solares fotovoltaicos nos últimos anos, sua adoção por todo o território brasileiro é crescente e atingiu crescimento exponencial a partir do final de 2016 (PEREIRA et al., 2017).

Figura 8 – Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos e distribuição da população brasileira nas cidades.



Fonte: (PEREIRA et al., 2017)

2.4.2 Potencial em Santa Catarina

O sul de Santa Catarina possui características climáticas menos favoráveis para a instalação de usinas fotovoltaicas, quando comparado com outras regiões do Brasil. O valor diário de radiação solar global nesta região é aproximadamente 4,25 kWh/m².dia, em torno de 1550 kWh/m² anuais. O valor máximo da média diária de radiação global – 6,5 kWh/m².dia – ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. Essa área apresenta um clima semiárido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente 300 mm/ano) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil (PEREIRA et al., 2017).

No entanto, ao comparar com países precursores no uso da energia solar como fonte de energia elétrica, percebe-se que Santa Catarina tem ótimo potencial para aproveitamento deste recurso e tem índices de radiação global superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900 – 1.250 kWh/m²), França (900 – 1.650 kWh/m²) e Espanha (1.200 – 1.850 kWh/m²) (JARDIM, 2007).

Conforme o sistema de classificação global dos tipos climáticos, sugerida por Köppen-Geiger (apud ROLIM et al., 2007) e determinando-se a relação da atuação sazonal das diversas massas de ar, acrescida de fatores como latitude, altitude e maritimidade/continentalidade, há condicionamento de dois subtipos climáticos predominantes em Santa Catarina: o temperado chuvoso, úmido em todas as estações, com verão quente (Cfa), e o clima temperado chuvoso, úmido em todas as estações, com verões brandos (Cfb).

A área de estudo compreende a Bacia Carbonífera Catarinense, estabelecida no sul do Estado, cujo subtipo climático é (Cfa). Conforme Nimer, (1989), a ampla distribuição espacial dos sistemas de circulação atmosférica em todos os meses do ano, acarreta uma uniformidade nas precipitações em toda a região sul do Brasil. De acordo com Sônego, (2002), no sul de Santa Catarina predomina clima de latitudes subtropicais:

“[...] O sul de Santa Catarina apresenta clima quente no verão e ameno no inverno, com chuvas bem distribuídas durante o ano. O clima é Subtropical Úmido com Verão Quente, pelo sistema de Köppen, recebendo a simbologia Cfa. A temperatura média anual varia de 17 a 20°C, com a temperatura média das máximas variando de 23 a

27°C, e a média das mínimas variando de 13 a 17°C. A altitude e a sua distância com o Oceano Atlântico são os fatores que determinam essas variações espaciais de temperatura, já que existe pouca variação de latitude dentro da região.”

Com a intenção de classificar o clima do sul catarinense, Sant Ana, (2008) realizou um estudo pela Estação Meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), no município de Urussanga, entre os anos de 1961 e 1990. As médias oriundas daquele estudo são apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 – Normais climáticas da Estação Meteorológica de Urussanga.

Estação Meteorológica de Urussanga (1961-1990) - (28°31'S/49°19'W; altitude 48 m)									
Mês	T média	T média das máximas	T média das mínimas	T máxima absoluta	T mínima absoluta	Precipitação total	Precipitação máxima em 24h	Dias chuva	Umidade relativa do ar
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(mm)		(%)
Janeiro	23,9	30,7	18,6	41	10,4	188	88	15	78
Fevereiro	24,1	30,7	18,9	40,7	10,1	211	241	14	80
Março	22,8	29,4	17,7	39,2	6	170	109	14	81
Abril	20	26,9	14,7	37	4,4	99	57	10	81
Mai	16,8	24,9	11,4	33,6	-1	92	84	9	82
Junho	14,6	22,5	9,2	33	-2,6	82	108	9	83
Julho	14,7	22,6	9,1	34,4	-4,3	106	116	10	82
Agosto	15,8	23	10,1	38,2	-3	127	128	10	80
Setembro	17,1	24	11,9	39,3	-1,4	129	71	12	79
Outubro	19,2	25,7	13,6	39,5	2,8	133	98	13	77
Novembro	21,1	28	15,6	41	5,2	128	84	12	77
Dezembro	22,8	29,6	17,3	41,7	6,5	159	103	14	76
Média Anual	19,4	26,5	14	41,7	-4,3	1.624,00	241	81	80

Fonte: (SANT ANA, 2008)

Estes resultados determinam a normal de chuvas para o sul catarinense, uma vez que correspondem a média feita durante o intervalo de 30 anos, estando conforme com as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Portanto, podem ser utilizados os dados de chuva da Estação da EPAGRI, categorizados de normal, como medida

de comparação com resultados advindos de outras estações e/ou pluviômetros situados nesta região do Estado.

2.5 INDICADORES: PRINCIPAIS ASPECTOS

Alguns autores definem indicadores de forma distintas (e em alguns casos, os mesmos autores definem, às vezes, de formas contraditórias). O problema surge não só dentro dos detalhes do ambiente em questão, mas reflete incertezas e contradições quanto ao significado fundamental do conceito de indicador (GALLOPÍN, 1996).

De forma geral, os indicadores que são obtidos por meio de coletas de dados e por medição, podem ser classificados em indicadores qualitativos e indicadores quantitativos.

Os indicadores qualitativos são aqueles obtidos com base na observação e julgamento do observador, e de forma não mensurável. Normalmente são utilizados de forma abstrata, sem que haja parâmetros descritivos claros. Os indicadores quantitativos são aqueles que contam com a mensuração de determinados descritores. A análise dos indicadores quantitativos diminui a interferência do avaliador nos resultados e possibilita uma maior replicabilidade de um dado método (BRANCALION; RODRIGUES; GANDOLFI, 2015).

Para iniciar uma abordagem de indicadores relacionados à geração distribuída, é fundamental entender melhor o significado dos indicadores de uma forma mais ampla.

Segundo Bakkes et al. (1994) as definições de indicadores e a terminologia associada a esta área são particularmente confusas. Por isso, é importante alcançar maior compreensão e consenso nesta área, e recorrer à etimologia para ter melhor clareza sobre estes termos e da definição utilizada na pesquisa.

Conforme Hammond et al. (1995) o termo indicador é oriundo do Latim *indicare*, verbo latino, cujos significados são: descobrir, apontar, anunciar, estimar. Obviamente, isso se refere a função ou propósito, mas não a natureza, de um indicador (GALLOPÍN, 1996).

O propósito básico dos indicadores é o de agregar e quantificar informações de uma forma que sua significância fique mais clara. Os indicadores simplificam as informações sobre fenômenos complexos tentando aperfeiçoar com isso o processo de comunicação (VAN BELLEN, 2002).

Segundo Tunstall (1994 apud VAN BELLEN, 2002) os indicadores podem ser analisados a partir de suas funções, conforme são apresentados:

- Avaliação de condições e tendências.
- Comparação entre lugares e situações.
- Avaliação de condições e tendências em relação às metas e aos objetivos.
- Prover informações de advertência.
- Antecipar futuras condições e tendências.

A principal função dos indicadores é possibilitar o conhecimento verdadeiro da situação que se deseja alterar, estabelecer as prioridades, selecionar os beneficiados, determinar os objetivos e expressá-los em metas e, assim, melhor acompanhar o andamento dos trabalhos, analisar os processos, adotar os redirecionamentos necessários e aferir os resultados e os impactos obtidos. Com isso, ampliam as probabilidades de se potencializar o uso dos recursos e de serem tomadas decisões certas (ORBIS, 2010).

O Quadro 1 apresenta alguns dos requisitos citados por Gomes, (2011) em sua pesquisa, que são considerados importantes para produção de bons indicadores.

Quadro 1 – Condições para um indicador ideal.

Requisito	Explicação
Representatividade	Refere-se à capacidade de retratar os problemas da área de estudo.
Validade científica	Em suma, tem relação à forma de coleta e elaboração do dado.
Fonte de informação	Deve-se observar a confiabilidade da sua origem (se de órgão oficial, instituição creditada, organização não governamental, jornal, etc.).
Disponibilidade e Acesso	Informação sobre o indicador, sem perda de tempo que impeça ou dificulte o planejamento.
Fácil compreensão	Indicadores devem ser simples e fáceis de compreender para informar o grupo de pessoas que tomará as decisões quanto aos rumos do planejamento.

Fonte: Adaptado de (GOMES, 2011).

Quando os indicadores são de fato aplicados na comunicação e na tomada de decisão, eles se tornam ferramentas poderosas. Neste caso não há razão em construir indicadores se os principais interessados não se apropriam deles para orientar suas decisões (PHILIPPI JUNIOR; MALHEIROS; COUTINHO, 2013).

2.6 ÁREAS DE PASSIVOS AMBIENTAIS

A mineração de carvão influenciou fortemente o desenvolvimento na região sul de Santa Catarina. Os atuais passivos, são produtos da relação entre os benefícios econômicos trazidos por essa atividade e os danos ambientais do passado. As áreas impactadas ambientalmente, em sua maior parte, são consequência da mineração de carvão de forma predatória (MUNARI; MILIOLI; SOUZA, 2015).

Conforme Almeida e Sánchez, (2005), a partir de 1989 no Brasil, as empresas de mineração são obrigadas a apresentar um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) ao órgão ambiental, documento que indica a escolha de métodos para estabelecer ou restabelecer a cobertura vegetal nas áreas degradadas, atividade conhecida como revegetação. Segundo a lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (lei que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação), no seu art. 2º, traz a seguinte definição:

XIII - recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (BRASIL, 2000).

Logo, compreende-se por área degradada, aquela que sofreu por ação antrópica, alterações negativas das suas propriedades físicas, químicas e bióticas tais como sua estrutura, suficiente para afetar a estabilidade do ecossistema e prejudicar negativamente seu potencial socioeconômico (ZUQUETTE; RODRIGUES; PEJON, 2013).

No intuito de diagnosticar, monitorar e/ou remediar o quadro de degradação ambiental herdado, surgiram diversas pesquisas e trabalhos técnicos, como o Programa de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina. A recuperação ambiental na área começou a partir do cumprimento e execução da sentença judicial, iniciada com a Ação Civil Pública (ACP nº. 93.8000533-4), proferida pelo Ministério Público Federal, em desfavor às empresas carboníferas, seus diretores e sócios majoritários e à União Federal, visando à recuperação dos passivos ambientais (BRASIL, 2013).

Existem vários cenários de passivos ambientais, em função de uma ampla variedade de processos de degradação devido às atividades de mineração de carvão. Ou seja, áreas impactadas por atividades de lavra de céu aberto, usinas de beneficiamento de carvão mineral, bacias de

decantação de rejeitos finos, depósito de rejeitos grossos piritosos, lavra subterrânea e pátios de estocagem de minério e estéril.

O impacto causado por minerações pode originar em uma área de atuação muito maior que a área de lavra, propiciando, por exemplo, a degradação de recursos hídricos que vão refletir em toda a bacia. De acordo com Dias e Mello, (1998), as minerações de carvão a céu aberto são um exemplo clássico. A oxidação da pirita ocorrente junto ao carvão, possibilita a geração de DAM e solubilizando uma série de metais pesados, podendo trazer impactos para uma área muitas vezes superior que a área de lavra.

Deste modo, o cadastro e caracterização das áreas impactadas, é um dos trabalhos técnicos realizados na Bacia Carbonífera e, no último levantamento feito em campo, foram catalogados um total de 6.503 hectares degradados ambientalmente. A recuperação ambiental nestes locais visa o isolamento hidráulico dos rejeitos, assim como, uma série de outras medidas que variam para cada uma das formas de degradação provocadas pelas atividades de mineração de carvão (BRASIL, 2013).

Dentre as áreas degradadas pela pretérita extração de carvão mineral na região carbonífera de Santa Catarina, aproximadamente 40% são de depósitos de rejeito, onde os resíduos da extração de carvão foram sendo acumulados. Tais locais, geralmente, eram em vales e/ou próximos às minas ou do local de beneficiamento do carvão (ALBA, 2010; ZANCAN; GOMES, 2004). Pode-se citar locais que sofreram diferentes degradação:

- A área Estiva dos Pregos em Capivari de Baixo possui cerca de 150 hectares. Desde a década de 1950, o local sofreu a deposição de rejeitos piritosos, classificado o tipo mais poluente de resíduo de carvão. Constituído por terrenos fofos, do tipo turfa, intercalado de banhados, a região favoreceu a penetração dos resíduos piritosos, principalmente de metais pesados, que atingiram o lençol freático, gerando sérios prejuízos ambientais (TRACTEBEL, 2009);

- As áreas Rio do Meio com 3,25 hectares e Zona 4 com 90 hectares, localizadas em Lauro Müller. Estes dois locais comportaram no passado exploração de carvão mineral a céu aberto (PEZENTE; SANT ANA, 2018).

A definição de uso futuro da área em um PRAD deve ser realizada na fase inicial dos estudos de diagnóstico socioambiental e físico da área (ABNT, 1999). Em linhas gerais, na revisão 6 da Ação Civil Pública, estando fora de áreas de APP, todo uso futuro pode ser acatado, desde que haja respeito a legislação municipal, e não seja comprometido o

isolamento de rejeitos dispostos no local. Caso queira ser dada destinação econômica à área recuperada, deve-se nortear a ocupação e apontar as restrições existentes (BRASIL, 2016b).

2.7 USINA SOLAR FOTOVOLTAICA CIDADE AZUL

A Usina Solar Cidade Azul (USCA) está localizada no município de Tubarão, estado de Santa Catarina. Possui capacidade instalada de 3 MW e utiliza três tecnologias, cada uma com 1 MWp de potência instalada e subdividida entre inversores centrais e string-inverters, de modo a avaliar inversores de diferentes potências, bem como o impacto do Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) em inversores de mesma potência. O sistema conta com as seguintes tecnologias em operação: Silício Amorfo Microcristalino (aSi/ $\mu\text{c-Si}$), Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS) e Silício Policristalino (p-Si) (UFSC, 2018).

A Figura 9 apresenta uma vista aérea da usina Cidade Azul em Tubarão.

Figura 9 – Vista aérea usina Cidade Azul.



Fonte: (UFSC, 2018)

Com 19.424 módulos fotovoltaicos, ela tem capacidade de gerar energia para cerca de 2,5 mil casas em um ano, o equivalente para atender uma cidade entre 10 mil e 15 mil pessoas. Inaugurada em agosto de 2014,

a usina Cidade Azul possui 10 hectares de área, dos quais 4,5 ha são ocupados para as células de captação (ENGIE, 2014).

O projeto de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) Cidade Azul dispõe, para análise de dados e desempenho, uma estação solarimétrica, equipada com sensores variados responsáveis por adquirir dados climáticos; sistema de aquisição de dados e monitoramento, distribuídos em três pontos cruciais, sendo eles: stringbox para medidas por strings, inversor para medidas CC e CA e um multimedidor de energia para medidas CA; sistema supervisório, acompanhando os dados do sistema em tempo real; sistema de tratamento e visualização de dados (UFSC, 2018).

A importância desta abordagem, é pelo fato da usina ter sido construída sobre um antigo depósito de cinzas de carvão produzidos pela usina termoelétrica Jorge Lacerda, que fica próxima do parque, ou seja, em uma área de recuperação ambiental (TRACTEBEL, 2009).

A existência deste empreendimento reforça o que está sendo defendido neste trabalho, que é o aproveitamento de áreas de passivos ambientais provenientes da pretérita extração de carvão para implantação de usinas SF. Outra questão relevante, é que uma das áreas que será avaliada no próximo capítulo, está localizada a menos de 5 km da usina Cidade Azul, em um município vizinho, Capivari de Baixo.

3 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica desta dissertação foi elaborada a partir de análise de artigos, periódicos, dissertações e teses. Após o estudo de todos os temas considerados relevantes, expostos na revisão bibliográfica, a primeira etapa do trabalho foi a escolha de áreas amostrais significativas que poderiam receber sistemas fotovoltaicos, na região carbonífera de Santa Catarina, entre a escarpa da serra geral e o litoral.

Esta região foi escolhida para realização do estudo, devido a vasta quantidade de áreas degradadas pela mineração de carvão, e que não possuem uma destinação de uso futuro. Os locais foram liberados para estudo de acordo com a autorização dos seus respectivos proprietários/envolvidos, como constam no anexo C.

Foram contatadas as empresas proprietárias e/ou responsáveis destas áreas com o intuito de receber liberação formal para visitar, obter informações e citá-las nesta pesquisa. Desta forma, obteve-se as devidas liberações para estudo e visitação dos locais. Os terrenos estão localizados em um raio de aproximadamente 45 km, considerando o município de Criciúma como centro.

Na etapa seguinte, foram definidos os indicadores relevantes que, em conjunto, indicaram a melhor área de passivo ambiental para implantação do sistema SF. Com isso, formou-se um grupo de quatro indicadores principais e para cada indicador deste grupo, foram definidos outros indicadores secundários.

