

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**JOANÊS ADILIO RIBEIRO**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO SISTEMA DE IMPLANTAÇÃO DA ENERGIA  
SOLAR NO PRESÍDIO DE TEÓFILO OTONI-MG**

**TEÓFILO OTONI / MG**

**2017**



**JOANÊS ADILIO RIBEIRO**  
**FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO SISTEMA DE IMPLANTAÇÃO DA ENERGIA  
SOLAR NO PRESÍDIO DE TEÓFILO OTONI-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Rímenes Borges de Souza

**TEÓFILO OTONI / MG**

**2017**





## **FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado A VIABILIDADE DO SISTEMA DE IMPLANTAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO PRESIDIO DE TEÓFILO OTONI – MG, elaborado pelos aluno Joanês Adilio Ribeiro foi aprovado por todos os membros da banca examinadora e aceito pelo curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni como requisito parcial para a obtenção do título de

## **BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Teófilo Otoni, 11 de dezembro de 2017.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Profª. Orientador

---

Examinador

---

Examinador



*Dedico este trabalho ao meus pais,  
que sempre me deu exemplos de  
vida e apoio durante essa jornada  
acadêmica.*





## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente agradecemos a Deus, que me guiou nessa longa e cansativa jornada, me dando sabedoria e força para não desistir.

Ao meu orientador Rímenes Borges de Souza, coordenadora e professora Keytiane Iolanda Moura, por ter me auxiliado no decorrer da minha formação, e em especial no decorrer deste trabalho, cobrando resultados semanais, apontado os erros ao longo do caminho e também por ter me tranquilizado nos momentos corretos, me apoiado, incentivando e mediando nossos conflitos de ideias em prol do melhor desenvolvimento possível.

Aos meus amados pais e familiares por compreenderem na minha ausência, me apoiou e incentivou a busca pelo conhecimento, dando todo suporte necessário para a conclusão deste trabalho.

E a todos os outros que de forma direta ou indireta vieram a contribuir na elaboração deste.



*Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.*

Charles Chaplin



## **ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CBEE - Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial

CRESESB - Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito/CEPEL

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas do Brasil S/A

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

ROI - Retorno Sobre o Investimento



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1:</b> Localização de Teófilo Otoni em Minas Gerais .....	36
<b>FIGURA 2:</b> Mapa do Município de Teófilo Otoni e suas fronteiras .....	36
<b>FIGURA 3:</b> Média da Radiação Solar diária na cidade de Teófilo Otoni-MG .....	42
<b>FIGURA 4:</b> Vista superior do local de estudo usando o RETScreen .....	43





## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> Tabela de histórico de Consumo .....	45
<b>TABELA 2:</b> Tabela de com dados do sistema .....	47
<b>TABELA 3:</b> Lista de materiais .....	47
<b>TABELA 4:</b> Dados do sistema solar dimensionado .....	48
<b>TABELA 5:</b> Tabela com dados da viabilidade financeira .....	48
<b>TABELA 6:</b> Tabela do fluxo do caixa anual financiado .....	49



## RESUMO

A crise energética é um tema muito debatido na sociedade, constitui-se um dos grandes desafios da atualidade e podem ser destacados alguns fatores a ela relacionados, como a redução das reservas petrolíferas mundiais, impactos ambientais, a potencial escassez dos recursos naturais e o aumento da demanda por oferta de energia. Diante dessa problemática, surge a preocupação ambiental que a partir da qual se observa um processo de busca por fontes alternativas de energia que promovam o uso racional dos recursos energéticos, redução dos impactos ambientais e ampliação de energia em áreas isoladas. O Sistema penitenciário brasileiro encontra-se em estado de calamidade e surgem várias propostas de modelos para possível melhoria, e uma delas é o desacumulo de custos, como por exemplo a redução de gastos com energia elétrica em diversos setores, tornando assim fundamental o estudo de viabilidade para a implantação de projetos de energia fotovoltaica em unidades prisionais como possibilidade da redução de custos. Com o objetivo de elaborar e analisar a viabilidade de implantação de um Projeto de Energia Solar no Presídio de Teófilo Otoni – MG, este trabalho avalia o consumo de energia e a demanda energética, a viabilidade técnica e econômica para uma implementação do sistema de energia solar e dimensiona o sistema solar do local estudado, comprovando através de levantamentos financeiros que o projeto da implantação de energia solar fotovoltaica como alternativa para redução de custos e de diversificação energética é viável para o local estudado, concluindo assim que a implementação ameniza os custos do consumo de energia elétrica para o sistema prisional a longo prazo e garantindo, desde que mantendo o mesmo volume de consumo atual, a eliminação de gastos relativos ao consumo de energia.

**Palavras chave:** energética, unidades prisionais, diversificação, fotovoltaica.



## ABSTRACT

The energy crisis is a much debated issue in society, one of the major challenges of the present time and some related factors, such as the reduction of world oil reserves, environmental impacts, the potential shortage of natural resources and the increase of demand for energy supply. In the face of this problem, the environmental concern arises from which a process of searching for alternative sources of energy that promote the rational use of energy resources, reduction of environmental impacts and expansion of energy in isolated areas is observed. The Brazilian penitentiary system is in a state of calamity and there are several proposals for models for possible improvement, one of which is the reduction of costs, such as the reduction of expenses with electric energy in several sectors, thus making the study of feasibility for the implantation of photovoltaic energy projects in prison units as a possibility of cost reduction. With the objective of elaborating and analyzing the feasibility of implementing a Solar Energy Project at Teófilo Otoni - MG Prison, this work evaluates the energy consumption and energy demand, the technical and economic viability for an implementation of the solar energy system and size the solar system of the studied site, proving through financial surveys that the project of the implantation of photovoltaic solar energy as an alternative for cost reduction and energy diversification is feasible for the place studied, thus concluding that the implementation minimizes consumption costs of electricity to the prison system in the long term and guaranteeing, while maintaining the same volume of current consumption, the elimination of expenses related to energy consumption.