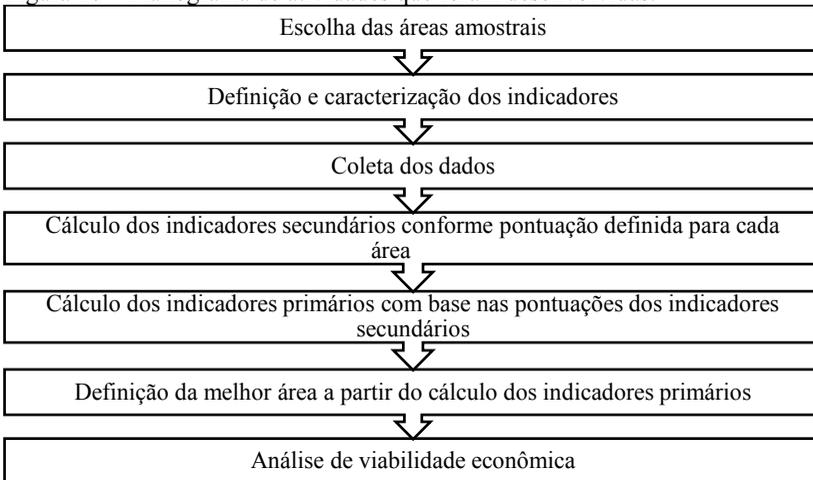
Com base nos dados obtidos dos locais, cada amostra recebeu uma pontuação para cada indicador secundário. A partir dos indicadores secundários, foi possível calcular os indicadores principais, e assim, definiu-se qual área, das três escolhidas, teve o maior potencial para implantação de uma usina solar fotovoltaica.

Ao final, de uma forma simplificada, analisou-se a viabilidade econômica de implantar uma usina solar fotovoltaica no melhor local encontrado na etapa anterior. A partir dos resultados desta análise, é visto se o retorno financeiro obtido com a venda da energia elétrica desta usina SF, cobrirá, além dos custos de implantação da usina, o custo de recuperação ambiental da área.

3.1 FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO

As etapas previamente apresentadas estão esquematizadas no fluxograma da Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma de atividades que foram desenvolvidas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.2 ESCOLHA DAS ÁREAS AMOSTRAIS

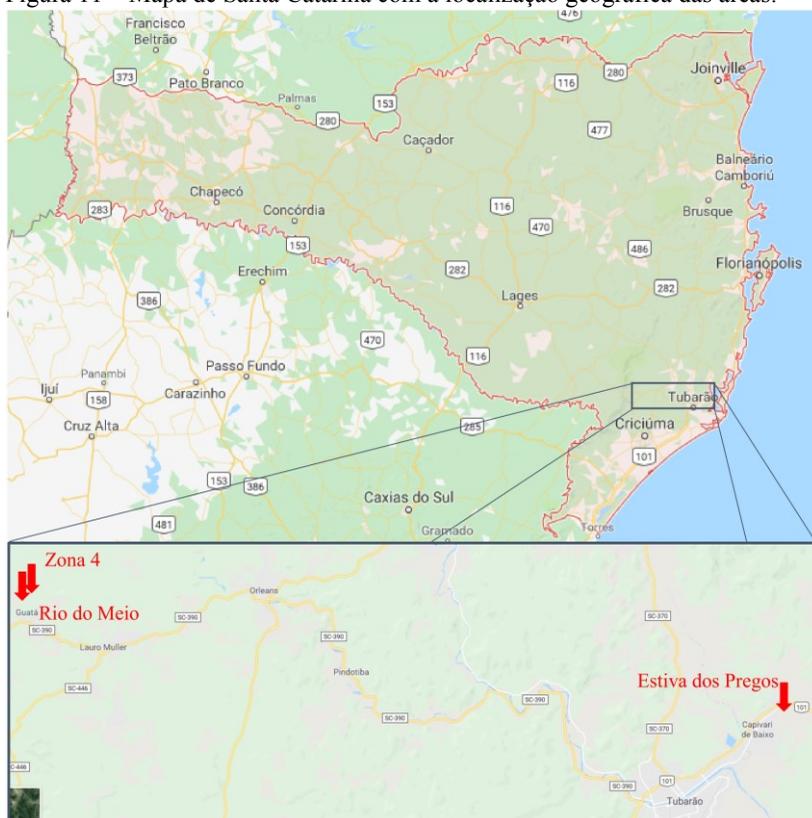
As áreas que foram cedidas pelas empresas para este estudo são locais que já estão com as obras de engenharia concluídas e estão em fase de monitoramento. As áreas disponibilizadas são: um terreno da empresa Catarinense, no município de Lauro Müller, denominada Rio do Meio, outra área da mesma empresa e no mesmo município que a área anterior, denominada Zona 4 e uma área da empresa Cocalit, no município de Capivari de Baixo, denominada Estiva dos Pregos.

Os três locais apresentam algumas características distintas, tais como: localização, níveis de radiação solar, topografia e aspectos sociais das vizinhanças circundantes.

Por meio das fotos de satélite, foi possível analisar a densidade habitacional de cada local de estudo, bem como a delimitação de áreas verdes que representam neste trabalho, regiões de sombreamento. Uma visita aos locais foi importante para complementar esta análise.

A Figura 11 apresenta o mapa de Santa Catarina com o detalhe da localização das três áreas

Figura 11 – Mapa de Santa Catarina com a localização geográfica das áreas.



Fonte: Adaptada de Google Maps (2018).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS INDICADORES

Este subcapítulo tem por objetivo definir e caracterizar os indicadores que serão utilizados nesta pesquisa, com o intuito de criar uma base de dados que poderá ser utilizada para estudos de implantação de sistemas fotovoltaicos em áreas de passivos ambientais, ou a implantação de uma usina fotovoltaica piloto na região de estudo.

Os indicadores foram divididos em quatro grupos: indicadores ambientais, indicadores energéticos, indicadores elétricos e indicadores socioeconômicos, que serão tratados como indicadores principais.

Cada indicador do grupo principal obteve uma pontuação que variou de zero até cem pontos. No entanto os indicadores principais têm pesos diferentes entre si para escolha da melhor área.

Os indicadores secundários também receberam uma pontuação, e da mesma forma, esses indicadores tem pesos diferentes entre si, de modo que alguns são mais significantes que outros, neste caso receberam pesos maiores.

Os indicadores principais foram ponderados conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Percentual determinado para os indicadores principais.

Indicador	Ponderação
Ambiental	30%
Energético	10%
Elétrico	30%
Socioeconômico	30%
Total	100%

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Ao final, cada área amostral acumulou uma pontuação que variou de zero até cem pontos. A soma dos pontos que cada local recebeu por cada indicador, determinou, qual é a melhor área de passivo ambiental para implantação da usina fotovoltaica.

O indicador energético equivale a 10% na escolha do melhor local, devido ao fato da variação de irradiação solar ser pequena, ao comparar áreas na região carbonífera de Santa Catarina, desta forma não terá influência significativa na escolha da melhor área de passivo ambiental para implantação do sistema SF. Para esclarecer melhor, na seção 4.4 é apresentado os valores percentuais da diferença da média anual e do desvio padrão, referentes à irradiação solar global para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.

3.3.1 Indicadores ambientais

Os indicadores ambientais têm por objetivo avaliar a atual situação ambiental das áreas amostrais. Os indicadores secundários deste grupo de indicadores são: situação ambiental (se a área está degradada, em fase de recuperação ou recuperada ambientalmente), topografia predominante, o porte da vegetação presente no entorno das áreas, que venham a obstruir a incidência de radiação solar nos módulos fotovoltaicos e precipitação média anual.

A pontuação de cada indicador secundário recebeu, foi definida da seguinte forma:

- Situação Ambiental: se a área está degradada – 0 (zero) ponto, se está em fase de recuperação – 50 (cinquenta) pontos e se está recuperada

ambientalmente ou com obras de engenharia concluídas – 100 (cem) pontos;

- Topografia predominante: relevo muito ondulado – 0 (zero) ponto, relevo pouco ondulado – 50 (cinquenta) pontos e se for planície – 100 (cem) pontos;

- Porte da vegetação circundante – vegetação de grande porte no entorno – 0 (zero) ponto, vegetação de médio porte no entorno – 50 (cinquenta) pontos e sem vegetação no entorno – 100 (cem) pontos;

- Precipitação média anual – é definido 100 pontos para a área/município que tem o menor índice de precipitação média anual (considerando a média superior), para as demais foram calculados o valor proporcional, conforme Equação 1:

$$P_{\text{inf}} = I_i * 100 / I_s \quad (1)$$

Onde:

P_{inf} = Pontuação do indicador “Precipitação média anual” para área com índice de precipitação média anual, maior, em relação a área que recebeu 100 pontos;

I_s = Índice de precipitação média anual da área que está sendo calculado o indicador;

I_i = Índice de precipitação média anual da área que recebeu 100 pontos.

O indicador “situação ambiental” tem um peso significativo, uma vez que, uma área só estará apta para a implantação da usina fotovoltaica após suas obras de engenharia estiverem concluídas.

A topografia do local interfere diretamente na instalação dos módulos fotovoltaicos, pois é necessário que as áreas possuam a maior quantidade possível de terreno plano para instalação dos módulos fotovoltaicos, para que se aproveite o máximo de irradiação solar durante todo o dia.

O porte da vegetação circundante interfere diretamente na geração de energia elétrica, visto que projeta sobras em determinadas horas do dia sobre os módulos.

A média de precipitação anual se refere à média de chuva para cada local. Logo, a área com o maior índice de precipitação anual é afetada diretamente na geração de energia elétrica, uma vez que no momento em que está chovendo, não se tem geração de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos. No entanto, a variação da precipitação média anual para os dois municípios, onde as três áreas estão localizadas, não é tão

significativa, variando entre 1500 mm e 1700 mm para o município de Lauro Müller, e entre 1100 mm e 1300 mm para o município de Capivari de Baixo. Desta forma este indicador teve uma ponderação menor em relação aos outros indicadores deste grupo (PANDOLFO et al., 2002).

O percentual que cada indicador secundário, para composição final da pontuação deste grupo de indicadores, é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Valor percentual dos indicadores ambientais.

Indicador	Ponderação
Situação ambiental	30%
Topografia	30%
Porte da vegetação circundante	25%
Precipitação média anual	15%
Total	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.3.2 Indicadores energéticos

O indicador energético tem por objetivo avaliar o potencial energético em cada área amostral, porém este indicador não tem um peso significativo na escolha do melhor local para implantação do SF, visto que, a variação de irradiação solar é insignificante na região onde estão situadas as áreas objetos deste estudo, ou seja, o nível de irradiação solar para os dois municípios é praticamente o mesmo.

Entretanto se o estudo contemplasse áreas em diferentes regiões do Brasil, essa variação poderia ter um peso importante, haja vista que o nível de irradiação solar tem variações significativas em diferentes regiões do país.

Os dados que servem de base para compor os indicadores energéticos terão grande valia para um estudo de viabilidade econômica deste sistema, pois é necessário ter todas as informações energéticas para calcular a produção de energia elétrica.

Os indicadores energéticos são compostos pelos seguintes indicadores: fator de capacidade, produtividade do sistema SF e razão de performance do sistema.

Os dados energéticos são obtidos em diferentes bases de dados. Neste caso, foi adotado como base de dados o simulador solar do Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (INSTITUTO IDEAL, 2017) que utiliza a base de dados do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA). Após carregar o programa com o endereço ou localização geográfica de cada área, o

mesmo fornece os dados de: irradiação solar global mensal e anual, produtividade do sistema, fator de capacidade e razão de performance.

As pontuações de cada indicador do grupo de indicadores energéticos foram obtidas da seguinte forma:

- Produtividade do sistema – é definido 100 pontos para a área/município que tem o maior índice de produtividade do sistema, para as demais foram calculados o valor proporcional, conforme Equação 2;

- Fator de capacidade – é definido 100 pontos para a área/município que tem o maior índice de fator de capacidade, para as demais foram calculados o valor proporcional, conforme Equação 2; e

- Razão de performance – é definido 100 pontos para a área/município que tem o maior índice de Razão de performance, para as demais foram calculados o valor proporcional, conforme Equação 2.

$$P_{inf} = I_1 * 100 / I_s \quad (2)$$

Onde:

P_{inf} = Pontuação da área a ser calculada que teve índice inferior, em relação a área que recebeu 100 pontos;

I_s = Índice do indicador da área que recebeu 100 pontos;

I_1 = Índice da área que está sendo calculado o indicador.

Os índices são os valores encontrados para produtividade do sistema (kWh/kWp), fator de capacidade (%) e razão de performance (%).

Cada indicador secundário tem uma ponderação. A soma ponderada de todos os indicadores deste grupo será a pontuação do grupo dos indicadores energéticos. O Quadro 4 apresenta a ponderação e a faixa de pontuação de cada indicador deste grupo.

Quadro 4 – Valor percentual dos indicadores energéticos.

Indicador	Pontuação	Ponderação	Pontuação ponderada
Produtividade do sistema	0 - 100	45%	0 - 45
Fator de capacidade	0 - 100	45%	0 - 45
Razão de performance	0 - 100	10%	0 - 10
Total		100%	0 - 100

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O indicador “razão de performance” recebeu menor ponderação, uma vez que, a sua contribuição para redução ou aumento da eficiência de um módulo é pouco significante na região de estudo, pois, como

apresentado na seção 4.4, é pequena a variação de irradiação solar na região de estudo.

3.3.3 Indicadores elétricos

O indicador elétrico tem grande importância dentre os quatro grupos de indicadores, uma vez que, para utilizar a energia gerada pelo sistema proposto, é necessário a conexão da usina com a rede de distribuição ou transmissão de energia elétrica da concessionária ou da cooperativa.

O indicador elétrico possui os seguintes indicadores secundários: distância entre cada área de estudo e a rede de energia elétrica mais próxima e a potência máxima suportada pela respectiva rede. Estes indicadores foram escolhidos devido a necessidade de se conectar uma usina fotovoltaica à rede elétrica. Teve maior pontuação neste grupo de indicadores, a área que possui a rede de distribuição mais próxima e a área cuja a rede suporta maior potência.

Para obter a distância da rede de distribuição ou transmissão com as respectivas áreas amostrais, foi necessário visitar cada local e anotar as coordenadas geográficas do ponto em que a rede elétrica é mais próxima de cada área. Posteriormente, com o auxílio do software *Google Earth*, foi traçado um caminho de cada terreno até as respectivas redes de distribuição, desta forma, obtido as distâncias.

As informações sobre as redes elétricas foram fornecidas pelas concessionárias de energia elétrica de cada uma das áreas investigadas. As áreas Rio do Meio e Zona 4, no município de Lauro Müller, são atendidas pela Cooperativa de Eletrificação Rural (Coopermilá) e a área Estiva dos Pregos, no município de Capivari de Baixo, é atendida pela Celesc Distribuição S/A.

O cálculo para determinar a potência máxima suportada pela rede de distribuição foi efetuado com o auxílio da Equação 3 (IEEE, 2010):

$$P = I * \sqrt{3} * V * \cos\phi \quad (3)$$

Onde:

P = Potência ativa (W);

V = Tensão nominal da rede de distribuição (V);

I = Corrente máxima suportada pelo cabo (A);

Cos ϕ = Fator de potência da carga.

As pontuações de cada indicador do grupo de indicadores elétricos foram obtidas da seguinte forma:

- Distância da rede/área – é definido 100 pontos para a área em que a rede de distribuição elétrica é mais próxima. Para as demais foram calculados o valor proporcional, conforme Equação 4;

- Potência máxima admissível – é definido 100 pontos para a área em que a rede de distribuição elétrica suporta maior potência, conforme obtido na Equação 3. Para as demais foram calculados o valor proporcional, conforme Equação 4;

$$P_{\text{ind}} = I_i * 100 / I_s \quad (4)$$

Onde:

P_{ind} = Pontuação do indicador para a área a ser calculada, ou seja, que teve índice inferior em relação a área que recebeu 100 pontos;

I_s = Índice do indicador da área que recebeu 100 pontos;

I_i = Índice da área que está sendo calculado o indicador.

Os índices são os valores encontrados para “distância rede/área” (metros) e “potência máxima admissível” (W).

O Quadro 5 apresenta a ponderação definida para cada indicador. Foi considerado que os dois indicadores têm o mesmo nível de importância, dado que custo para ampliação da rede e/ou reforço da sua potência suportada, são similares. Desta forma cada um indicador equivale a 50%. A soma ponderada de todos os indicadores deste grupo determina a pontuação do indicador elétrico para cada área.

Quadro 5 – Valor percentual dos indicadores elétricos.

Indicador	Pontuação	Ponderação	Pontuação Ponderada
Distância rede/área	0 - 100	50%	0 - 50
Potência máxima admissível	0 - 100	50%	0 - 50
Total		100%	0 - 100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

3.3.4 Indicadores socioeconômicos

Este grupo de indicadores apresentam informações nos âmbitos social e econômico no que diz respeito à área e à microrregião onde cada uma está localizada. É composto pelos seguintes indicadores secundários: custo de investimento de recuperação ambiental das áreas de passivos

ambientais, uso do solo, condições de acesso viário às áreas amostrais e visibilidade do empreendimento.

As pontuações de cada indicador do grupo de indicadores socioeconômicos foram obtidas da seguinte forma:

- Custo de recuperação – para a área que teve o menor custo de recuperação por hectare, atribuiu-se 100 pontos, e para as demais, foi calculada sua pontuação com base na Equação 5;

$$P_{\text{ind}} = C_i * 100 / C_s \quad (5)$$

Onde:

P_{ind} = Pontuação do indicador para a área a ser calculada, ou seja, para as áreas que tiveram maior custo de recuperação em relação a área com menor custo;

C_s = custo de recuperação em (R\$) da área que recebeu 100 pontos;

C_i = custo de recuperação em (R\$) da área que está sendo calculado o indicador.

- Uso do solo – recebeu 100 pontos a área que está totalmente disponível, ou seja, não tem nenhuma ocupação de modo irregular. Para áreas que estão sendo utilizadas por terceiros ou posseiros, recebe 0 (zero) ponto;

- Acessos – Para pontuar este indicador, foram considerados cinco quesitos a serem respondidos. Para cada resposta for positiva, a área recebeu 20 pontos. Segue abaixo os quesitos:

- a) Possui acesso direto à rodovia?
- b) Está localizada em vias pavimentadas?
- c) Possui acesso até o interior da área?
- d) Possui estrada interna que atravessa toda extensão da área?
- e) Os acessos internos são considerados em bom estado?

- Visibilidade do empreendimento – para pontuar este indicador, foram considerados quatro quesitos a serem respondidos. Para cada resposta for positiva, a área recebeu pontuação conforme segue:

- a) Se possui visibilidade por quem transita no local, 30 pontos;
- b) Se está localizada em Rodovia Federal, 50 pontos;
- c) Se está localizada em Rodovia Estadual, 25 pontos;
- d) Se está localizado em perímetro urbano ou próximo, 20 pontos;

O Quadro 6 apresenta a ponderação definida para cada indicador. No entanto, não há um balizador para definir o percentual que cada um dos indicadores deste grupo representa para os indicadores socioeconômicos. Desta forma, foi considerado que todos têm a mesma importância. A soma ponderada de todos os indicadores deste grupo, determina a pontuação do indicador socioeconômico para cada área.

Quadro 6 – Valor percentual dos indicadores socioeconômicos.

Indicador	Pontuação	Ponderação	Pontuação ponderada
Custo de recuperação	0 – 100	25%	0 – 25
Uso do solo	0 – 100	25%	0 – 25
Acessos	0 – 100	25%	0 – 25
Visibilidade do empreendimento	0 – 100	25%	0 – 25
Total		100%	0 – 100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

3.4 COLETA DOS DADOS

Os dados para formar os indicadores foram obtidos por meios distintos. As informações para elaborar os indicadores ambientais, energéticos, elétricos e socioeconômicos foram coletadas conforme apresentadas no Quadro 7, no Quadro 8, Quadro 9 e no Quadro 10, respectivamente.

Quadro 7 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores ambientais.

Indicadores Ambientais	
Indicador	Forma de obter os dados
Situação ambiental	<i>in loco e proprietários/envolvidos</i>
Topografia	<i>in loco</i>
Porte da vegetação circundante	<i>in loco</i>
Média de precipitação anual	(PANDOLFO et al., 2002)

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Quadro 8 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores energéticos.

Indicadores energéticos	
Indicador	Forma de obter os dados
Produtividade do sistema	(INSTITUTO IDEAL, 2017)
Fator de capacidade	(INSTITUTO IDEAL, 2017)
Razão de performance	(INSTITUTO IDEAL, 2017)

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Quadro 9 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores elétricos.

Indicadores elétricos	
Indicador	Forma de obter os dados
Distância rede/área	<i>in loco e Google Earth</i>
Potência máxima admissível	Concessionárias

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Quadro 10 – Forma de obtenção dos dados dos indicadores socioeconômicos.

Indicadores socioeconômicos	
Indicador	Forma de obter os dados
Custo de recuperação	Proprietário/Envolvido
Uso do solo	<i>in loco</i>
Acessos	<i>in loco</i>
Visibilidade do empreendimento	<i>in loco</i>

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados sistematizados, a descrição das áreas adotadas para o estudo técnico, assim como seus respectivos indicadores.

A pontuação tem o intuito de definir qual local é o mais indicado a receber um sistema SF. No entanto, a área menos pontuada tem grande potencial solar, quando comparado com alguns países da Europa que já são tradicionais na obtenção da energia elétrica por meio da irradiação solar.

4.1 ÁREA RIO DO MEIO

Localizada na porção norte do município de Lauro Müller, em área no sopé da escarpa da Serra Geral, ou seja, de relevo ondulado, maior umidade relativa do ar e índices pluviométricos mais acentuados em relação ao restante da bacia carbonífera. Possui 3,25 hectares. Suas coordenadas geográficas no centro do polígono maior são: Latitude, 28°19'59.86"S e longitude, 49°26'32.79"O. Esta área está com as obras de engenharia concluídas há cinco anos, como é mostrada na Figura 12.

Figura 12 – Área Rio do Meio



Fonte: Adaptada pelo Autor do Google Maps (2016).

4.1.1 Indicadores ambientais

Conforme visita em campo no dia 19 de outubro de 2017, na área Rio do Meio, foram verificadas as seguintes situações:

- a) A área está com as obras de engenharia concluídas.
- b) Possui uma topografia um pouco ondulada, com poucas partes planas.
- c) Não possui vegetação de grande porte no entorno da área.
- d) A precipitação anual máxima é de 1700 mm (PANDOLFO et al., 2002).

O relevo desta área pode ser observado na Figura 13, bem como a vegetação existente.

Figura 13 – Área Rio do Meio, vista do relevo e cobertura vegetal.

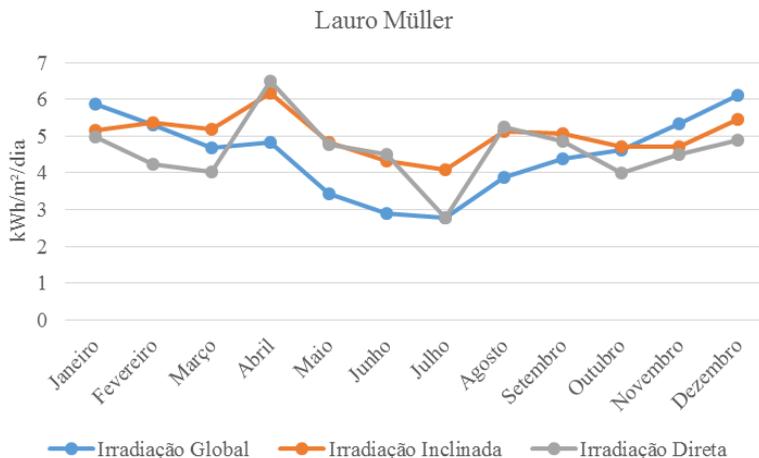


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.1.2 Indicadores energéticos

A Figura 14 representa a variação da irradiação global horizontal, inclinada e direta durante os meses do ano para as áreas Rio do Meio e Zona 4 no município de Lauro Müller, conforme base de dados do SWERA (INSTITUTO IDEAL, 2017).

Figura 14 – Irradiação solar média diária mensal no município de Lauro Müller.



Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

Os dados anuais da irradiação global horizontal, irradiação global inclinada e irradiação direta, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Irradiação solar anual no município de Lauro Müller.

Irradiação Anual de Lauro Müller	
Global horizontal (kWh/m ²)	1.664,77
Global inclinada (kWh/m ²)	1.852,01
Direta (kWh/m ²)	1.681,19

Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

Os dados dos indicadores energéticos, que são: produtividade do sistema, fator de capacidade e razão de performance, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Indicadores energéticos das áreas Rio do Meio e Zona 4.

Indicadores Energéticos	
Produtividade do sistema (kWh/kWp)	1240,00
Fator de Capacidade (%)	14,16
Razão de performance (%)	74,48

Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

4.1.3 Indicadores elétricos

Foram feitas as seguintes constatações com relação ao sistema elétrico no entorno, a partir da visita à área Rio do Meio:

- a) Existem redes de distribuição de energia elétrica no local.
- b) A rede está localizada na estrada geral, bem próxima à referida área, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Vista da rede elétrica na área Rio do Meio.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Os dados necessários para determinar os indicadores elétricos foram fornecidos pela Cooperativa de Eletrificação Rural de Lauro Müller, Coopermila e estão discriminados no Quadro 11.

Quadro 11 – Dados da rede elétrica da área Rio do Meio.

Descrição	
Nível de tensão da rede	13,8 kV
Tipo de cabo utilizado	4 CAA

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Conforme a tabela do anexo A, o cabo 4 CAA tem capacidade de condução de corrente de 140A. O fator de potência utilizado foi de 0,92 (FECOERUSC, 2009).

Considerando as informações obtidas e com o auxílio da Equação 3, determinou-se a potência máxima suportada pela rede de distribuição defronte as áreas Rio do Meio e Zona 4, que é 3,08MW.

4.1.4 Indicadores socioeconômicos

Após a visita *in loco*, foram constatadas as seguintes situações com relação à área Rio do Meio:

- a) A respectiva área foi cercada com eletrificador de cerca rural, possivelmente por algum morador vizinho do terreno, o que impossibilitou o acesso até o local.
- b) Está localizada em meio rural, da qual, a densidade de habitantes é visivelmente baixa. A comunidade mais povoada fica localizada a aproximadamente cinco quilômetros deste local.
- c) Não está sendo utilizada ou ocupada de forma irregular.
- d) A estrada geral para chegar na entrada do terreno não é pavimentada, entretanto, em boas condições.
- e) O acesso da estrada geral até a respectiva área se dá por caminho de difícil acesso, ou seja, não há estrada aberta.
- f) A distância da estrada geral até o início da respectiva área, é de aproximadamente 100 metros.
- g) Uma usina instalada neste local não teria muita visibilidade, uma vez que, o fluxo de pessoas é relativamente pequeno no local, quando comparado com a área Estiva dos Pregos. A vegetação na frente do terreno diminui a visibilidade do empreendimento.

A Figura 16 apresenta a vista de uma pequena parte da área, no entanto não foi possível acessá-la devido as barreiras colocadas por locais.

Figura 16 – Vista mais próxima da área Rio do Meio.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

A Figura 17 mostra o acesso entre a estrada geral e o local mais próximo da respectiva área.

Figura 17 – Acesso entre a estrada geral e o local mais próximo da área Rio do Meio.



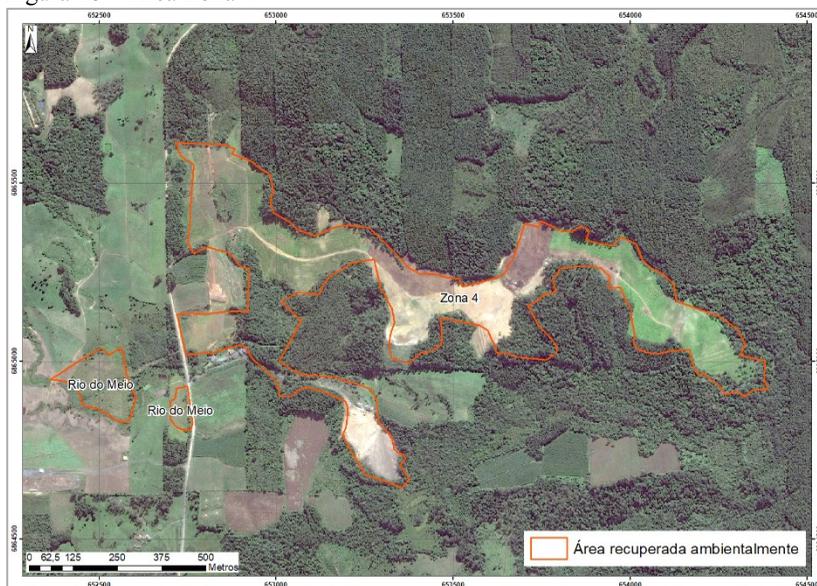
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.2 ÁREA ZONA 4

Situada na localidade de Capivaras Alta, interior do município de Lauro Müller, no sopê da escarpa da Serra Geral, consiste numa área com as obras de engenharia concluídas desde 31/12/2012. No local, se praticou lavra de carvão, pelo método a céu aberto.

Totaliza 40,03 hectares em topografia ondulada, contudo, com faces voltadas para norte. Existe reflorestamento de pinus e eucaliptos no entorno e dispersão natural dentro da área, o que não compromete o uso futuro para instalação de módulos, desde que executado um manejo (Figura 18).

Figura 18 – Área Zona 4



Fonte: Adaptada do Google Mapas (2016).

4.2.1 Indicadores ambientais

De acordo com a visita *in loco*, foram constatadas as seguintes situações com relação à área Zona 4:

- Está com as obras de engenharia concluídas;
- Possui topografia um pouco ondulada, com poucas partes planas;

- c) Existe vegetação que circundam toda a área, bem como, vegetação espontânea não controlada no interior do terreno.
- d) A precipitação anual máxima é de 1700 mm (PANDOLFO et al., 2002).

O relevo de uma parte desta área pode ser observado na Figura 19, bem como a vegetação existente.

Figura 19 – Área Zona 4, vista do relevo e vegetação.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.2.2 Indicadores energéticos

Os indicadores energéticos para a área Zona 4 serão os mesmos encontrados para a área Rio do Meio, visto que, os dois terrenos estão distantes menos de 500 metros um do outro, portanto, não há variação nos indicadores energéticos para os dois locais.

4.2.3 Indicadores elétricos

A partir da visita à área Zona 4, foram realizadas as seguintes constatações com relação ao sistema elétrico no entorno deste terreno:

- a) Existem redes de distribuição de energia elétrica no local.
- b) A rede está localizada na estrada geral, bem próxima à referida área, como pode ser visto na Figura 20.

Os dados necessários para determinar os indicadores elétricos deste local, são os mesmos da área Rio do Meio, neste caso o resultado encontrado é o mesmo para ambas.

Figura 20 – Vista da rede elétrica na área Zona 4.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.2.4 Indicadores socioeconômicos

E relação aos indicadores socioeconômicos para a área Zona 4, foram verificadas as situações a seguir.

- a) Está localizada em meio rural e a densidade de habitantes é visivelmente baixa. A comunidade mais povoada fica localizada a aproximadamente cinco quilômetros deste local.
- b) A estrada geral para chegar na entrada que dá acesso ao terreno não é pavimentada, entretanto, em boas condições.
- c) O acesso da estrada geral até a respectiva área é considerado regular.
- d) Não está sendo utilizada ou ocupada de forma irregular;
- e) A distância da estrada geral até o início da respectiva área, é de aproximadamente 100 metros.
- f) Uma usina instalada neste local, teria pouca visibilidade, visto que, o fluxo de pessoas é pequeno no local e a vegetação no entorno “esconderia” o empreendimento.

Na Figura 21 pode ser visto o interior da área Zona 4. Percebe-se que a vegetação não foi controlada e cresceu sem intervenção.

Figura 21 – Vista no interior da área Zona 4.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

O acesso principal é apresentado na Figura 22. Percebe-se que existe vegetação de grande porte, o que dificulta a visibilidade da área por quem transita pela estrada geral.

Figura 22 – Acesso principal da área Zona 4.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.3 ÁREA ESTIVA DOS PREGOS

Pertencente a empresa Cocalit, a área (A) está localizada imediata à mancha urbana do município de Capivari de Baixo, com 110 hectares em terreno de planície, mais próximo à orla marítima, portanto, de maior incidência solar e menor precipitação. Suas coordenadas geográficas centrais são: Latitude, 28°25'35.28"S e longitude, 48°56'5.50"O. Este local está com as obras de engenharia concluídas há cinco anos. A Figura 23 apresenta a imagem de satélite de toda a área Estiva dos Pregos, no entanto, será citada neste estudo área A.

Figura 23 – Área Estiva dos Pregos



Fonte: Elaborada pelo autor (2016).

4.3.1 Indicadores ambientais

Conforme visita em campo na área Estiva dos Pregos no dia 19 de outubro, foram verificadas as seguintes situações:

- a) Está com as obras de engenharia concluídas;
- b) A topografia do local é considerada plana;
- c) No entorno não há vegetação. Entretanto observa-se o crescimento de vegetação no espaço interno;
- d) A precipitação anual máxima é de 1300 mm (PANDOLFO et al., 2002).

O relevo desta área e a vegetação existente podem ser observados na Figura 24.

Figura 24 – Vista do interior da área Estiva dos Pregos.

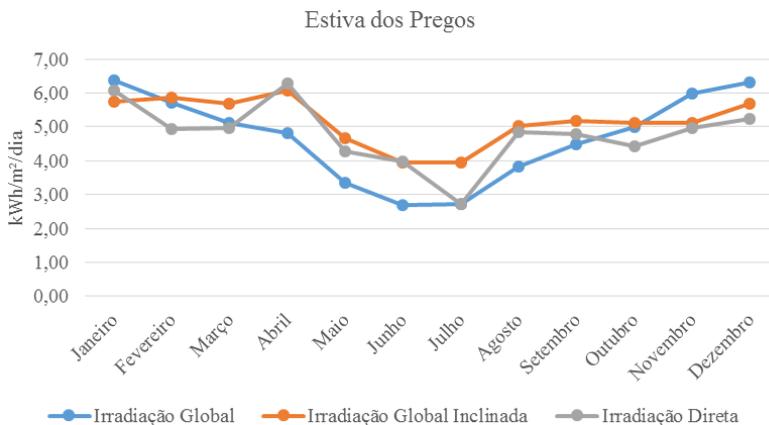


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.3.2 Indicadores energéticos

A Figura 25 representa a variação da irradiação global, irradiação global inclinada e irradiação direta durante os meses do ano para o município de Capivari de Baixo, conforme base de dados do SWERA (INSTITUTO IDEAL, 2017).

Figura 25 – Irradiação solar média diária mensal no município de Capivari de Baixo.



Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

A Tabela 4 apresenta os dados anuais da irradiação global horizontal, irradiação global inclinada e irradiação direta.

Tabela 4 – Irradiação solar anual no município de Capivari de Baixo.

Irradiação Anual de Capivari de Baixo	
Global horizontal (kWh/m ²)	1.739,96
Global inclinada (kWh/m ²)	1.927,20
Direta (kWh/m ²)	1.776,82

Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

Os dados dos indicadores energéticos, que são: produtividade do sistema, fator de capacidade e razão de performance, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Indicadores energéticos para área Estiva dos Pregos.