**Keywords:** energy, prison units., diversification, photovoltaic.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>27</b>
2.1 Percepções e classificação da energia	27
2.2 Matriz Energética	28
2.3 Crise Energética No Brasil	29
2.4 Energia Limpa	30
2.5 Energia Solar	31
2.5.1 Os principais tipos de células fotovoltaicas	32
2.5.1.1 Célula de Silício Monocristalino (mono-Si)	32
2.5.1.2 Silício Policristalino	32
2.6 Viabilidade Técnica, Ambiental e Econômica da Energia Fotovoltaica	32
2.7 Sistema Prisional Brasileiro	33
2.8 Ferramenta Computacional	34
<b>3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA</b>	<b>35</b>
3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins	35
3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios	35
3.2.1 Localização e Caracterização do Local de Estudo	35
3.3 Coleta e Tratamento de Dados	37
3.3.1 Análise da Demanda Energética e Dimensionamento dos Sistemas Fotovoltaicos	37
3.3.2 Dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico	38
3.3.2.1 Dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico:	38
3.3.3 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	39
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>41</b>
4.1 Análise de Demanda Energética e Dimensionamento do Sistema	41
4.1.1 Dados de irradiação solar, potencial fotovoltaico e médias anuais	41
4.1.2 Orientação e inclinação para painéis fotovoltaicos	43
4.1.3 Área da cobertura	44
4.1.4 Sombreamentos:	44
4.1.5 Avaliação do consumo energético	44
4.1.6 Dimensionamento do sistema fotovoltaico	45
4.1.6.1 Dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico:	46





4.1.6.2 Dimensionamento do inversor.....	46
4.1.6.3 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos.....	46
<b>4.2 Análise Orçamentária.....</b>	<b>47</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica, assim como sua forma de produção e consumo é essencial para toda organização social, ambiental e econômica. Impactos ambientais e sociais surgem em consequência disso, considerando que não há desenvolvimento econômico sem a utilização e suprimento de energia (SANTOS, 2015).

A matriz energética mundial é composta por várias fontes primárias, dentre as quais os combustíveis fósseis, como o petróleo, prevalecem sobre as demais. No entanto, devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento tecnológico e industrial, houve um consequente aumento na demanda de energia (TORRES, 2012).

A crise energética é um tema muito debatido na sociedade, constitui-se um dos grandes desafios da atualidade. Podem-se destacar alguns fatores a ela relacionados, como a redução das reservas petrolíferas mundiais, impactos ambientais, a potencial escassez dos recursos naturais e o aumento da demanda por oferta de energia. (CABRAL; VIEIRA, 2012).

Com o objetivo de elaborar e analisar a viabilidade de implantação de um Projeto de Energia Solar no Presídio de Teófilo Otoni – MG, este trabalho avaliou o consumo de energia, a demanda energética e a viabilidade técnica e econômica para uma implementação do sistema de energia solar e dimensiona o sistema solar do local estudado.

Diante dessa problemática, surge a preocupação ambiental que a partir da qual se observa um processo de busca por fontes alternativas de energia que promovam o uso racional dos recursos energéticos, redução dos impactos ambientais e ampliação de energia em áreas isoladas (CABRAL; VIEIRA, 2012).

A disponibilidade de luz solar, transformada em energia, pode ser capturada em quase todo o mundo, e desde a década de 1990 o mercado da utilização desta fonte de energia vem crescendo (SANTOS, 2015). A utilização desta para fins energéticos apresenta-se como uma tendência crescente na matriz energética nacional (TORRES, 2012) e pode estar disponível de diversas formas, inclusive diretamente para a energia elétrica (SILVA, 2005).

A energia solar é o calor e a luz proveniente do sol, para vida no planeta, e constituem uma fonte de energia necessária (SILVA, 2005). O aproveitamento direto da energia solar para eletricidade, se dá por dois tipos de tecnologia (FARRET,

1999; WEA, 2000), entre estas a conversão da energia luminosa no sol em eletricidade, por meio de células fotovoltaicas (SILVA, 2005).

O Brasil está localizado na zona intertropical, registrando altos índices de irradiação solar durante todo o ano, em comparação com outros países que já fazem uso desta tecnologia (TORRES, 2012). E portanto, necessita de metodologias eficientes que o permitam explorar plenamente seu potencial de geração de energia elétrica e térmica (LANGE, 2012).

De acordo com Vettorazzi et al (2010), o uso da energia solar deve ser projetada nas edificações com estratégias que combinam as características climáticas locais, podendo usufruir da energia solar passiva que atenda às necessidades e conforto ambiental.

O Sistema penitenciário brasileiro encontra-se em estado de calamidade e surgem várias propostas de modelos para possível melhoria, e uma delas é a divisão de custos (AZEVEDO, et al 2015), como por exemplo a redução de gastos com energia elétrica em diversos setores. Torna-se fundamental estudos de viabilidade para a implantação de projetos de energia fotovoltaica em unidades prisionais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Percepções e classificação da energia**

A energia é um recurso indispensável à vida humana, isso porque em qualquer atividade cotidiana ela está presente, podendo ser encontrada nos mais diversos eventos da natureza, como, ventos, chuvas, terremotos, dentre outras.

No mundo moderno, a produção de energia elétrica tem valor importante, tanto para o progresso quanto para o desenvolvimento. Através da descoberta da energia pôde-se obter melhorias na saúde e qualidade de vida de vida das pessoas, no cenário social e político possui também representatividade no sistema capitalista e na sociedade de consumo (GUENA, 2007).