Indicadores Energéticos	
Produtividade do sistema (kWh/kWp)	1.278,00
Fator de Capacidade (%)	14,59
Razão de performance (%)	73,45

Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

4.3.3 Indicadores elétricos

A partir da visita à área Estiva dos Pregos foram feitas as seguintes constatações com relação ao sistema elétrico no entorno do local:

- a) Redes de distribuição de energia elétrica existem no local.
- b) A rede de distribuição está localizada na estrada geral, bem próxima à referida área, mais exatamente no lado oposto da estrada onde o terreno está localizado, como pode ser observado na Figura 26.

Os dados necessários para determinar os indicadores elétricos, foram fornecidos pela Celesc e estão discriminados no Quadro 12.

Quadro 12 – Dados da rede elétrica da área Estiva dos Pregos.

Descrição	
Nível de tensão da rede	13,8 kV
Tipo de cabo utilizado	4/0 CA

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Conforme a tabela do anexo B, o cabo 4/0 CA tem capacidade de condução de corrente de 365A. O fator de potência utilizado foi de 0,92 (FECOERUSC, 2009).

Considerando as informações obtidas e com o auxílio da Equação 3, determinou-se a potência máxima suportada pela rede de distribuição defronte a área Estiva dos Pregos, que é 8,72MW.

Figura 26 – Vista da rede elétrica na área Estiva dos Pregos.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.3.4 Indicadores socioeconômicos

De acordo com a visita *in loco*, foram constatadas as seguintes situações sobre a área:

- a) Está localizada em uma estrada paralela a rodovia BR 101, com fácil acesso até sua entrada.
- b) Existe no seu interior, uma estrada não pavimentada, no entanto, em boas condições e dá acesso a toda extensão do terreno.
- c) Não está sendo utilizado o espaço.
- d) Teria grande visibilidade uma usina SF instalada neste local, visto que, seria facilmente vista por quem transita pela BR101.
- e) Não possui vegetação no entorno que “esconderia” o empreendimento e a área fica situada em uma cota abaixo do nível da rodovia, melhorando ainda mais a visibilidade de um empreendimento.

A Figura 27 apresenta a vista interna do terreno, em uma parte mais próxima a estrada de acesso.

Figura 27 – Vista da frente do terreno para a BR 101.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Na Figura 28 é possível visualizar, de dentro do terreno, a igreja católica da comunidade Estiva dos Pregos.

Figura 28 – Vista de dentro do terreno para a igreja católica da comunidade Estiva dos Pregos.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

A Figura 29 mostra a estrutura abandonada do antigo lavador de carvão de Capivari de Baixo, Lavacap.

Figura 29 – Estrada dentro do terreno.

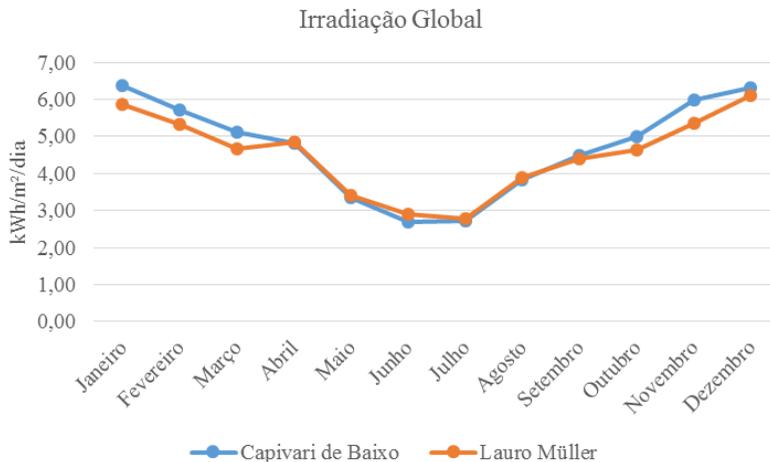


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.4 COMPARATIVO ENERGÉTICOS DAS ÁREAS AMOSTRAIS

Um comparativo da irradiação solar global durante os meses do ano, para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller, pode ser visto na Figura 30.

Figura 30 – Comparativo da irradiação solar global média diária mensal para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.



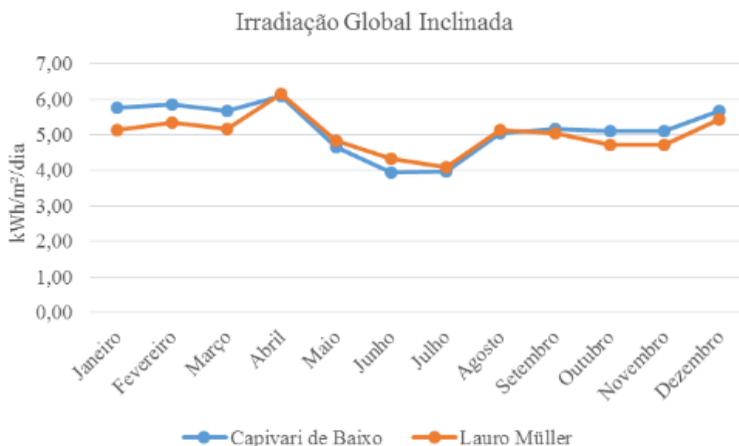
Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

Percebe-se que a variação da irradiação solar entre os dois municípios, devido à proximidade de ambos, é pequena, em que a diferença percentual da média anual da irradiação solar global é de 4%, enquanto a diferença percentual do desvio padrão da irradiação solar global é de 17%. As componentes irradiação solar global inclinada, irradiação solar global horizontal e irradiação solar global direta apresentaram valores análogos.

Desta forma, ao comparar áreas que se situam em regiões próximas e com condições meteorológicas e energéticas semelhantes, o indicador energético não é critério de escolha do melhor local para implantação de um sistema SF.

A Figura 31 apresenta um comparativo da irradiação global inclinada durante os meses do ano para os municípios de Capivari de Baixo, área Estiva dos Pregos e Lauro Müller, áreas Rio do Meio e Zona 4.

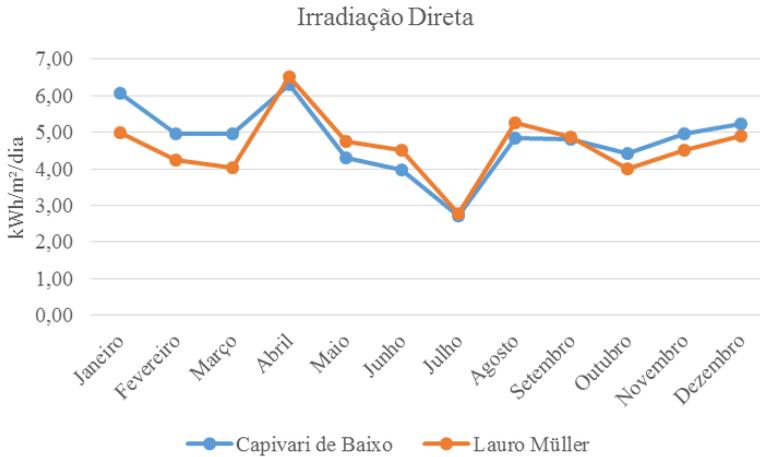
Figura 31 – Comparativo da irradiação global inclinada média diária mensal para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.



Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

A Figura 32 apresenta um comparativo da irradiação solar direta durante os meses do ano para os municípios de Capivari de Baixo, área Estiva dos Pregos e Lauro Müller, áreas Rio do Meio e Zona 4.

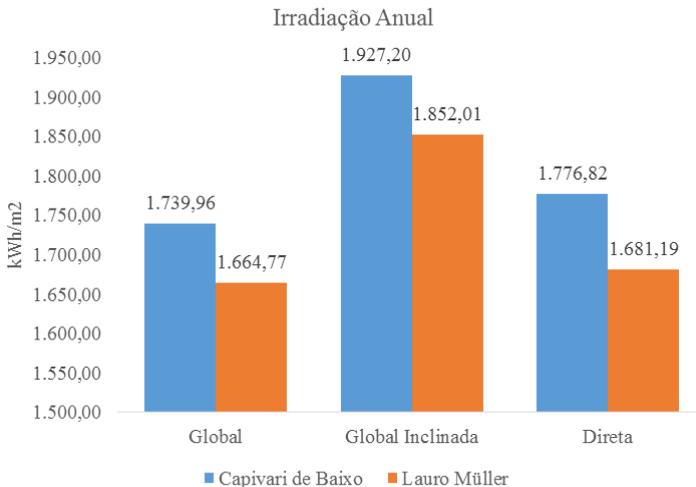
Figura 32 – Comparativo da irradiação solar direta média diária mensal para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.



Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

A Figura 33 apresenta um comparativo da irradiação solar anual para os municípios de Capivari de Baixo, área Estiva dos Pregos e Lauro Müller, áreas Rio do Meio e Zona 4.

Figura 33 – Comparativo da irradiação solar anual para os municípios de Capivari de Baixo e Lauro Müller.



Fonte: Adaptado de Instituto Ideal, (2017).

4.5 RESULTADOS DOS INDICADORES

Será apresentado a pontuação que cada área recebeu em relação aos seus indicadores, com base nos dados obtidos em campo e nas bases de dados. Contudo, esta não é a pontuação final para cada indicador, tendo em vista que, cada um dos quatro indicadores tem ponderações diferentes entre si, conforme definidas no Quadro 2.

4.5.1 Área Rio do Meio

A pontuação recebida referente aos indicadores ambientais, energéticos, elétricos e socioeconômicos da área Rio do Meio, são apresentados na Tabela 6, na Tabela 7, na Tabela 8 e na Tabela 9 respectivamente.

Os indicadores ambientais, apresentados na Tabela 6, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “situação ambiental” – para este indicador, todos os três locais receberam pontuação máxima, pois todos já estão com as obras de engenharia de recuperação ambiental concluídas;
- b) Indicador “topografia” – para a área Rio do Meio foi determinado 50 pontos para este indicador, pois o terreno possui relevo pouco ondulado;
- c) Indicador “porte da vegetação circundante” – este local não possui vegetação no entorno, neste caso recebeu 100 pontos;
- d) Indicador “precipitação máxima anual” – Aplicando a Equação 2, esta área recebeu 76 pontos neste indicador.

Tabela 6 – Pontuação dos indicadores ambientais - Rio do Meio.

Indicadores Ambientais - Rio do Meio			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Situação ambiental	100	30%	30
Topografia	50	30%	15
Porte da vegetação circundante	100	25%	25
Precipitação média anual	76	15%	11,4
	Total	100%	81,4

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores energéticos, apresentados na Tabela 7, foram pontuados com base nos valores encontrados na Tabela 3:

- a) Indicador “produtividade do sistema” – aplicando a Equação 2, tendo como base a área que teve o maior valor obtido para produtividade do sistema, obteve-se a pontuação para este indicador;
- b) Indicador “fator de capacidade” – utilizando-se o mesmo método do indicador anterior, obteve-se a pontuação deste indicador;
- c) Indicador “razão de performance” – este indicador recebeu pontuação máxima para esta área e para Zona 4, visto que, ambas apresentaram o maior valor em porcentagem para a razão de performance.

Tabela 7 – Pontuação dos indicadores energéticos - Rio do Meio.

Indicadores energéticos - Rio do Meio			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Produtividade do sistema	97	45%	43,65
Fator de capacidade	97	45%	43,65
Razão de performance	100	10%	10
Total		100%	97,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores elétricos, apresentados na Tabela 8, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “distância rede/área” – a distância entre a redes de distribuição e os respectivos locais são similares, deste modo, para este indicador todos receberam pontuação máxima; e
- b) Indicador “potência máxima admissível” – a pontuação desta área foi obtida com o auxílio da Equação 4. A área Estiva dos Pregos obteve pontuação máxima, pois, dentre as três, é a que possui a rede de distribuição com maior potência admissível.

Tabela 8 – Pontuação dos indicadores elétricos - Rio do Meio.

Indicadores elétricos - Rio do Meio			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Distância rede/área	100	50%	50
Potência máxima admissível	35	50%	17,5
Total		100%	67,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores socioeconômicos, apresentados na Tabela 9, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “custo de recuperação” – este indicador recebeu pontuação máxima nas três áreas, pois todas apresentaram o mesmo custo de recuperação;
- b) Indicador “uso do solo” – todas as três áreas receberam 100 pontos, visto que nenhuma delas estão ocupadas.
- c) Indicador “acessos” – a pontuação deste indicador foi calculada com base no subitem 3.3.4;
- d) Indicador “visibilidade do empreendimento” – idem item c) anterior.

Tabela 9 – Pontuação dos indicadores socioeconômicos - Rio do Meio.

Indicadores socioeconômicos - Rio do Meio			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Custo de recuperação	100	25%	25
Uso do solo	100	25%	25
Acessos	50	25%	12,5
Visibilidade do empreendimento	0	25%	0
Total		100%	62,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

4.5.2 Área Zona 4

A pontuação recebida referente aos indicadores ambientais, energéticos, elétricos e socioeconômicos da área Zona 4, são apresentados na Tabela 10, na Tabela 11, na Tabela 12 e na Tabela 13 respectivamente. Todavia esta não é a pontuação final para cada indicador, tendo em vista que, cada um dos quatro indicadores tem ponderações diferentes entre si, conforme definidas no Quadro 2.

Os indicadores ambientais apresentados na Tabela 10, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “situação ambiental – para este indicador, todas as três áreas receberam a pontuação máxima, pois todas já estão com as obras de engenharia concluídas;
- b) Indicador “topografia” – para a área Zona 4 foi determinado 50 pontos para este indicador, pois o terreno possui relevo pouco ondulado;
- c) Indicador “porte da vegetação circundante” – esta área possui vegetação de porte alto no entorno, neste caso não recebeu nenhum ponto para este indicador;

- d) Indicador “precipitação máxima anual” – Aplicando a Equação 2, esta área recebeu 76 pontos neste indicador.

Tabela 10 – Pontuação dos indicadores ambientais - Zona 4.

Indicadores Ambientais - Zona 4			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total Ponderado
Situação ambiental	100	30%	30
Topografia	50	30%	15
Vegetação circundante	0	25%	0
Precipitação máxima anual	76	15%	11,4
Total		100%	56,4

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores energéticos apresentados na Tabela 11, foram pontuados com base nos valores encontrados na Tabela 3 e foram determinados da seguinte forma:

- Indicador “produtividade do sistema” – aplicando a Equação 2, tendo como base a área que teve o maior valor obtido para produtividade do sistema, obteve-se a pontuação para este indicador;
- Indicador “fator de capacidade” – utilizando-se o mesmo método do indicador anterior, obteve-se a pontuação deste indicador;
- Indicador “razão de performance” – este indicador recebeu pontuação máxima para esta área e para Rio do Meio, visto que, ambas apresentaram o maior valor percentual para a razão de performance.

Tabela 11 – Pontuação dos indicadores energéticos - Zona 4.

Indicadores energéticos - Zona 4			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Produtividade do sistema	97	45%	43,65
Fator de capacidade	97	45%	43,65
Razão de performance	100	10%	10
Total		100%	97,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores elétricos, apresentados na Tabela 12, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “distância rede/área” – todos os três locais possuem a mesma distância entre a estrada geral e o interior das áreas, neste caso, todas receberam pontuação máxima para este indicador;
- b) Indicador, “potência máxima admissível” - a pontuação desta área foi obtida com o auxílio da Equação 4. Estiva dos Pregos obteve pontuação máxima, pois, dentre as três, é a que possui a rede de distribuição com maior potência admissível;

Tabela 12 – Pontuação dos indicadores elétricos - Zona 4.

Indicadores elétricos - Zona 4			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Distância rede/área	100	50%	50
Potência máxima admissível	35	50%	17,5
	Total	100%	67,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores socioeconômicos, apresentados na Tabela 13, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “custo de recuperação” – este indicador recebeu pontuação máxima nas três áreas, pois todas tiveram o mesmo custo de recuperação, conforme informações das empresas;
- b) Indicador “uso do solo” – todas as três áreas receberam 100 pontos, visto que nenhuma delas estão ocupadas.
- c) Indicador “acessos” – a pontuação deste indicador foi calculada com base no subitem 3.3.4;
- d) Indicador “visibilidade do empreendimento” – idem item c) anterior.

Tabela 13 – Pontuação dos indicadores socioeconômicos - Zona 4.

Indicadores socioeconômicos - Zona 4			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Custo de recuperação	100	25%	25
Uso do solo	100	25%	25
Acessos	70	25%	17,5
Visibilidade do empreendimento	0	25%	0
	Total	100%	67,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

4.5.3 Área Estiva dos Pregos

A pontuação recebida referente aos indicadores ambientais, energéticos, elétricos e socioeconômicos, da área Estiva dos Pregos, são apresentados na Tabela 14, na Tabela 15, na Tabela 16 e na Tabela 17 respectivamente. No entanto, esta não é a pontuação final para cada indicador, tendo em vista que, cada um dos quatro indicadores tem ponderações diferentes entre si, conforme definidas no Quadro 2.

Os indicadores ambientais, apresentados na Tabela 14, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “situação ambiental – para este indicador, todas as três áreas receberam pontuação máxima, pois todas já estão com as obras de engenharia de recuperação ambiental concluídas;
- b) Indicador “topografia” – para a área Estiva dos Pregos foi determinado pontuação máxima para este indicador, pois o terreno é considerado plano;
- c) Indicador “porte da vegetação circundante” – como mencionado anteriormente, nesta área não possui vegetação em seu entorno, por essa razão, recebeu máxima pontuação para este indicador;
- d) Indicador “precipitação máxima anual” – Considerando que a precipitação máxima anual para este local é menor, ao comparar com as outras áreas, neste caso, Estiva dos Pregos recebeu 100 pontos.