Na física a energia é definida como a capacidade de gerar trabalho e pode ser aferida como unidade de trabalho com equivalência em potência. A energia pode ser conceituada ou caracterizada, a partir de suas fontes geradoras, como primária, obtida através de recursos fundamentais da natureza, como, o núcleo dos átomos, energia gravitacional, e a energia proveniente do sol; e a secundária, são derivadas das primárias, porém sofre transformações, como, a energia da biomassa (energia solar) e das marés (gravitacional) (DADALTO, 2008).

A obtenção da energia através das usinas hidrelétricas tem representado a fonte de energia mais utilizada no Brasil, devido ao grande consumo dessa energia principalmente pelas residências (CREDER, 2002).

A construção e implantação de grandes hidrelétricas podem gerar, além de energia elétrica, sérias consequências e impactos ambientais capazes de afetar a biodiversidade local e global, a exemplo da emissão de gases de efeito estufa, de provocar impactos socioeconômicos e afetar a agricultura e a pecuária, dentre outros. (TOLMASQUIM,2000).

A energia proveniente do petróleo também é outro tipo de energia muito utilizada devido ao alto potencial energético e exploração quase total desse potencial. Entretanto, a utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis tem como ponto negativo o impacto ambiental, pois, a queima destes combustíveis tem gerado inúmeros problemas ambientais, como agravamento do efeito estufa, derretimento das geleiras, poluição do ar e prejuízos à vida dos organismos (TOLMASQUIM, GUERREIRO E GORINI,2007).

A necessidade de gerar energia com o mínimo de impacto ambiental, com um processo mais sustentável, tornou-se o maior objetivo. Uma das alternativas é a geração de energia elétrica a partir da radiação solar. O aproveitamento da energia solar, inesgotável se levado em conta a escala de tempo terrestre, vem dos primórdios da formação da Terra. Dos primeiros microrganismos até os organismos evoluídos dos dias atuais, todos necessitam da luz solar para sobreviver e evoluir. O sol é a fonte de energia responsável pela origem da maioria das fontes de energia renováveis e, mesmo os que não utilizam diretamente a radiação solar, têm sua origem neste. Esse processo é realizado com a utilização de células fotovoltaicas, onde o principal componente é o silício, elemento abundante no planeta. O problema de se utilizar as células fotovoltaicas é o alto custo de fabricação, pois o processo ainda não é industrializado e a mão de obra artesanal é cara, tornando o produto final inacessível para a grande maioria da sociedade (NUNES,2011).

## 2.2 Matriz Energética

A matriz energética é a energia disponível para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos, ou seja, é a quantidade de recursos energéticos de um país (TOLMASQUIM, 2000)

Um país, como o Brasil, de extensão territorial considerável, rico em recursos naturais, deve ter sua atenção voltados a esses fatores tanto do ponto de vista econômico, quanto do lado estratégico visando o suprimento energético.

Considerando a condição hidrográfica brasileira, o sistema elétrico tem como fonte principal a energia gerada pelas hidrelétricas. As principais fontes energéticas do país são:

**Petróleo e derivados:** espera-se que em 2020 o consumo de petróleo deve seguir trajetória crescente, acompanhando as condicionantes do cenário macroeconômico e em 2030 haja superávit no balanço de produção e consumo de petróleo. Espera-se ainda que os derivados de petróleo possam manter a posição de liderança entre as fontes com uma participação de cerca de 30% da matriz energética brasileira. **Gás natural:** com o contínuo investimento na exploração e produção de gás natural a produção poderá elevar para mais de 250 milhões de m<sup>3</sup>por dia em 2030, com uma taxa de crescimento média de 6,3% ao ano no período em projeção.

**Cana-de-açúcar:** o uso da cana-de-açúcar para fins energéticos é o principal fator da expressiva expansão da produção de etanol. Espera-se um aumento da produção dos demais derivados da cana-de-açúcar, em especial a biomassa que poderá ser destinada a produção de etanol e

assim gerar e energia elétrica. **Eletricidade:** estima-se que em 2030 o consumo de energia elétrica no Brasil supere o patamar de 1.080 kwh, perfazendo uma expansão média de 4% ao ano no período. Essa projeção inclui uma parcela de eficiência energética referente ao uso de melhores práticas de consumo e envolvendo progressiva substituição de equipamentos elétricos por outros mais eficientes nos diferentes segmentos da economia e da sociedade (Tolmasquim, Guerreiro e Gorini, 2007).

### 2.3 Crise Energética No Brasil

A exploração desordenada dos recursos naturais tem impactado na atual crise energética. Nas últimas décadas o consumo de energia elétrica tem sido maior que a sua capacidade de produção. Há que se ressaltar também que uma das origens da crise energética é a falta de investimentos na geração e transmissão (VIEIRA et al., 2015).

Entre 1990 e 2000 o Brasil viveu um descompasso entre o crescimento da demanda e da oferta. O consumo cresceu 49% e a capacidade expandida instalada foi de 35% (TOLMASQUIM, 2000).

O blackout de 11 de março de 1999 atingiu 10 estados brasileiros e um Paraguai. É considerado o maior apagão ocorrido no Brasil. Teve início às 22:16 h em uma subestação de energia elétrica da companhia Energética do Estado de São Paulo no município de Bauru. Ao todo o apagão atingiu cerca de 50 milhões de pessoas no Brasil, distribuídas nos estados brasileiros da região sul, sudeste e centro-oeste, além do Distrito Federal, com tempo de duração variável de minutos a até horas entre os estados. Essa pane acionou um sistema de segurança na Usina Hidrelétrica de Itaipu que abastece parte do Brasil e o Paraguai, deixando a população paraguaia sem distribuição elétrica por cerca de 15 minutos.

É atribuído a crise energética enfrentada pelo Brasil em 2001/2002, sendo de origem financeira, devido a falta de investimento e planejamento do setor energético para atendimento da demanda atual como também para sustentar o crescimento econômico do país. Foram implementadas medidas governamentais a fim de evitar o ocorrido em 1999, assim, estabeleceu-se o racionamento de energia elétrica principalmente nos horários em que há um maior consumo energético (CASTRO, 2015).

O objetivo era a redução em 20% da energia utilizada nos meses de maio a julho de 2000, foram estabelecidas metas de redução mensal e o não cumprimento

dessas metas teria como forma punitiva o pagamento de uma taxa ou corte temporário do fornecimento. Os efeitos dessas medidas governamentais surtiram efeito rapidamente tanto na população quanto no comércio e na indústria. Entretanto, verificou-se na população a mudança de comportamento através da adesão ao uso consciente da energia, a utilização da energia em horários ociosos e o uso de equipamentos de menor gasto elétrico (GARCIA 2011).

O Governo Federal adotou medidas para expansão da produção energética no período crítico objetivando que a crise não prolongasse e, assim, criou uma empresa pública que contrataria energia emergencial, a Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial (CBEE), para manter essas energias emergenciais foi criado o encargo de capacidade emergencial, uma taxa que incidiria sobre a conta de luz, popularmente conhecido como seguro apagão. Parte dessa taxa também iria para o Plano Prioritário de Termelétricas, que previa construir usinas termelétricas para aumentar a capacidade instalada e diminuir a dependência hidrelétrica no país. O término do racionamento trouxe como benefícios um novo padrão de consumo energético baseado na diminuição do consumo, os investimentos iniciais realizados contribuíram para a capacidade produção e todos esses fatores possibilitaram uma folga na capacidade do sistema que somente em 2007 veio a ser questionada devido ao risco de novos blackouts, entretanto não chegaram a ocorrer (GARCIA, 2011).

## **2.4 Energia Limpa**

Apesar do processo de geração de energia ser um fator indispensável ao crescimento do país, por outro lado, é responsável pelo aquecimento global, devido a queima de combustíveis fósseis para gerar energia. A solução para este problema está na produção de energia através de fontes renováveis e limpas, que não liberam durante seu processo de produção ou consumo resíduos, gases poluentes e assim não contaminem a atmosfera terrestre.

As principais fontes de energia limpa são: eólica, solar, das marés, biogás e dos biocombustíveis. A utilização desse tipo de energia pode propiciar a melhoria na qualidade de vida das pessoas, uma vez que no processo de produção de energia não há emissão de gases poluentes e também garantem o desenvolvimento sustentável do planeta (SILVA, 2010).



## 2.5 Energia Solar

O Sol é um astro localizado a 150 milhões de quilômetros da terra e possui 110 vezes o seu tamanho. O núcleo solar pode alcançar temperaturas perto de 40 milhões de graus centígrados e sua superfície pode atingir 6000°C, por isso é considerado uma imensa fornalha esférica (HINRICHS; KLEINBACH; DOS REIS, 2010). O fornecimento anual de energia pela radiação solar, para a superfície terrestre, é de  $1,5 \times 10^{18}$  Kwh (CRESESB, 2006). Da energia total produzida no interior do Sol, apenas uma pequena fração chega à Terra e é transformada de energia nuclear para energia luminosa, composta por pacotes de pequenas partículas que contém energia e denominados fótons (MATAVELLI, 2013).

A energia solar tem se destacado, dentre as mais significativas fontes de energia, pelo fato de ser uma fonte de energia abundante durante todo o ano, praticamente inesgotável, que pode ser usada para a produção de eletricidade, através de painéis solares. O Brasil possui enorme potencial de radiação solar, variando de 1420 a 2230 kwh/m<sup>2</sup> /ano (ROCHA, 2010; ANNEL, 2008).

Apesar de o Brasil ser um dos países mais ricos do mundo na incidência de raios solares e devido a sua localização geográfica possuir uma insolação média superior à das nações industrializadas, a produção de energia solar ainda é pequena (ALVARENGA, 2001).

Energia solar é aquela produzida através de reações nucleares e que se propaga através do espaço interplanetário que incide na superfície da Terra. Ela pode ser captada por painéis solares fotovoltaicos, compostos de associação de células fotovoltaicas, e/ou painéis solar-térmicos utilizados para várias aplicações. Ela é considerada uma fonte de energia limpa e renovável, pois não polui o meio ambiente e é ilimitada (ANEEL, 2008).

Nunes (2011) destaca as vantagens deste tipo de energia: ser difusa periódica; silencioso; não consome combustível; tem uma vida útil superior a 20 anos; não produz poluição nem contaminação ambiental; permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais; é resistente as condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade), é renovável à escala humana, estando disponível em quantidades muito elevadas.

## 2.5.1 Os principais tipos de células fotovoltaicas

### 2.5.1.1 Célula de Silício Monocristalino (*mono-Si*)

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais utilizada e comercializada. Tais células solares são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidos em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas, com espessura atual em torno de 200  $\mu\text{m}$ . A eficiência deste tipo de célula fotovoltaica varia de 15% (ASIF, 2008b) a 24,7% (PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS, 2008).

### 2.5.1.2 Silício Policristalino

Também chamado de silício poli cristalino, tais células fotovoltaicas são produzidas a partir de blocos de silício, obtidos por fusão de porções de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício resfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam em um único cristal, formando-se uma estrutura poli cristalina com superfícies de separação entre os cristais. A presença de interfaces entre os vários cristais reduz um pouco a eficiência destas células. A eficiência deste tipo de célula, na conversão de luz em eletricidade, é menor do que as de silício monocristalino, variando de 14% (IEA, 2008a) a 20,3% (PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS, 2008).