Tabela 14 – Pontuação dos indicadores ambientais - Estiva dos Pregos.

Indicadores Ambientais - Estiva dos Pregos			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Situação ambiental	100	30%	35
Topografia	100	30%	35
Porte da vegetação circundante	100	25%	15
Precipitação média anual	100	15%	15
Total		100%	100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores energéticos, apresentados na Tabela 15, foram pontuados com base nos valores encontrados na Tabela 5:

- a) Indicador “produtividade do sistema” – este indicador recebeu pontuação máxima para esta área, visto que, apresentou o maior valor para produtividade do sistema;
- b) Indicador “fator de capacidade” – este indicador recebeu pontuação máxima para esta área, visto que, apresentou o maior valor em porcentagem para o fator de capacidade;
- c) Indicador “razão de performance” – aplicando a Equação 2, tendo como base a área que teve o maior valor obtido para razão de performance, obteve-se a pontuação para este indicador;

Tabela 15 – Pontuação dos indicadores energéticos - Estiva dos Pregos.

Indicadores energéticos - Estiva dos Pregos			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Produtividade do sistema	100	45%	45
Fator de capacidade	100	45%	45
Razão de performance	98	10%	9,8
Total		100%	99,8

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores elétricos, apresentados na Tabela 16, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “distância rede/área” – a distância entre as redes de distribuição e as respectivas áreas são similares, deste modo, para este indicador todas receberam pontuação máxima; e
- b) Indicador “potência máxima admissível” – foi determinado pontuação máxima para o indicador “potência máxima admissível” para Estiva dos Pregos, uma vez que, a rede desta área apresentou maior potência admissível em relação a rede dos outros locais;

Tabela 16 – Pontuação dos indicadores elétricos - Estiva dos Pregos.

Indicadores elétricos - Estiva dos Pregos			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Distância rede/área	100	50%	50
Potência máxima admissível	100	50%	50
Total		100%	100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os indicadores socioeconômicos, apresentados na Tabela 17, foram pontuados da seguinte forma:

- a) Indicador “custo de recuperação” – este indicador recebeu pontuação máxima nas três áreas, pois todas tiveram o mesmo custo de recuperação, conforme informações das empresas;
- b) Indicador “uso do solo” – todas as três áreas receberam 100 pontos, visto que nenhuma delas estão ocupadas.
- c) Indicador “acessos” – a pontuação deste indicador foi calculada com base no subitem 3.3.4;
- d) Indicador “visibilidade do empreendimento” – idem item c) anterior.

Tabela 17 – Pontuação dos indicadores socioeconômicos - Estiva dos Pregos.

Indicadores socioeconômicos - Estiva dos Pregos			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Custo de recuperação	100	25%	25
Uso do solo	100	25%	25
Acessos	100	25%	25
Visibilidade do empreendimento	100	25%	25
	Total	100%	100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

4.5.4 Resultados agrupados para as três áreas

Para melhor compreensão, este subcapítulo apresenta os resultados agrupados dos indicadores secundários para as três áreas. Desta forma, é possível comparar em uma única tabela, os resultados de cada indicador para os três locais. Os resultados agrupados podem ser visualizados nas Tabelas Tabela 18Tabela 19Tabela 20Tabela 21.

A Tabela 18 apresenta os resultados dos indicadores ambientais para as áreas Rio do Meio, Zona 4 e Estiva dos Pregos.

Tabela 18 – Resultados dos indicadores ambientais para as três áreas.

Indicadores Ambientais						
	Indicador	Situação ambiental	Topografia	Porte da vegetação circundante	Precipitação máxima anual	Total
	Ponderação	30%	30%	25%	15%	100%
Rio do Meio	Pontuação	100	50	100	76	
	Total	30	15	25	11,4	81,4
Zona 4	Pontuação	100	50	0	76	
	Total	30	15	0	11,4	56,4
Estiva dos Pregos	Pontuação	100	100	100	100	
	Total	30	30	25	15	100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A Tabela 19 apresenta os resultados dos indicadores energéticos para as áreas Rio do Meio, Zona 4 e Estiva dos Pregos.

Tabela 19 – Resultados dos indicadores energéticos para as três áreas.

Indicadores Energéticos					
	Indicador	Produtividade do sistema	Fator de capacidade	Razão de performance	Total
	Ponderação	45%	45%	10%	100%
Rio do Meio	Pontuação	97	97	100	
	Total	43,65	43,65	10	97,3
Zona 4	Pontuação	97	97	100	
	Total	43,65	43,65	10	97,3
Estiva dos Pregos	Pontuação	100	100	98	
	Total	45	45	9,8	99,8

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A Tabela 20 apresenta os resultados dos indicadores elétricos para as áreas Rio do Meio, Zona 4 e Estiva dos Pregos.

Tabela 20 – Resultados dos indicadores elétricos para as três áreas.

Indicadores Elétricos				
	Indicador	Distância rede/área	Potência máxima admissível	Total
	Ponderação	50%	50%	100%
Rio do Meio	Pontuação	100	35	
	Total	50	17,5	67,5
Zona 4	Pontuação	100	35	
	Total	50	17,5	67,5
Estiva dos Pregos	Pontuação	100	100	
	Total	50	50	100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A Tabela 21 apresenta os resultados dos indicadores socioeconômicos para as áreas Rio do Meio, Zona 4 e Estiva dos Pregos.

Tabela 21 – Resultados dos indicadores socioeconômicos para as três áreas.

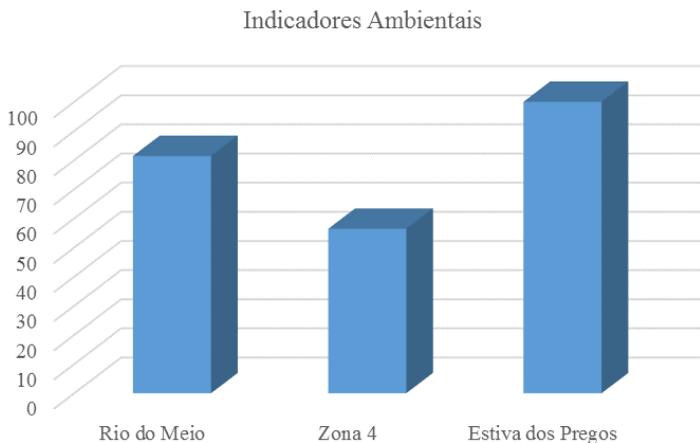
Indicadores Socioeconômicos						
	Indicador	Custo de recuperação	Uso do solo	Acessos	Visibilidade do empreendimento	Total
	Ponderação	25%	25%	25%	25%	100%
Rio do Meio	Pontuação	100	100	50	0	
	Total	25	25	12,5	0	62,5
Zona 4	Pontuação	100	100	70	0	
	Total	25	25	17,5	0	67,5
Estiva dos Pregos	Pontuação	100	100	100	100	
	Total	25	25	25	25	100

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

4.6 MELHOR ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DA USINA SF

A soma total dos indicadores ambientais para as três áreas é apresentada na Figura 34, entretanto, os quatro indicadores possuem pesos diferentes e o resultado final será apresentado mais adiante.

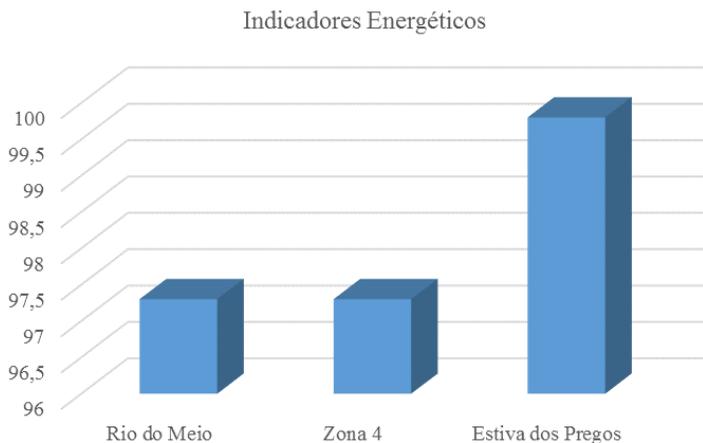
Figura 34 – Resultado dos indicadores ambientais para as três áreas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A soma total dos indicadores energéticos para as três áreas é apresentada na Figura 35.

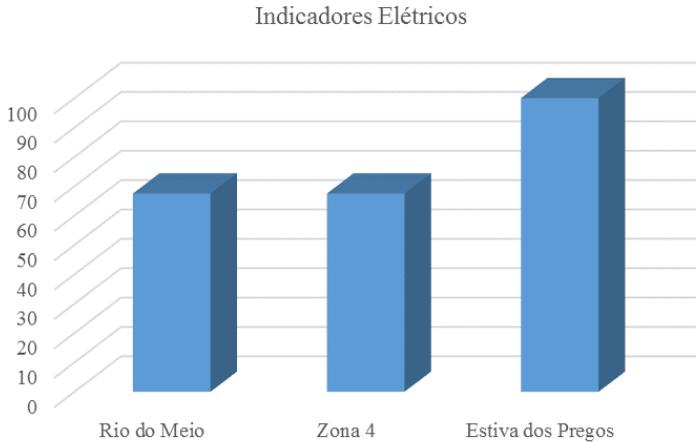
Figura 35 – Resultado dos indicadores energéticos para as três áreas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A soma total dos indicadores elétricos para as três áreas é apresentada na Figura 36.

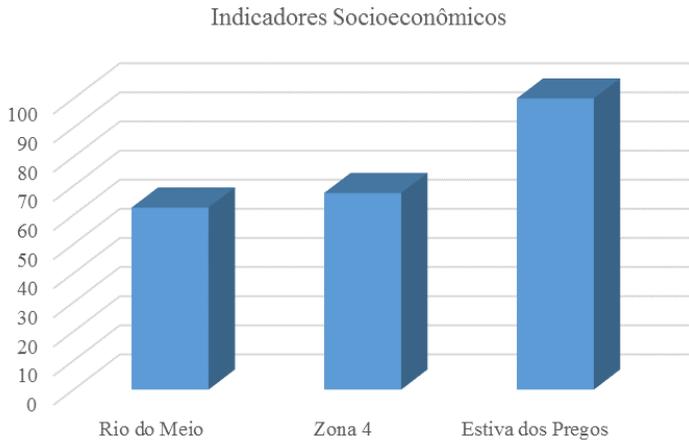
Figura 36 – Resultado dos indicadores elétricos para as três áreas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A soma total dos indicadores socioeconômicos para as três áreas é apresentada na Figura 37.

Figura 37 – Resultado dos indicadores socioeconômicos para as três áreas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A partir dos resultados encontrados de cada indicador para cada área, foi calculado a pontuação final que cada amostra recebeu, com base nas ponderações definidas no Quadro 2.

A pontuação final dos indicadores principais, com suas respectivas ponderações, para a área Rio do Meio, são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Resultado final dos indicadores - Rio do Meio.

Resultado final - Rio do Meio			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Ambiental	81,4	30%	24,42
Energético	97,3	10%	9,73
Elétrico	67,5	30%	20,25
Socioeconômico	62,5	30%	18,75
Total		100%	73,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A pontuação final dos indicadores principais, com suas respectivas ponderações, para a área Zona 4, são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Resultado final dos indicadores - Zona 4.

Resultado final - Zona 4			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Ambiental	56,4	30%	16,92
Energético	97,3	10%	9,73
Elétrico	67,5	30%	20,25
Socioeconômico	67,5	30%	20,25
Total		100%	67,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As pontuações finais dos indicadores principais, com suas respectivas ponderações, para a área Estiva dos Pregos, são apresentadas na Tabela 24.

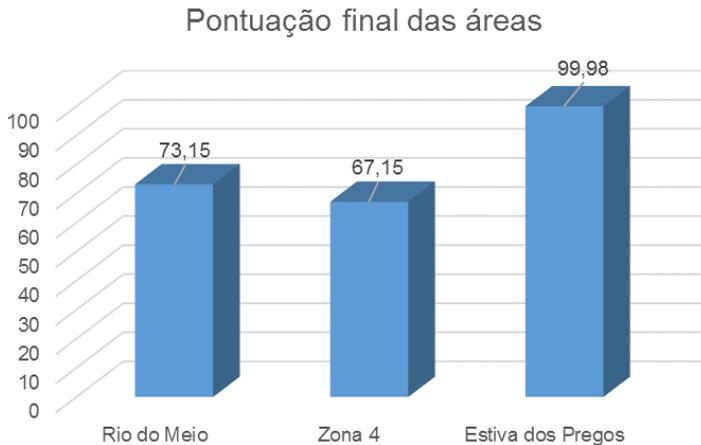
Tabela 24 – Resultado final dos indicadores - Estiva dos Pregos.

Resultado final - Zona 4			
Indicador	Pontuação	Ponderação	Total
Ambiental	100	30%	30
Energético	99,8	10%	9,98
Elétrico	100	30%	30
Socioeconômico	100	30%	30
Total		100%	99,98

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A comparação da pontuação final que as três áreas receberam é apresentada na Figura 38. Estes já são os valores finais, considerando as ponderações estabelecidas no Quadro 2.

Figura 38 – Pontuação final para as três áreas.



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A área Estiva dos Pregos apresentou o melhor potencial para receber uma usina SF, uma vez que, teve as melhores pontuações para os indicadores escolhidos inicialmente.

A partir das análises, observou-se que as áreas amostrais, devido à proximidade geográfica das mesmas, possuem aspectos energéticos semelhantes, com pouca variação na região de estudo. Esta diferença foi facilmente percebida nas análises efetuadas no neste capítulo.

4.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Como o objetivo principal deste trabalho não é a realização de uma análise econômica detalhada, com um estudo mais profundo sobre diversos parâmetros financeiros, foram analisados o valor presente líquido (VPL) e a taxa de interna de retorno (TIR). O VPL consiste em trazer para a data presente todos os fluxos de caixa de um investimento e soma-los ao valor do investimento inicial, utilizando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade (TMA) da empresa ou projeto. A TIR é uma medida relativa, expressa em percentual, que demonstra o quanto rende um projeto em investimento. Geralmente ela é comparada

com a TMA, e para o projeto ser aceito, a TIR tem que ser maior (SILVA, 2013; NAKABAYASHI, 2015).

Para que um projeto seja viável, ele deve apresentar características financeiras vantajosas em relação a TMA, que representa o mínimo que um investidor considera que está obtendo ganhos financeiros. Para uma empresa, a TMA seria equivalente ao seu custo de capital, que é a taxa de retorno mínima sobre seus investimentos. Já para uma pessoa física, a TMA pode ser considerada a rentabilidade proporcionada pela caderneta de poupança, por exemplo (SILVA, 2013)

Esta análise apresenta, de forma simplificada, o quanto uma usina fotovoltaica retornará financeiramente. Com esses dados, é visto, se o retorno financeiro cobrirá os custos para recuperação ambiental do local em que a usina será implantada. Neste caso, foi avaliada a viabilidade de implantação na área Estiva dos Pregos.

A área total do terreno é de 110 hectares. Será considerado 50% para instalação dos módulos fotovoltaicos e o restante para subestações e a infraestrutura necessária para operação da planta.

Para o cálculo do retorno financeiro, foram utilizados os seguintes dados:

- Potência da usina SF a ser instalada;
- Energia elétrica gerada anualmente em kWh;
- Fator de capacidade da localidade;
- Custo do sistema SF em R\$/kW;
- Custo O&M – operação e manutenção em percentual;
- Vida útil do sistema em anos;
- Redução média da produtividade do sistema SF em (%);
- Preço venda da energia elétrica em R\$/MW;
- Estimativa do preço de venda da energia elétrica;
- Impostos e tributações;
- Custo em R\$/hectare para recuperar a área;

A partir de simulações executadas no software SAM (System Advisor Model), obteve-se a potência instalada de 100MWp em uma área de aproximadamente 50 hectares, utilizando o seguinte módulo (SAM, 2016; SUNPOWER, 2013):

- Fabricante: SunPower
- Modelo: X21-335-BLK
- Potência: 335Wdc
- Eficiência: 21%
- Área do módulo: 1,63m²

Com base na potência encontrada na simulação, é possível calcular a energia gerada anualmente pela usina. Para o cálculo da previsão de geração fotovoltaica, existem diversas formas. Nesta dissertação, a forma adotada, baseia-se no fator de capacidade e na potência instalada. A quantidade estimada de energia gerada anualmente pelo sistema SF foi obtida com o auxílio da Equação 6 (NAKABAYASHI, 2014).

$$E = P_n * FC * 8760 \quad (6)$$

Onde:

E = Geração solar fotovoltaica (kWh/ano).

FC = Fator de Capacidade - Tabela 5 (%).

P_n = Potência nominal do sistema

Para esta análise, foram simulados dois cenários distintos, em que, no cenário 1 considerou-se um sistema fixo e no cenário 2, um sistema com rastreamento solar. Logo, para o cenário 1, a energia gerada que foi calculada para o primeiro ano de operação de uma planta de 100MW_p, instalada na área Estiva dos Pregos é de aproximadamente 127.808MW_p, utilizando o FC = 14,59%. A partir da simulação efetuada no software SAM com os dados do cenário 2, em que considerou um sistema com rastreamento solar em um eixo, o FC sobe para 18%, por consequência, a produção de energia aumenta para 157.680MW_p. Este aumento na produtividade é confirmado por Epe, (2015) e por Abinee, (2012).

O custo médio de investimento em sistemas fotovoltaicos varia de R\$3.117,00 a R\$6.122,00 por kW_p, em que há uma tendência de custo mais elevados para sistemas com rastreamento solar em um eixo (EPE, 2015). No entanto, para o sistema SF com rastreamento em um eixo, foi considerada a média entre os valores extremos, portanto, R\$4.619,50.

O custo fixo anual de operação e manutenção (O&M) de um empreendimento é, habitualmente, um valor representado em percentual com relação ao custo total do empreendimento. O valor médio do custo anual de O&M fixo é da ordem de 1,0% do custo total de investimento para os projetos com estrutura fixa e 1,6% para aqueles com rastreamento de 1 eixo (ABINEE, 2012; EPE, 2015).

Conforme a Sunpower, (2013), a vida útil mínima do sistema é de 25 anos para os módulos, com uma redução média de 0,4% ao ano. De um modo geral, os fabricantes garantem por 10 anos os inversores, entretanto, o custo de substituição dos mesmos já está contemplado no custo de O&M (ABB, 2015).

O preço médio de venda da energia solar fotovoltaica no 2º Leilão de Energia de Reserva (LER) de 2015, foi R\$ 297,75/MWh, variando de R\$ 290,00 a R\$ 302,90/MWh, média 27% maior do que em 2014, ano em que ocorreu primeiro leilão promovido pelo Ministério de Minas e Energia (MME), em que foi contratada energia proveniente de empreendimentos fotovoltaicos no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Entretanto ao comparar o preço comercializado no Brasil com outros países referências, é possível inferir que o preço de venda de energia solar fotovoltaica no LER 2014 e 2015 ainda é um dos menores do mundo (EPE, 2014, 2015).

Como não há uma tendência do preço de venda da energia elétrica solar fotovoltaica, foi considerado como base para reajuste anual, a média dos valores históricos do Índice Geral de Preços de Mercado (IGP-M) do ano de 1997 até 2017, que é de 8,00% (INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA, 2018).

Um dado importante a ser considerado em uma análise de viabilidade, é incluir no fluxo de caixa os impostos sobre vendas. Assim, de uma forma simplificada, os impostos que incidem sobre as atividades operacionais das empresas são:

- IR – Imposto de Renda;
- CSLL - Contribuição Social sobre o Lucro Líquido;
- PIS - Programa de Integração Social;
- COFINS - Contribuição Financeira Social;
- IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados;
- ICMS - Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços;
- ISS - Imposto sobre Serviços.

Neste caso, será levado em conta as despesas com IR e CSLL, considerando que os demais impostos são pagos por quem compra a energia elétrica.

O IR é tributado em 15% e se o lucro líquido for superior a R\$ 20.000 por mês, haverá um adicional de 10% sobre o excedente. A CSLL é tributada em 9%. Para simplificar, foi considerado que o imposto total pago sobre o lucro líquido na venda da energia elétrica é de 34% (BRASIL, 2018)

O custo de recuperação ambiental para a área Estiva dos Pregos foi de R\$60.000,00 por hectare, no entanto o preço médio para recuperação de áreas de passivo ambiental é em torno de R\$40.000,00 (SANT ANA, 2018).

Existem diferentes formas para analisar a viabilidade de um investimento. Para este caso, foram utilizados dois métodos, o VPL e a TIR.

A Tabela 25 apresenta as informações dos cenários, e que, serviram de base para a análise econômica de implantação do sistema SF na área Estiva dos Pregos.

Tabela 25 – Cenários para análise da viabilidade econômica.

	Cenário 1	Cenário 2
Potência Usina (MW)	100	100
Redução de produtividade (%)	0,40	0,40
Fator de Capacidade	14,59	18,00
Preço energia solar fotovoltaica 2015 (R\$/MWh)	297,75	297,75
Custo de O&M (%)	1,00	1,60
Custo Implantação usina (R\$/kWp)	3.117,00	4.619,50
Taxa de desconto (TMA) (%)	6,00	6,00
IGP-M (%)	8,00	8,00
IR + CSLL (%)	34,00	34,00
Valor estimado implantação usina (milhões de Reais)	311,70	461,95
Estimativa recuperação ambiental (R\$/hectare)	60.000,00	

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A partir das informações definidas na Tabela 25, foi possível calcular o VPL e a TIR para os dois cenários. A Tabela 26 apresenta os resultados encontrados para esta análise.

Tabela 26 – VPL e TIR para os cenários 1 e 2.

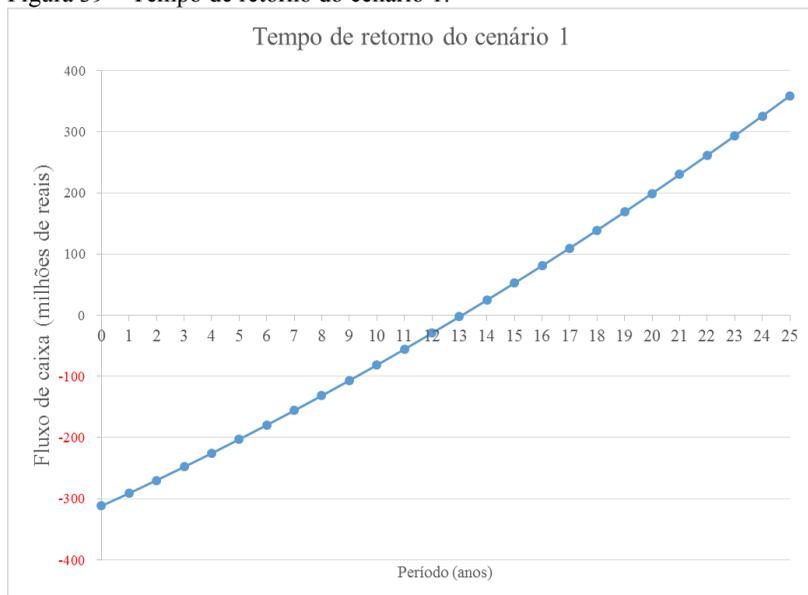
	Cenário 1	Cenário 2
VPL (milhões de reais)	358,93	320,09
TIR (%)	12,76	10,32

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

O Cenário 1 apresentou um resultado superior em relação ao Cenário 2, apesar deste último não ter apresentado resultado negativo para o VPL e a TIR ser maior que a TMA, os valores são ainda, inferiores, ao comparar com o Cenário 1. Os valores detalhados podem ser vistos no Apêndice 1.

A Figura 39 apresenta o gráfico do retorno do investimento para o Cenário 1. Neste cenário, tem-se o retorno do investimento em aproximadamente 13 anos.

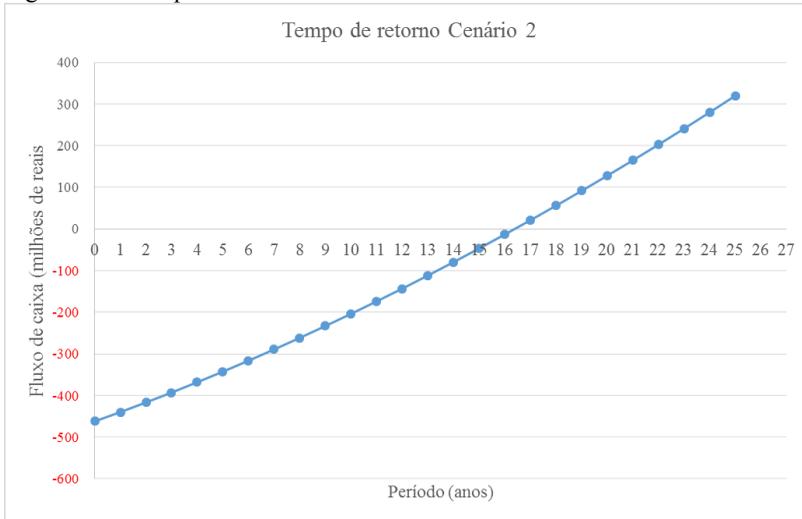
Figura 39 – Tempo de retorno do cenário 1.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Figura 40 apresenta o gráfico do retorno do investimento para o Cenário 2. Neste cenário, tem-se o retorno do investimento em aproximadamente 16 anos. O tempo de retorno para este cenário pode ser reduzido, com a redução do custo inicial de investimento neste tipo de sistema.

Figura 40 – Tempo de retorno do cenário 2.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Ao relacionar o custo de recuperação ambiental com o retorno financeiro obtido com a venda de energia elétrica, para o local que se analisou a viabilidade econômica de implantação da usina SF, estima-se que o retorno obtido é 54 vezes maior que o custo de recuperação da área, uma vez que, este custo equivale a R\$ 6,6 milhões.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma pesquisa detalhada em relação à utilização de áreas de passivos ambientais, com o intuito de formar indicadores de geração distribuída, e com isso, eleger o melhor local para implantação de uma usina SF para geração de energia elétrica, proveniente do aproveitamento da irradiação solar.

Em seguida, foram determinados os indicadores que foram a base para o estudo. Os indicadores ambientais, assim como os indicadores elétricos e os indicadores socioeconômicos foram os que tiveram o maior peso na escolha da área, seguido dos indicadores energéticos.

A forma de como um indicador é ponderado, seja ele primário ou secundário, pode variar conforme a necessidade ou conclusões ao analisar determinados locais. Alguns indicadores podem ter pesos diferentes ao comparar áreas situadas em regiões distintas, em que, as características do local influenciam diretamente em alguns aspectos do projeto, como por exemplo: quantidade de energia gerada, custo do empreendimento, custo de manutenção, etc.

Logo, a aplicação deste modelo pode ser flexibilizada para atender outras condições que não foram contempladas neste estudo, até mesmo, a exclusão ou inclusão de indicadores.

Um ponto importante da pesquisa, foi a visita *in loco* às áreas amostrais. A partir das visitas foi possível determinar alguns parâmetros que só eram possíveis obtê-las no local, como por exemplo: a existência de redes de distribuição, o porte da vegetação no entorno das áreas, a topografia do terreno, os acessos, etc. Todas as visitas foram realizadas no dia 19/10/2017.

Durante a visita, foi possível fazer as seguintes constatações: os três locais estavam com as obras de engenharia concluídas; Zona 4 possui vegetação em seu entorno que comprometeria a geração de energia elétrica; Estiva dos Pregos possui topografia plana, ao contrário das outras duas áreas, que possuem relevos mais ondulados. Desta forma, para os indicadores ambientais, a área Estiva dos Pregos, localizada em Capivari de Baixo, teve a melhor pontuação, sendo superior em todos os componentes deste grupo de indicadores.

Posteriormente analisou-se os parâmetros elétricos das redes de distribuição de cada local. Este indicador é um dos mais importantes, tendo em vista que, caso não existisse uma rede de distribuição no local, o custo de ampliação ou construção de uma nova rede poderia inviabilizar o projeto. No entanto, todas as três áreas amostrais possuem rede de distribuição próximas. Nos cálculos efetuados, concluiu-se que a rede de

distribuição da área Estiva dos Pregos pode suportar aproximadamente 8 MW de potência, enquanto a rede das outras áreas suporta em torno de 3 MW, ou seja, cerca de 62 % a menos. Portanto, a área situada no município de Capivari de Baixo recebeu mais pontos para os indicadores elétricos, quando comparado com os outros dois locais.

Outro aspecto importante analisado nesta dissertação, foram os indicadores socioeconômicos. Para este indicador foram analisados quatro indicadores secundários: custo de recuperação, uso do solo, acessos e visibilidade do empreendimento. Para o primeiro indicador, todos os três locais estão na mesma situação, ou seja, já foram concluídas as obras de engenharia para recuperação ambiental. Em relação ao segundo indicador, todas as três áreas estão desocupadas. Neste caso, os três locais receberam pontuação máxima para estes dois aspectos. Para o terceiro quesito analisado, verificou-se que os acessos às áreas situadas em Lauro Müller, estão em más condições de conservação ou mesmo não existem. Por outro lado, Estiva dos Pregos possui acesso em boas condições e possui estradas que atravessam toda a extensão do terreno.

Por último, analisando a questão “visibilidade do empreendimento”, a área Estiva dos Pregos, em Capivari de Baixo, teve melhor desempenho em relação as outras duas, visto que, é mais visível por quem transita pela rodovia BR 101 e está situada abaixo do nível da rodovia, aumentando a visibilidade de um empreendimento neste local. As outras duas áreas ficam em meio rural, com trânsito praticamente de moradores locais. Desta forma, Estiva dos Pregos teve melhor desempenho para os indicadores socioeconômicos.

Após a análise de viabilidade econômica para implantar uma usina SF na área Estiva dos Pregos, concluiu-se que o retorno é extremamente vantajoso, pois, além de cobrir integralmente o custo de recuperação ambiental deste local, tem-se um enorme retorno financeiro ao longo da vida útil do projeto. Neste caso, o custo de recuperação foi estimado em 6,6 milhões de reais. O VPL do projeto é de aproximadamente 359 milhões de reais e 320 milhões de reais para os cenários 1 e 2, respectivamente, considerando uma TMA de 6%. A TIR deste investimento ficou em 12,76% e 10,32% para os cenários 1 e 2, respectivamente.

Logo, através do exposto neste trabalho, espera-se ter contribuído para demonstrar que a energia solar fotovoltaica, além de contribuir para diversificação da matriz elétrica brasileira e acréscimo da oferta de energia no setor elétrico, poderá beneficiar a sociedade por tornar uma área recuperada em um local economicamente útil. Contrapartida para as comunidades que foram diretamente impactadas pela disposição

inadequada dos rejeitos de beneficiamento do carvão mineral, melhorando o status visual, tecnológico e a percepção do meio em que vivem.

Do ponto de vista ambiental, esta pesquisa viabilizará o reaproveitamento de um local de recuperação ambiental, transformando-o numa área útil, ou seja, destinará uso futuro para locais degradados e/ou recuperados ambientalmente na Bacia Carbonífera de Santa Catarina.

No geral, se as tecnologias desenvolvidas neste piloto forem aplicadas na realidade regional, o uso futuro de uma área recuperada ambientalmente, para instalação de plantas fotovoltaicas, surge como alternativa sustentável e adequada, em locais em que a introdução de atividades agropastoris demandaria monitoramento criterioso. Da mesma forma, a comunidade seria beneficiada, primeiro pelo fato do local deixar de constituir passivo ambiental e, segundo, porque seria implementado um uso, que dinamizaria os aspectos econômicos e tecnológicos de uma localidade, inclusive, como referência para os moradores, quando comparado ao passado ambiental e a atualidade.

Quanto a geração distribuída, sobre o ponto de vista ambiental, o sistema permite o aumento da oferta de energia segura e sem a necessidade de ocupar outras áreas vazias, que estejam com usos já implementados, utilizando-se em grande soma da radiação solar.

REFERÊNCIAS

ABB. **ABB central inverters ULTRA-750/1100/1500 750kW to 1560kW ABB's**. 2015. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/130d0dd62e4f47a992e1eaf9e4ee26e5/Ultra-EN-Rev E.pdf>. Acesso em: 24 set. 2018.

ABINEE (Brasil). **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. [s.l.], 2012. 176 p. Disponível em: binee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf. Acesso em: 18 set. 2018.

ALBA, J.M.F. (Ed.). **Recuperação de áreas mineradas**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

ANEEL. **Atlas da energia solar no Brasil: Energia solar**. 2ª ed. – Brasília: Aneel, 2005. 243 p. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em: 22 mar. 2017.

ANEEL. Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília, Aneel, 2012.

ANEEL. Resolução nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. **Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Brasília, Aneel, 2015.

ANEEL. **MÓDULO 1: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Brasília: Aneel, 2016.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Brasília: Aneel, 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil>. cfm. Acesso em: 30 set. 2017.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Brasília: Aneel, 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 26 dez. 2018.

ALMEIDA, Raquel Olímpia Peláez Ocampo; SÁNCHEZ, Luis Enrique. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Sociedade de Investigações Florestais**, São Paulo, v. 29, n. 1, p.47-54, fev. 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000100006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 23 abr. 2017.

ABNT. **NBR 13030**: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro: Abnt, 1999.

ABNT. **NBR 11704**: Sistemas fotovoltaicos - classificação. Rio de Janeiro: Abnt, 2008.

ABNT. **NBR 10899**: Energia solar fotovoltaica — Terminologia. Rio de Janeiro: Abnt, 2013.

BAKKES, J.A. et al. **An overview of environmental indicators**: state of the art and perspectives. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP)/Dutch National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), 1994.

BRANCALION, Pedro Henrique S.; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius. **Restauração florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL. **10º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais**: Processo no. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma: Justiça Federal, 2013.

BRASIL. Projeto prevê investimento privado de R\$ 100 bi em energia solar até 2030. Brasil, 2016a. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/12/projeto-preve-investimento-privado-de-r-100-bi-em-energia-solar-ate-2030>. Acesso em: 28 set. 2017.

BRASIL. Ação Civil Pública n. 93.8000533-4. Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão - revisão 2. Brasil, 2016b. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/index.php>. – 2016.

BRASIL. IRPF (Imposto sobre a renda das pessoas físicas). 2018. Disponível em: <http://idg.receita.fazenda.gov.br/aceso-rapido/tributos/irpf-imposto-de-renda-pessoa-fisica>. Acesso em: 25 set. 2018.

BRAUN-GRABOLLE, Priscila. A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana. 2010. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CABRAL, I. D. S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. Energia solar – análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **CONGEA (Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental)**, 2013. Rio de Janeiro: Congea, 2013.

CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos: Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). Rio de Janeiro: Cepel – Cresesb, 2014. 529 p.

DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. de (Ed.). Recuperação de áreas degradadas. 251 f. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Solos: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998.

EPE. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: Epe, 2016.