## 2.6 Viabilidade técnica, ambiental e econômica da energia fotovoltaica

As células fotovoltaicas têm como função a conversão da energia solar em energia elétrica (corrente contínua), a geração direta via radiação solar é obtida através dessas células, constituídas por materiais semicondutores, dispostos em uma junção p-n (os elétrons livres do semicondutor tipo N migrarão para o semicondutor tipo P para ocuparem esses espaços). que ao incidir a radiação solar ocorre o efeito fotovoltaico, gerando uma diferença de potencial nesta junção (ELETROBRÁS, 1993).

“O efeito fotovoltaico ocorre em materiais da natureza semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente “vazia” (banda de condução). Se uma junção p-n for exposta a fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna. Se isto

acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, será gerada uma corrente através da junção, assim criando uma diferença de potencial ao qual chamamos de efeito fotovoltaico. Se as duas extremidades das camadas semicondutoras forem conectadas a um voltímetro, terá uma medição aferida em seu visor” Almeida (2011),

O material semicondutor mais utilizado para a fabricação de células fotovoltaicas é o silício, entretanto, pode ser utilizado também cristais monocristalinos, poli cristalinos ou de silício amorfo. A constituição do sistema fotovoltaico é basicamente composto por painéis fotovoltaicos conectados a uma bateria de acumuladores para fazer o armazenamento da energia convertida pelos painéis (RIBEIRO, 2012).

Para a implantação do sistema fotovoltaico é necessário realizar uma análise das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.); a disponibilidade de radiação solar; latitude local e da posição no tempo; o período de visibilidade do Sol ou de claridade (BRASIL, 2000).

Para que um sistema fotovoltaico funcione não necessita do brilho do sol para operar. Assim, nos dias nublados ele também gera eletricidade entretanto, a quantidade de energia gerada depende da densidade das nuvens. Devido à reflexão da luz do Sol, dias com poucas nuvens podem resultar em mais produção de energia do que dias completamente claros (BRASIL, 2014).

No sistema de energia fotovoltaica existem impactos ambientais observados em duas fases: na fase da produção dos módulos; e no fim de seu tempo de utilização, após cerca de 30 anos de geração, no momento do dimensionamento da planta, onde parte será reciclada e a outra parte disposto em aterros sanitários (BRASIL, 2014).

Além da energia no sistema fotovoltaico ser produzida de forma limpa e renovável. E conforme Vilhalva, Gazoli (2012) esse tipo de energia estimula a produção energética compartilhada, diminuindo o custo com redes de distribuição, e, a energia produzida através dos painéis instalados nas residências teria condições de alimentar e abastecer as redes nos momentos de maior demanda.

## **2.7 Sistema Prisional Brasileiro**

De acordo com o Ministério da Justiça, unidades prisionais são todos os locais utilizados pelo estado para alojar quem é preso, independentemente de ser provisório, condenado ou submetidos a medida de segurança; cabendo ao estado estabelecer em cada caso concreto, em qual estabelecimento penal, o apenado,

deva cumprir sua pena, sempre enfocando o desejo ressocializador. Podendo ser indicado as penitenciárias, presídios, unidades agrícolas, casa do albergado, cadeias públicas, centro de observação criminológica e hospital de custódia e tratamento psiquiátrico (BOSCHI, 1997).

Os sistemas prisionais são instrumentos de recuperação de indivíduos em que algum momento da sua vida cometeram delito e necessitam pagar essa sua “dívida” com o estado. Essa recuperação deveria vir de forma a reinserir esses indivíduos na sociedade através de práticas educativas, de saúde, restabelecimento de vínculos familiares, trabalho, lazer.

No Brasil até 2014 existiam 1424 unidades prisionais com 607.731 reeducando. São 260 estabelecimentos penais destinados ao regime fechado, 95 ao regime semiaberto, 23 ao regime aberto, 725 a presos provisórios e 20 hospitais de custódia, além de 125 estabelecimentos criados para abrigar presos dos diversos tipos de regime (BRASIL, 2015).

## **2.8 Ferramenta Computacional (RETScreen)**

O Software RETScreen Clean Energy Management ferramenta para análise de projetos de energia limpa, criado pelo governo do Canadá, é uma plataforma gratuita que possibilita ao usuário efetuar levantamentos de viabilidades econômicas para projetos de energia limpa, inclui as ferramentas RETScreen Versão 4 e RETScreen Plus.

## **2.9 Payback e ROI**

O payback é uma medida de tempo, define o tempo de retorno do investimento, já o ROI disponibiliza uma relação entre lucro com valor investido, quanto maior for o valor do ROI, maior o retorno financeiro, Ele avalia o quanto um investimento valeu a pena ou não.

## **3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA**

### **3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins**

A pesquisa se caracteriza como descritiva, aplicada, intervencionista e quantitativa, pois foi proposto a aplicação de um projeto de intervenções no local de estudo. Além disso, foram avaliadas viabilidades técnicas e econômicas descritas em números, tabelas e texto.

### **3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios**

Classifica-se a pesquisa como de campo por apresentar a viabilidade técnica da implantação de um sistema solar fotovoltaico, registrando os dados de acordo com a relevância e a necessidade de discuti-los ao longo do trabalho.

De acordo com MACONI E LAKATOS (2003) o estudo de campo consiste na observação de feitos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente na coleta de dados a eles referentes e no registro que se presumem relevantes, para analisa-los. MACONI E LAKATOS (2003) dizem ainda que em primeiro lugar para que seja feita uma pesquisa de campo é necessária a concentração de uma pesquisa bibliográfica em respeito do tema abordado.

Para Gil (2002) este modelo de pesquisa apresenta como foco central a busca a identificação de elementos inerentes a determinação ou que trazem por contribuir para execuções das ações propostas, estabelecendo ainda um modelo de pesquisa mais amena a particularidade do local analisado.

#### **3.2.1 Localização e caracterização do local de estudo**

O local de estudo foi o Presídio da Cidade de Teófilo Otoni-MG, que encontra-se localizado na zona rural, a 17km da área urbana.