EPE. Leilão de Energia de Reserva de 2014: Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral. Rio de Janeiro: Epe, 2014. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-94/NT_EPE-DEE-NT-150_2014.pdf. Acesso em: 24 set. 2018.

EPE. **2º Leilão de Energia de Reserva de 2015**. Rio de Janeiro: Epe, 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 18 set. 2018.

ENGIE. **Usina Solar Cidade Azul**. [s.l.], 2014. Disponível em: <http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-complementares/solar-cidade-azul>. Acesso em: 29 set. 2017.

FECOERUSC. **FECO - D-01: Critérios Básicos para Elaboração de Projetos**. [s.l.], 2009. Disponível em: http://www.fecoerusc.coop.br/arquivos/8/files/pdf/feco-d-02_criterios_basicos_para_elaboracao_de_projetos.pdf. Acesso em: 15 maio 2017.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia Básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GALLOPÍN, Gilberto C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. **Environmental Modeling & Assessment**, Cali, v. 1, n. 3, p. 101–117, maio. 1996.

GASPARIN, Fabiano Perin; KRENZINGER, Arno. Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p.10-17, jul. 2017.

GOMES, Priscila Rodrigues. **Indicadores ambientais na discussão da sustentabilidade: uma proposta de análise estratégica no contexto do etanol de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../DissertacaoPriscilaRodriguesGomes.pdf. Acesso em: 19 jun. 2017.

HAMMOND, Allen; ADRIAANSE, Albert; RODENBURG, Eric; BRYANT, Dirk; WOODWARD, Richard. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on the environment in the context of sustainable development**. In: Indicators of sustainable development for decision-making. Washington, DC: World Resources

Institute, 1995. 43 p. Disponível em:
<http://infohouse.p2ric.org/ref/30/29288.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

IEEE. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. **IEEE STD 1459**: Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. New York: Ieee, 2010. Disponível em:
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589271/mod_resource/content/1/IEEE Std 1459-2010.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589271/mod_resource/content/1/IEEE%20Std%201459-2010.pdf). Acesso em: 16 nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA. **Índices Gerais de Preços**: Evolução dos Índices: IGP-M. 2017. Disponível em:
<https://portalibre.fgv.br/estudos-e-pesquisas/indices-de-precos/igp/>. Acesso em: 24 set. 2018.

IBGE. **Noções básicas de cartografia**. 1998. Disponível em:
[https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoas/in dice.htm](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoas/indice.htm). Acesso em: 15 set. 2017.

INSTITUTO IDEAL. **Simulador Solar**. 2017. Disponível em:
<http://www.americadosol.org/simulador/>. Acesso em: 9 out. 2017.

JARDIM, Carolina da Silva. **A inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno**. 2007. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MUNARI, Amanda Bellettini; MILIOLI, Geraldo; SOUZA, Gláucia Cardoso de. Educação ambiental, desenvolvimento sustentável e a mineração de carvão em siderópolis, SC. **Revista Educação Ambiental**, Criciúma, 14 dez. 2015.

NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração fotovoltaica no brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/en.php>. Acesso em: 18 set. 2018.

NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração fotovoltaica no brasil: viabilidade econômica**. São Paulo: Abinee, 2015. Disponível em: http://200.144.182.130/iee/lsf/sites/default/files/Dissertacao_Renny_vfinal.pdf. Acesso em: 18 set. 2018.

NIMER, Edmom. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Ibge, 1989. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81099.pdf>. Acesso em: 09 set. 2017.

ONS. **Operador nacional do Sistema Elétrico**. [s.l.], 2017. Disponível em: <http://ons.org.br/>. Acesso em: 30 set. 2017.

ORBIS. **Construção e análise de indicadores**. 108 f. ORBIS: Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.portalodm.com.br/dnfile/epuslnpigv4wbwym5cev/pdf/publicacoes/1/construcao-e-analise-de-indicadores.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE. 2006. Disponível em: http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf. Acesso em: 10 maio 2017.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE. 2017. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf. Acesso em: 15 dez. 2017.

PEZENTE, Daniel Pazini.; SANT ANA, William de Oliveira. Evolução da fertilidade de solos construídos em áreas de passivo ambiental da mineração de carvão, Lauro Müller – SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 24, n. 0, p. 146–158, Criciúma, ago. 2018.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; MALHEIROS, Tadeu Fabrício; COUTINHO, Sonia Maria Viggiani. **Indicadores de Sustentabilidade e Gestão Ambiental**. São Paulo: Manole, 2013.

RAMPINELLI, Giuliano Ams.; GOMES, Julio César Quintão. Projeto de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos em Áreas Degradadas e Recuperadas Ambientalmente. **RECEN - Revista Ciências Exatas e Naturais**. Criciúma, 2014.

REN21. GLOBAL STATUS REPORT. [s.l.], 2015. Disponível em: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report>. Acesso em: 26 jul. 2016.

REN21. GLOBAL STATUS REPORT. [s.l.], 2017. Disponível em: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_06. Acesso em: 28 set. 2017.

ROCHA, Leonardo da Silva et al. O potencial de geração de energia fotovoltaica integrada a rede pública de distribuição: “um exemplo de açailândia para o Maranhão. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 4, Curitiba, 27 out. 2014. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/37513/pdf_17. Acesso em: 22 nov. 2018.

ROLIM, Glauco de Souza et al. Classificação climática de koppen e de thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/brag/v66n4/22.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2018.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004. 114p.

SAM System advisor model. **Versão 2016.3.14**. NREL (National Renewable Energy Laboratory), 2016. Disponível em <https://sam.nrel.gov/>.

SANT ANA, William de Oliveira. **Qualidade dos recursos hídricos subterrâneos na bacia do Rio Urussanga, SC**. 187 f. Dissertação

(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SANT ANA, William de Oliveira. **Custo médio por hectare, das obras para recuperação ambiental de áreas degradadas.** [mensagem pessoal]. Mensagem Recebida por: william.santana@satc.edu.br. em 27 de setembro de 2018.

SEGUEL, Julio Igor López. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital.** 222 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: https://www.ppgee.ufmg.br/documentos/Defesas/850/Julio_Lopez_Versao_Corrigida.pdf. Acesso em: 24 jul. 2016.

SILVA, Clesio Tiago Alves da. **Estudo para implantação de um sistema em corrente contínua para alimentação de equipamentos eletrônicos em uma residência.** 2013. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade Satc, Criciúma, 2013.

SOARES, Anderson Borghetti et al. **Desempenho de cobertura seca em rejeito de carvão.** Rio de Janeiro: Cetem, 2009. 23 p. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Projeto10-DesempenhoCobSecaVadose.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2017.

SÔNEGO, Marcos. O Clima do Litoral Sul de Santa Catarina. In: SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DOS CURSOS DE LICENCIATURA, 3. **Anais...** Criciúma, UNESC, p. 102–103, 2002.

SUNPOWER. **SunPower® X-Series Residential Solar Panels | X21-335-BLK | X21-345.** DATASHEET, 2013. Disponível em: <https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/ds-x21-series-335-345-residential-solar-panels.pdf>. Acesso em: 24 set. 2018.

TRACTEBEL. **Recuperação de áreas degradadas por meio da utilização de cinzas do carvão mineral.** [s.l.: s.n.]. 2009. Disponível em: http://www.expressao.com.br/ecologia/cases/2009/TRACTEBEL_RECUPERACAO.pdf. Acesso em: 16 dez. 2018.

UFSC. **Usina solar cidade azul (USCA) | Fotovoltaica**. Florianópolis, 2018. Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/blog/2018/02/28/usina-solar-cidade-azul-usca/>. Acesso em: 9 dez. 2018.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 189 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

URBANETZ JUNIOR, Jair et al. Fatores que interferem na Produtividade de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. **In:** International Solar Cities Congress, 2014, Buenos Aires. **Congresso**. Curitiba: Ufpr, 2014. p. 1 - 3. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275951766_Fatores_que_interferem_na_Produtividade_de_Sistemas_Fotovoltaicos_Conectados_a_Re_de_Eletrica. Acesso em: 10 ago. 2017.

URBANETZ JUNIOR, Jair et al. Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR em Curitiba. **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Gramado – RS, 2016.

VAN BELLEN, Hans Michel. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 235 f. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

VIANA, Trajano de Souza. **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil**. 2010. 127 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

ZUQUETTE, Lázaro Valentin; RODRIGUES, Valéria Guimarães Silvestre; PEJON, Osni José. **Recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ZANCAN, F.L.; GOMES, C.B. **Recuperação ambiental da bacia carbonífera de Santa Catarina**. 2004. Disponível em: http://www.carvaomineral.com.br/abcm/conteudo/ma_ambiental/projeto_recuperacao_ambiental_ana_nov_04.pdf. Acesso em: 08 jan. 2019.

ANEXO A - Características físicas do cabo de alumínio (CAA)

Nome Código	TIPO	Formação do cabo CAA		Diâmetro Nominal (mm)	Massa do cabo (kg/km)	Capacidade de condução de corrente (A)	Reatância indutiva (Ω/Km)	Resistência elétrica		Resistência elétrica corrente contínua (Ω/Km)	Resistência elétrica corrente alternada (Ω/Km)	Queda de tensão unitária		
		Alumínio	Aço					Rca	Rcc			V/A.km		
												FP - 0,8	FP - 0,95	
		AWG/MCM	NP de Fios	Diâmetro								Monofásico	Trifásico	
Swan	4	6	2,118	1	2,118	85,4	140	0,4537	1,7119	1,3527	3,2835	2,8435	3,5360	3,0621
Starrow	2	6	2,672	1	2,672	8,020	185	0,4362	1,1023	0,8499	2,2871	1,9806	2,3668	2,0496
Raven	1,0	6	3,371	1	3,371	10,110	240	0,4186	0,7080	0,5340	1,6367	1,4174	1,8085	1,3929
Owl	2,0	6	3,782	1	3,782	11,350	272,3	0,4100	0,5773	0,4242	1,4157	1,2260	1,3529	1,1716
Pigeon	3,0	6	4,247	1	4,247	12,740	343,4	0,4012	0,4741	0,3364	1,2400	1,0738	1,1513	0,9970
Penguin	4,0	6	4,770	1	4,770	14,310	433,2	0,3925	0,3797	0,2867	1,0785	0,9340	0,9665	0,8370
Wawing	266,8	18	3,081	1	3,081	15,460	430,8	0,3858	0,3029	0,2127	0,9476	0,8206	0,8164	0,7070
Owl	266,8	6	5,356	7	1,786	16,070	507,9	0,3837	0,3012	0,2115	0,9424	0,8161	0,8119	0,7031
Partridge	266,8	26	2,573	7	2,002	16,300	546,7	0,3785	0,2554	0,2136	0,8628	0,7472	0,7216	0,6249
Merlin	336,4	18	3,472	1	3,472	17,360	543,5	0,3770	0,2051	0,1886	0,7806	0,6760	0,6251	0,5413
Lynnet	336,4	26	2,888	7	2,245	18,290	688,3	0,3698	0,2032	0,1696	0,7689	0,6669	0,6170	0,5343
Oriole	336,4	30	2,680	7	2,680	18,680	784,3	0,3662	0,2013	0,1698	0,7615	0,6695	0,6111	0,5292
Pelican	477,0	18	4,135	1	4,135	20,680	770,9	0,3639	0,1448	0,1189	0,6884	0,5788	0,5023	0,4350
Flicker	477,0	24	3,581	7	2,388	21,490	914,6	0,3584	0,1442	0,1195	0,6608	0,5723	0,4978	0,4311
Hawk	477,0	26	3,438	7	2,675	21,780	976,4	0,3566	0,1435	0,1196	0,6575	0,5684	0,4953	0,4289
Hen	477,0	30	3,203	7	3,203	22,420	1111,9	0,3531	0,1423	0,1197	0,6514	0,5641	0,4908	0,4251

ANEXO B - Características físicas do cabo de alumínio (CA)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CABO ALUMÍNIO (CA)													
Nome	TIPO	Formação do cabo CA		Diâmetro Nominal (mm)	Massa do cabo (kg/km)	Capacidade de condução de corrente (A)	Resistência indutiva (Ω/km)	Resistência elétrica		Resistência elétrica corrente contínua	Queda de tensão		
		Nº de Fios	Diâmetro					corrente alternada	Rca		Rcc	Unitária	V/A.km
Código	AWG/MCM	Alumínio					XL	(Ω/km)		(Ω/km)	FP - 0,80	FP - 0,95	
										Monofásico	Trifásico	Trifásico	
Rose	4	7	1,961	5,880	58,00	130	0,3740	1,6667	1,35703	3,1155	2,6980	3,4003	2,9447
Iris	2	7	2,474	7,220	92,31	175	0,3576	1,0466	0,8526	2,1037	1,8218	2,2119	1,9155
Poppy	1/0	7	3,119	9,360	146,72	235	0,3379	0,6584	0,53643	1,4589	1,2634	1,4620	1,2661
Aster	2/0	7	3,503	10,510	185,07	270	0,3314	0,5217	0,42527	1,2324	1,0673	1,1982	1,0376
Phlox	3/0	7	3,932	11,800	233,18	315	0,3215	0,4134	0,33753	1,0472	0,9069	0,9662	0,8541
Oxlip	4/0	7	4,417	13,250	294,25	365	0,3130	0,3281	0,26748	0,9006	0,7799	0,8188	0,7091
Laurel	266,8	19	3,010	15,060	372,73	425	0,2999	0,2608	0,21325	0,7772	0,6730	0,6828	0,5813
Daisy	266,8	7	4,961	14,880	371,20	420	0,3041	0,2608	0,21203	0,7822	0,6774	0,6854	0,5806
Tulip	336,4	19	3,361	16,900	470,27	485	0,2913	0,2073	0,16802	0,6812	0,5900	0,5758	0,4866

ANEXO C – Confirmação das empresas para visita das áreas.

17/11/2017

Email – clesiotiago@hotmail.com

Ofício para empresas carboníferas

William de Oliveira Sant'Ana

seg 10/04/2017 10:59

Para: Marcio Zanuz <marcio.zanuz@satc.edu.br>;

Cc: Clesio Tiago <clesiotiago@hotmail.com>; Giuliano A. Rampinelli <giuliano.rampinelli@ufsc.br>;

📎 3 anexos (8 MB)

CARBONIFERA CATARINENSE.pdf; COCALIT.pdf; RIO DESERTO.pdf;

Bom dia Márcio

Um aluno de mestrado de Eng. De Energia da UFSC de Aranguá está realizando sua dissertação sobre a potencialidade de uso futuro de energia solar em áreas de recuperação ambiental da bacia carbonífera.

Ele avaliará dimensão de áreas, relevo, proximidade com a escarpa da serra, orla, fatores atmosféricos e critérios técnicos de engenharia.

A orientação é do Professor Dr. Giuliano Rampinelli, e co-orientação da SATC, sob minha tutela, com subsídio a auxiliá-lo nas caracterizações das áreas.

O Estudo do Clésio não interferirá em nenhuma questão físico-ambiental nem jurídica na área, é apenas uma pesquisa de potencialidade, para ele aplicar o aprendizado sobre energia solar.

Orientei ele a elaborar ofícios para as empresas envolvidas nas áreas escolhidas (anexo), pedido somente para citar estas áreas em seu trabalho acadêmico, para análise econômica.

Terias como encaminhar para as respectivas empresas formalizando via SIECESC?

Qualquer dúvida estou à disposição.

Atenciosamente

William de Oliveira Sant'Ana | Centro Tecnológico SATC – CTCL/NMA
Fone 48 3431.7613 | Cel. 48 99187.2917

Rua Pascoal Meller, 73 | Bairro Universitário
CEP 88805-380 - CP 232 | Criciúma/SC | Brasil
Fone +55 48 3431.7500 | Fax +55 48 3431.7501
OUVIDORIA 0800.648.7600

www.portalsatc.com



<https://outlook.live.com/owa/?mkt=pt-br>

1/1

17/11/2017

Email – clesiotiago@hotmail.com

RES: Ofício para empresas carboníferas

Marcio Zanuz <marcio.zanuz@satc.edu.br>

seg 10/04/2017 17:04

Para: William de Oliveira Sant'Ana <william.santana@satc.edu.br>;

Cc: Clesio Tiago <clesiotiago@hotmail.com>; Giuliano A. Rampinelli <giuliano.rampinelli@ufsc.br>;

Boa tarde.
Sem problema.
At



Carvão Mineral
SINATC Energia & Desenvolvimento

Marcio Zanuz
Engenheiro de Minas
SIECESC – Sindicato da Indústria de Extração de Carvão
do Estado de Santa Catarina
(48) 3431-8359 – (48) 9621-7367
www.siecesc.com.br

De: William de Oliveira Sant'Ana
Enviada em: terça-feira, 13 de junho de 2017 15:56
Para: Marcio Zanuz <marcio.zanuz@satc.edu.br>
Cc: Giuliano Rampinelli <giuliano.rampinelli@ufsc.br>
Assunto: Ofício para empresas carboníferas

Relembrando Márcio

Um aluno de mestrado de Eng. De Energia da UFSC de Araranguá está realizando sua dissertação sobre a potencialidade de uso futuro de energia solar em áreas de recuperação ambiental da bacia carbonífera.

Ele avaliará dimensão de áreas, relevo, proximidade com a escarpa da serra, orla, fatores atmosféricos e critérios técnicos de engenharia.

A orientação é do Professor Dr. Giuliano Rampinelli, e co-orientação da SATC, sob minha tutela, com subsídio a auxiliá-lo nas caracterizações das áreas.

O Estudo do Clésio não interferirá em nenhuma questão físico-ambiental nem jurídica na área, é apenas uma pesquisa de potencialidade, para ele aplicar o aprendizado sobre energia solar.

Orientei ele a elaborar ofícios para as empresas envolvidas nas áreas escolhidas (anexo), pedido somente para citar estas áreas em seu trabalho acadêmico, para análise econômica.

Terias que encaminhar para as respectivas empresas formalizando via SIECESC?

Qualquer dúvida estou à disposição.

Atenciosamente

William de Oliveira Sant Ana | Centro Tecnológico SATC – CTCL/NMA
 Fone 48 3431.7613 | Cel. 48 99187.2917

Rua Pascoal Meller, 73 | Bairro Universitário
 CEP 88805-380 - CP 232 | Criciúma/SC | Brasil
 Fone [+55 48 3431.7500](tel:+554834317500) | Fax [+55 48 3431.7501](tel:+554834317501)
 OUVIDORIA 0800.648.7600

www.portalsatc.com



De: Marcio Zanuz
Enviada em: terça-feira, 20 de junho de 2017 09:36
Para: eduardograbello@gmail.com
Assunto: ENC: Ofício para empresas carboníferas

Bom dia.

Segue em anexo ofício da UFSC solicitando autorização para realização de pesquisa sobre utilização de áreas recuperadas para geração fotovoltaica.

Dentro do possível, solicitará a autorização para que o aluno visitasse uma de suas áreas recuperadas.

Desde já obrigado.

At

Marcio Zanuz

Em 18 de julho de 2017 15:32, Marcio Zanuz <marcio.zanuz@satc.edu.br> escreveu:

Boa tarde.

Relembrando.

Por favor, dê o retorno diretamente para o William Sant'Ana, que nos lê em cópia.

Obrigado.



Carvão Mineral
SATC Energia & Desenvolvimento

Marcio Zanuz
Engenheiro de Minas
SIECESC – Sindicato do Indústria de Extratos de Carvão
do Estado de Santa Catarina
(48) 3431-7613 – (48) 9822-7967
www.siecesc.com.br

De: Eduardo Rabello [<mailto:eduardorabello@gmail.com>]

Enviado em: sexta-feira, 28 de julho de 2017 08:44

Para: Marcio Zanuz <marcio.zanuz@satc.edu.br>

Cc: William de Oliveira Sant'Ana <william.santana@satc.edu.br>

Assunto: Re: Ofício para empresas carboníferas

Olá Márcio,

Pode solicitar ao aluno para marcar um dia para visitar a área.

Att.

Eduardo G. Rabello

W

William de Oliveira Sant'Ana <william.santana@satc.edu.br>

Sex 28/07/2017, 08:48

Você, Eduardo Rabello

↩ ↶ → ⋮

Obrigado Eduardo por contribuir com a pesquisa acadêmica deste mestrado.

Só para deixar claro, eu acompanharei a visita do aluno Clésio, e posso lhe passar um parecer após a visita, caso prefira não acompanhar por questão de sua agenda.

O que acha?

att

William de Oliveira Sant'Ana | Centro Tecnológico SATC – CTCL/NMA

Fone 48 3431.7613 | Cel. 48 99187.2917

Rua Pascoal Meller, 73 | Bairro Universitário

CEP 88805-380 - CP 232 | Criciúma/SC | Brasil

Fone +55 48 3431.7500 | Fax +55 48 3431.7501

OUIDORIA 0800.648.7600

www.portalsatc.com

De: Eduardo Rabello [<mailto:eduardorabello@gmail.com>]

Enviado em: sexta-feira, 28 de julho de 2017 08:51

Para: William de Oliveira Sant'Ana <william.santana@satc.edu.br>

Assunto: Re: Ofício para empresas carboníferas

Olá William,

pode ser sim. Sempre tem algum imprevisto aqui.

Att.

Eduardo

17/11/2017

Email – clesiotiago@hotmail.com

RES: Ofício para empresas carboníferas**William de Oliveira Sant'Ana**

sex 28/07/2017 08:52

Para: Eduardo Rabello <eduardograbello@gmail.com>;

Cc: Clesio Tiago <clesiotiago@hotmail.com>;

Ok. Deixa comigo.

Claro que estarei te avisando o dia em que visitaremos a área (Rio do Meio e imediações).

Valeu

William de Oliveira Sant Ana | Centro Tecnológico SATC – CTCL/NMA

Fone 48 3431.7613 | Cel. 48 99187.2917

Rua Pascoal Meller, 73 | Bairro Universitário
CEP 88805-380 - CP 232 | Criciúma/SC | Brasil
Fone +55 48 3431.7500 | Fax +55 48 3431.7501
OUVIDORIA 0800.648.7600

www.portalsatc.com



COQUE CATARINENSE LTDA.
EMPRESA DE MINERAÇÃO - CARVÃO - COQUE

Criciúma/SC, 23 de novembro de 2017.

AUTORIZAÇÃO

Declaramos, por meio desta, que o aluno Clésio Tiago da Silva, do mestrado em Engenharia de Energia da UFSC campus Araranguá, foi autorizado a ingressar na área em recuperação ambiental cujos trabalhos são de responsabilidade da Coque Catarinense Ltda (COCALIT), localizada na Estiva dos Pregos, município de Capivari de Baixo/SC.

Atenciosamente

Denise N. Hilário
Administradora

APÊNDICE 1 – Análise de viabilidade econômica

CENÁRIO 1										
Ano	Preço Energia Elétrica (R\$/MWh)	Energia Gerada (MWh)	Receita Bruta (R\$)	Custo O&M (R\$) - Cenário 1	Receita Líquida (R\$) Cenário 1	Fluxo de Caixa Cenário 1	Valor Presente	Saldo		
0	R\$ -	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-R\$ 311.700.000,00	-R\$ 311.700.000,00	-R\$ 311.700.000,00		
1	R\$ 297,75	127808	R\$ 38.054.951,10	R\$ 3.117.000,00	R\$ 21.999.267,73	R\$ 21.999.267,73	R\$ 20.754.026,16	-R\$ 290.945.973,84		
2	R\$ 321,57	127927	R\$ 40.934.949,80	R\$ 3.117.000,00	R\$ 23.900.066,87	R\$ 23.900.066,87	R\$ 21.270.974,43	-R\$ 269.674.999,42		
3	R\$ 347,30	126788	R\$ 44.032.906,80	R\$ 3.117.000,00	R\$ 25.944.718,49	R\$ 25.944.718,49	R\$ 21.783.685,94	-R\$ 247.891.313,48		
4	R\$ 375,08	126281	R\$ 47.365.317,19	R\$ 3.117.000,00	R\$ 28.144.109,34	R\$ 28.144.109,34	R\$ 22.292.770,67	-R\$ 225.598.542,81		
5	R\$ 405,09	125776	R\$ 50.949.924,39	R\$ 3.117.000,00	R\$ 30.509.950,10	R\$ 30.509.950,10	R\$ 22.798.809,56	-R\$ 202.799.733,25		
6	R\$ 437,49	125273	R\$ 54.805.814,67	R\$ 3.117.000,00	R\$ 33.054.837,68	R\$ 33.054.837,68	R\$ 23.302.356,24	-R\$ 179.497.377,01		
7	R\$ 472,49	124772	R\$ 58.953.518,72	R\$ 3.117.000,00	R\$ 35.792.322,36	R\$ 35.792.322,36	R\$ 23.803.938,60	-R\$ 155.693.438,41		
8	R\$ 510,29	124272	R\$ 63.415.121,02	R\$ 3.117.000,00	R\$ 38.736.979,87	R\$ 38.736.979,87	R\$ 24.304.060,40	-R\$ 131.389.378,01		
9	R\$ 551,11	123775	R\$ 68.214.377,38	R\$ 3.117.000,00	R\$ 41.904.489,07	R\$ 41.904.489,07	R\$ 24.803.202,70	-R\$ 106.586.175,32		
10	R\$ 595,20	123280	R\$ 73.376.841,46	R\$ 3.117.000,00	R\$ 45.311.715,36	R\$ 45.311.715,36	R\$ 25.301.825,19	-R\$ 81.284.350,13		
11	R\$ 642,82	122787	R\$ 78.930.000,82	R\$ 3.117.000,00	R\$ 48.976.800,54	R\$ 48.976.800,54	R\$ 25.800.367,56	-R\$ 55.483.982,57		
12	R\$ 694,25	122296	R\$ 84.903.423,28	R\$ 3.117.000,00	R\$ 52.919.259,37	R\$ 52.919.259,37	R\$ 26.299.250,65	-R\$ 29.184.731,92		
13	R\$ 749,79	121807	R\$ 91.328.914,36	R\$ 3.117.000,00	R\$ 57.160.083,48	R\$ 57.160.083,48	R\$ 26.798.877,65	-R\$ 2.385.851,27		
14	R\$ 809,77	121320	R\$ 98.240.686,60	R\$ 3.117.000,00	R\$ 61.721.853,15	R\$ 61.721.853,15	R\$ 27.299.635,17	R\$ 24.913.780,90		
15	R\$ 874,55	120834	R\$ 105.675.541,76	R\$ 3.117.000,00	R\$ 66.628.857,56	R\$ 66.628.857,56	R\$ 27.801.894,30	R\$ 52.715.675,20		
16	R\$ 944,51	120351	R\$ 113.673.066,76	R\$ 3.117.000,00	R\$ 71.907.224,06	R\$ 71.907.224,06	R\$ 28.306.011,52	R\$ 81.021.686,72		
17	R\$ 1.020,07	119870	R\$ 122.275.844,45	R\$ 3.117.000,00	R\$ 77.585.057,34	R\$ 77.585.057,34	R\$ 28.812.329,71	R\$ 109.834.016,43		
18	R\$ 1.101,68	119390	R\$ 131.529.680,36	R\$ 3.117.000,00	R\$ 83.692.589,04	R\$ 83.692.589,04	R\$ 29.321.178,93	R\$ 139.155.195,37		
19	R\$ 1.189,81	118912	R\$ 141.483.846,57	R\$ 3.117.000,00	R\$ 90.262.338,73	R\$ 90.262.338,73	R\$ 29.832.877,31	R\$ 168.988.072,68		
20	R\$ 1.285,00	118437	R\$ 152.191.344,08	R\$ 3.117.000,00	R\$ 97.329.287,09	R\$ 97.329.287,09	R\$ 30.347.731,78	R\$ 199.335.804,45		
21	R\$ 1.387,80	117963	R\$ 163.769.185,00	R\$ 3.117.000,00	R\$ 104.931.062,10	R\$ 104.931.062,10	R\$ 30.866.038,83	R\$ 230.201.843,28		
22	R\$ 1.498,82	117491	R\$ 176.098.696,12	R\$ 3.117.000,00	R\$ 113.108.139,44	R\$ 113.108.139,44	R\$ 31.388.085,20	R\$ 261.589.928,48		
23	R\$ 1.618,73	117021	R\$ 189.425.845,44	R\$ 3.117.000,00	R\$ 121.904.057,99	R\$ 121.904.057,99	R\$ 31.914.148,51	R\$ 293.504.076,99		
24	R\$ 1.748,23	116553	R\$ 203.761.593,42	R\$ 3.117.000,00	R\$ 131.365.651,66	R\$ 131.365.651,66	R\$ 32.444.497,95	R\$ 325.948.574,94		
25	R\$ 1.888,09	116087	R\$ 219.182.270,81	R\$ 3.117.000,00	R\$ 141.543.298,73	R\$ 141.543.298,73	R\$ 32.979.394,76	R\$ 358.927.969,70		

CENÁRIO 2								
Ano	Preço Energia Elétrica (R\$/MWh)	Energia Gerada (MWh)	Receita Bruta (R\$)	Custo O&M (R\$) - Cenário 2	Receita Líquida (R\$) Cenário 2	Fluxo de Caixa Cenário 2	Valor Presente	Saldo
0	R\$ -	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-R\$ 461.950.000,00	-R\$ 461.950.000,00	-R\$ 461.950.000,00
1	R\$ 297,75	157680	R\$ 46.949.220,00	R\$ 7.391.200,00	R\$ 23.595.285,20	R\$ 23.595.285,20	R\$ 22.259.703,02	R\$ 438.690.296,98
2	R\$ 321,57	157049	R\$ 50.502.336,97	R\$ 7.391.200,00	R\$ 25.940.342,40	R\$ 25.940.342,40	R\$ 23.086.812,39	R\$ 416.603.484,59
3	R\$ 347,30	156421	R\$ 54.324.353,83	R\$ 7.391.200,00	R\$ 28.462.873,53	R\$ 28.462.873,53	R\$ 23.887.977,47	R\$ 392.705.507,13
4	R\$ 375,08	155795	R\$ 58.435.620,93	R\$ 7.391.200,00	R\$ 31.176.309,81	R\$ 31.176.309,81	R\$ 24.694.557,45	R\$ 368.010.949,68
5	R\$ 405,09	155172	R\$ 62.858.028,72	R\$ 7.391.200,00	R\$ 34.095.098,96	R\$ 34.095.098,96	R\$ 25.477.841,35	R\$ 342.533.108,33
6	R\$ 437,49	154552	R\$ 67.615.124,33	R\$ 7.391.200,00	R\$ 37.234.782,06	R\$ 37.234.782,06	R\$ 26.249.052,08	R\$ 316.284.056,25
7	R\$ 472,49	153933	R\$ 72.732.236,94	R\$ 7.391.200,00	R\$ 40.612.076,38	R\$ 40.612.076,38	R\$ 27.009.350,30	R\$ 288.274.705,95
8	R\$ 510,29	153318	R\$ 78.236.612,64	R\$ 7.391.200,00	R\$ 44.244.964,34	R\$ 44.244.964,34	R\$ 27.759.838,00	R\$ 261.514.867,95
9	R\$ 551,11	152704	R\$ 84.157.559,48	R\$ 7.391.200,00	R\$ 48.152.789,26	R\$ 48.152.789,26	R\$ 28.501.561,98	R\$ 238.013.305,98
10	R\$ 595,20	152094	R\$ 90.526.603,58	R\$ 7.391.200,00	R\$ 52.356.358,36	R\$ 52.356.358,36	R\$ 29.235.517,05	R\$ 203.777.788,93
11	R\$ 642,82	151485	R\$ 97.377.656,94	R\$ 7.391.200,00	R\$ 56.878.053,58	R\$ 56.878.053,58	R\$ 29.962.649,10	R\$ 175.815.139,83
12	R\$ 694,25	150879	R\$ 104.747.198,02	R\$ 7.391.200,00	R\$ 61.741.950,69	R\$ 61.741.950,69	R\$ 30.683.857,94	R\$ 143.131.281,89
13	R\$ 749,79	150276	R\$ 112.674.465,97	R\$ 7.391.200,00	R\$ 66.973.947,54	R\$ 66.973.947,54	R\$ 31.400.000,08	R\$ 111.731.281,81
14	R\$ 809,77	149675	R\$ 121.201.669,55	R\$ 7.391.200,00	R\$ 72.601.901,90	R\$ 72.601.901,90	R\$ 32.111.891,23	R\$ 79.619.390,58
15	R\$ 874,55	149076	R\$ 130.374.211,90	R\$ 7.391.200,00	R\$ 78.655.779,85	R\$ 78.655.779,85	R\$ 32.820.308,76	R\$ 46.799.081,83
16	R\$ 944,51	148480	R\$ 140.240.932,26	R\$ 7.391.200,00	R\$ 85.167.815,29	R\$ 85.167.815,29	R\$ 33.525.993,98	R\$ 13.273.087,84
17	R\$ 1.020,07	147886	R\$ 150.854.366,01	R\$ 7.391.200,00	R\$ 92.172.681,57	R\$ 92.172.681,57	R\$ 34.229.654,30	R\$ 20.956.566,46
18	R\$ 1.101,68	147294	R\$ 162.271.024,43	R\$ 7.391.200,00	R\$ 99.707.676,12	R\$ 99.707.676,12	R\$ 34.931.965,26	R\$ 55.888.534,71
19	R\$ 1.189,81	146705	R\$ 174.551.695,56	R\$ 7.391.200,00	R\$ 107.812.919,07	R\$ 107.812.919,07	R\$ 35.635.572,45	R\$ 91.522.104,17
20	R\$ 1.285,00	146118	R\$ 187.761.578,47	R\$ 7.391.200,00	R\$ 116.531.566,80	R\$ 116.531.566,80	R\$ 36.335.093,36	R\$ 127.857.197,53
21	R\$ 1.387,80	145534	R\$ 201.971.578,47	R\$ 7.391.200,00	R\$ 125.910.041,79	R\$ 125.910.041,79	R\$ 37.037.119,05	R\$ 164.894.316,58
22	R\$ 1.498,82	144952	R\$ 217.256.787,53	R\$ 7.391.200,00	R\$ 135.998.279,77	R\$ 135.998.279,77	R\$ 37.740.215,81	R\$ 202.634.532,38
23	R\$ 1.618,73	144372	R\$ 233.698.781,21	R\$ 7.391.200,00	R\$ 146.849.995,60	R\$ 146.849.995,60	R\$ 38.444.926,66	R\$ 241.079.459,04
24	R\$ 1.748,23	143794	R\$ 251.385.104,97	R\$ 7.391.200,00	R\$ 158.522.969,28	R\$ 158.522.969,28	R\$ 39.151.772,83	R\$ 280.231.231,87
25	R\$ 1.888,09	143219	R\$ 270.409.929,72	R\$ 7.391.200,00	R\$ 171.079.353,61	R\$ 171.079.353,61	R\$ 39.861.255,10	R\$ 320.092.486,97