O município de Teófilo Otoni compõe a mesorregião do Vale do Mucuri, situada na região Nordeste do estado de Minas Gerais. Segundo o IBGE (2014) a cidade é considerada um centro macrorregional, sendo a 18ª cidade mais populosa do estado com cerca de 140.000 habitantes e 3.242.270 km<sup>2</sup> (Figura 1 e 2).

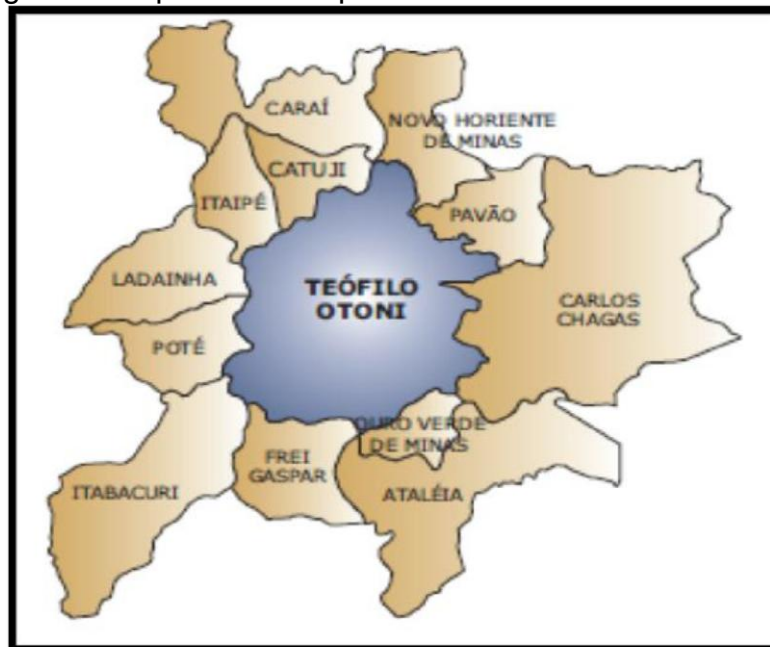
Figura 1: Localização de Teófilo Otoni em Minas Gerais



Fonte: MF Rural (2017)

O clima é caracterizado como tropical quente semiúmido (IBGE,2014b), com temperatura média anual de 23°C, invernos secos e verões chuvosos com altas temperaturas. A temperatura máxima média no verão é de 31,9°C, com maior máxima registrada até 1990 de 39,2°C (INMET, 2014).

Figura 2: Mapa do Município de Teófilo Otoni e suas fronteiras.



Fonte: Prefeitura Municipal de Teófilo Otoni- MG, 2009.

De acordo com a carta bioclimática, elaborada por estudo realizado por Barbosa et al (2016), cerca de 76% das horas do ano exigem sombreamento abertura em Teófilo Otoni - MG. O que pode indicar a presença de insolação na maior parte do ano nesta localidade

O presídio é uma área de segurança, tendo assim alguns limites de informação. É dividido por setores, sendo um setor administrativo e o setor de segurança, onde será feito o estudo. Possui uma área com 4 pavilhões, onde cada pavilhão possui 150m<sup>2</sup>, com uma certa de 782 presos, onde e concentrado a maior parte da iluminação.

### **3.3 Coleta e tratamento de dados**

De início efetuou-se a análise da estimativa de energia gerada pelos painéis e a área necessária de instalação. Em sequência, foi realizado o orçamento do sistema fotovoltaico em atendimento ao Presídio de Teófilo Otoni – MG

#### **3.3.1 Análise da demanda energética e dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos**

Foram efetuados levantamentos dos dados de: irradiação solar, orientação e inclinação para painéis fotovoltaicos; área da cobertura e sombreamento; avaliação do consumo energético e o potencial fotovoltaico.

O software RETScreen foi utilizado para identificar a radiação média diária. A orientação e inclinação para painéis fotovoltaicos foi determinada de acordo com a latitude local, baseado na teoria de CRESESB (2014). Além disso foram realizadas visitas e avaliação do consumo de energia do local, através das contas de energia.

De acordo com Silva (et. al, 2016) para que seja possível calcular a quantidade de energia à ser gerada diariamente é necessário conhecer o comportamento médio do consumo do estabelecimento dentre um determinado período pré-definido. Não se deve levar em consideração os consumos mínimos e máximos, para que o sistema não seja sub e superdimensionado respectivamente.

Para embasar o dimensionamento do sistema fotovoltaico do Presídio de Teófilo Otoni, considerou-se o histórico de consumo dos últimos doze meses e o coeficiente médio de radiação solar diário para 30 dias ao mês. Levando em consideração estes dados, foram realizados os cálculos abaixo descritos:

### 3.3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema do presídio foram utilizados os resultados das análises supracitados de forma a chegar ao mais próximo possível da necessidade do local.

Para dimensionamento deste caso, foi utilizado o consumo médio de 17.636,8 kWh/mês que corresponde à média de 100% do consumo médio mensal do presídio, o coeficiente médio de radiação solar diário para Teófilo Otoni de 4,81 horas e considerou-se 30 dias ao mês.

Levando em consideração os dados acima foram apresentados os seguintes resultados do dimensionamento do sistema:

#### 3.3.2.1 Dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico:

Para calcular a potência de pico sistema fotovoltaico foi utilizado o valor de consumo médio mensal (Wh) dividido pelo número de dias considerados, tendo seu resultado dividido pelo coeficiente médio de radiação solar diária. Conforme equação (1):

$$P_{FV} = \frac{C_{MM}/D}{RSD} \quad (1)$$

ONDE:

$P_{FV}$  (Wp) = Potência de pico do sistema fotovoltaico

CMM (Wh) = Consumo médio mensal

D = Dias do mês considerados

RSD(h) = Coeficiente médio de radiação solar

#### 3.3.3 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos:

Para o dimensionamento dos painéis considerou-se a fórmula abaixo, e foram considerados painéis de 260w e 320w, optando pelas placas de 320w, considerando a utilização de uma menor área para a instalação do sistema fotovoltaico no prédio, conforme a equação (2):



$$N_m = \frac{P_{FV}}{P_{módulo}} \quad (2)$$

ONDE:

$P_{FV}$  (Wp) = Potência de pico do sistema fotovoltaico

$P_{módulo}$  (W) = potência do painel fotovoltaico

$N_m$  = número de módulos (placas) deverão ser utilizados para suprir a demanda.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Essa etapa da pesquisa revela os resultados e discussões apurados. De início foi efetuado a análise da estimativa de energia gerada pelos painéis e a área necessária de instalação. Em sequência, será apresentada avaliação financeira do sistema fotovoltaico em atendimento ao Presídio de Teófilo Otoni de acordo com os orçamentos recebidos da empresa AG Energia da cidade de Dourados no Mato Grosso do Sul e da empresa XESTEC Energia Solar do Rio de Janeiro.

### **4.1 Análise de Demanda Energética e Dimensionamento do Sistema**

Para elaboração da análise de viabilidade do sistema de implantação da energia solar no Presídio de Teófilo Otoni – MG, foram efetuados levantamentos de dados solarimétricos, visitas e avaliação do consumo de energia do local através de análise das contas de energia, coletando os seguintes dados:

- Dados de irradiação solar, potencial fotovoltaico e médias anuais;
- Orientação e inclinação para painéis fotovoltaicos;
- Área da cobertura;
- Sombreamentos;
- Avaliação do consumo energético;

#### **4.1.1 Dados de irradiação solar, potencial fotovoltaico e médias anuais**

Com dados colhidos a partir do software RETScreen, foi identificado a radiação média diária do Presídio de Teófilo Otoni, situado no Córrego São Miguel do Pita km 17, zona rural de Teófilo Otoni com o valor de 4,81 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Figura 3: Média da Radiação Solar diária na cidade de Teófilo Otoni-MG.

Localização dos dados climáticos		Localização do Projeto	
Unidade			
Latitude	°N	-17,9	-17,9
Longitude	°E	-41,5	-41,5
Elevação	m	570	570
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	15,5	
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	31,7	
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	11,6	

Mês	Temperatura do Ar		Radiação solar diária - horizontal		Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia		Refrigeração
	°C	Humidade relativa %	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa				m/s	°C-d	
Janeiro	25,0	66,5%	5,70	95,5	3,0	26,3	0	466		
Fevereiro	25,2	64,0%	5,88	95,6	3,0	26,8	0	426		
Março	24,4	69,6%	5,14	95,6	2,9	25,6	0	447		
Abril	23,6	69,3%	4,55	95,7	3,2	24,8	0	409		
Maior	22,4	66,1%	4,05	95,9	3,2	23,4	0	385		
Junho	21,3	64,1%	3,88	96,1	3,3	22,5	0	340		
Julho	20,9	64,3%	3,96	96,2	3,5	22,6	0	339		
Agosto	21,7	60,9%	4,63	96,1	3,2	24,2	0	364		
Setembro	23,3	59,7%	4,94	95,9	3,3	26,2	0	400		
Outubro	24,2	62,3%	5,10	95,7	3,4	26,8	0	440		
Novembro	24,0	69,3%	4,87	95,6	3,4	25,6	0	420		
Dezembro	24,2	71,5%	5,05	95,5	3,3	25,2	0	440		
<b>Anual</b>	23,4	65,6%	4,81	95,8	3,2	25,0	0	4.876		
Medido a					10,0	0,0				

Fonte: RETScreen4 (2017)

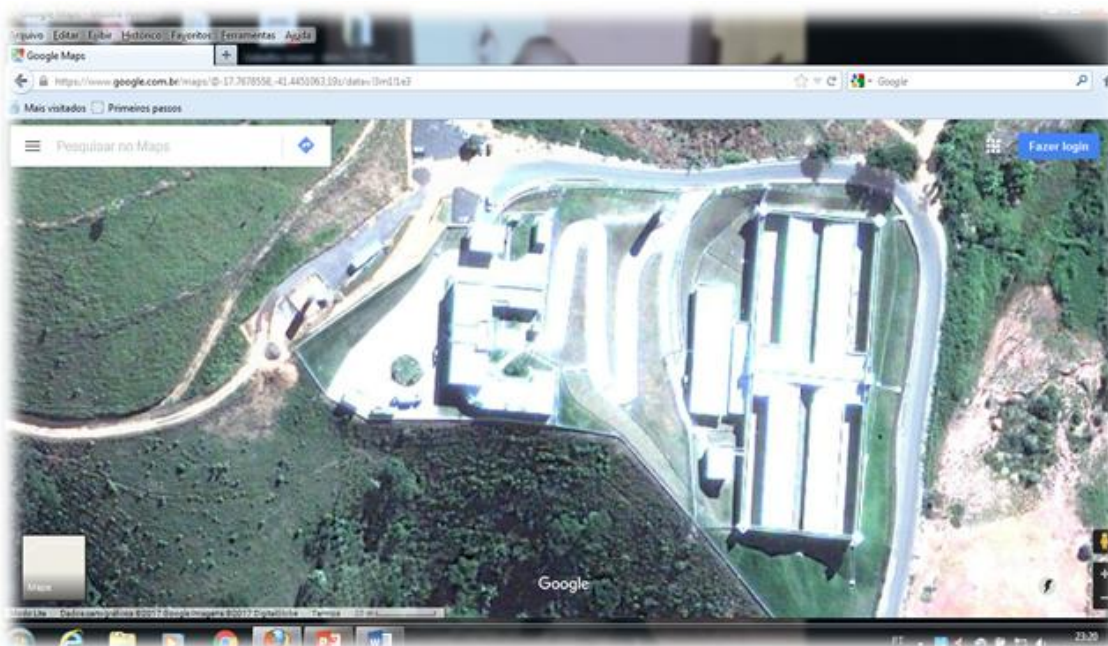
#### 4.1.2 Orientação e inclinação para painéis fotovoltaicos

Karasawa (2015) diz que a inclinação dos painéis solares é determinada considerando o azimute e o plano horizontal, compensando o desvio uma vez de forma que os painéis são fixos e não acompanham a variação da Terra em relação ao Sol. No caso de situado no hemisfério Sul, devem os painéis estarem direcionados para o norte “verdadeiro” e sua inclinação ajustada de acordo com o plano horizontal a fim de maximizar a produção média anual. Geralmente a inclinação gira em torno de ângulos próximos à latitude do local da instalação.

Enquanto o CRESESB (2014) afirma que o ângulo de inclinação dos painéis deve ser igual ao da latitude do local da instalação do sistema, porém, variações modestas na inclinação não resultam em grandes mudanças no montante anual de geração de energia. De acordo com o Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito/CEPEL, a inclinação dos painéis pode variar entre 10° para mais ou para menos em relação à latitude do local.

Será adotado o ângulo para a usina de 17°, levando em consideração o teto do local ser plano.

Figura 4: Vista superior do local de estudo usando o RETScreen.



Fonte: RETScreen4 (2017)

#### 4.1.3 Área da cobertura

O local de instalação de um sistema fotovoltaico pode vir a interferir significativamente na viabilidade do projeto devido a uma série de fatores, como por exemplo: área onde serão instalados os módulos inferior à necessária para alocação do sistema para atender a demanda requerida pelo cliente; presença de sombreamentos consideráveis fazendo com que ocorra perdas na produção do sistema, problemas estruturais entre outros. (PORTAL ENERGIA, 2004).

#### 4.1.4 Sombreamentos:

O Portal Energia (2014) afirma que a projeção de sombras sobre os módulos fotovoltaicos causa um efeito negativo nos índices de geração de energia, podendo reduzir significativamente sua eficiência, conseqüentemente aumentando o tempo de retorno do investimento do sistema. Após a avaliação da cobertura do Presídio de Teófilo Otoni, não foram identificados sombreamentos que poderiam comprometer o desempenho do sistema.

#### 4.1.5 Avaliação do consumo energético

De acordo com Silva et. al (2016) para que seja possível calcular a quantidade de energia à ser gerada diariamente é necessário conhecer o comportamento médio do consumo do estabelecimento dentre um determinado período pré-definido. Não se deve levar em consideração os consumos mínimos e máximos, para que o sistema não seja sub e superdimensionado respectivamente.

Para embasar o dimensionamento do sistema fotovoltaico do Presídio de Teófilo Otoni, considera-se o histórico de consumo dos últimos doze meses conforme tabela 1:

Tabela 1: Tabela de histórico de Consumo

HISTÓRICO DE CONSUMO	
MÊS/ANO	Wh/MÊS
out/16	17056000
nov/16	17958000
dez/16	16974000
jan/17	19762000
fev/17	16564000
mar/17	15990000
abr/17	19024000
mai/17	17384000
jun/17	18778000
jul/17	17056000
ago/17	16400000

Fonte: Acervo da própria pesquisa (2017)

Nota-se que o consumo médio mensal do presídio é de aproximadamente 17636,8 KWh/mês.

#### 4.1.6 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema do presídio foram utilizados os resultados das análises supracitados de forma a chegar ao mais próximo possível da necessidade do local.

Para dimensionamento deste caso, foi utilizado o consumo médio de 17.636,8 kWh/mês que corresponde à média de 100% do consumo médio mensal do presídio, o coeficiente médio de radiação solar diário para Teófilo Otoni de 4,81 horas e considerou-se 30 dias ao mês.

Levando em consideração os dados da tabela de histórico de consumo, foram apresentados os seguintes resultados do dimensionamento do sistema:

#### 4.1.6.1 Dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico:

Para calcular a potência de pico sistema fotovoltaico foi utilizado o valor de consumo médio mensal (Wh) dividido pelo número de dias considerados, tendo seu resultado dividido pelo coeficiente médio de radiação solar diária. Conforme equação a abaixo:

#### 4.1.6.2 Dimensionamento do inversor

Considera-se que a potência do inversor deve atender a potência de pico do sistema fotovoltaico, optou-se por trabalhar com strings conectadas a inversores com potência de 25 kWp e não definir marcas para os aparelhos. Em virtude do grande número de fabricantes de inversores existentes no mercado, e de suas características variáveis de potência e eficiência, as empresas que apresentaram o orçamento tinham liberdade para utilizar a marca que lhe era conveniente.

#### 4.1.6.3 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos:

Para o dimensionamento dos painéis considerou-se a fórmula abaixo, e foram considerados painéis de 260w e 320w, optando pelas placas de 320w, considerando a utilização de uma menor área para a instalação do sistema fotovoltaico no prédio:

Após aplicada as fórmulas, chegou-se a seguinte configuração, do sistema fotovoltaico, explicitada na Tabela (2) e (4), optando por arranjos ligados em paralelo compostos de painéis de 72 células Policristalino de 325W, ligados em série para cada inversor.

Tabela 2: Tabela de com dados do sistema

<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA</b>	
<b>MÊS/ANO</b>	<b>kWh/MÊS</b>
Potência de pico do sistema fotovoltaico	122,2233772
Potência do inversor	25kW
Quantidade de painéis fotovoltaicos 260w	470
Quantidade de painéis fotovoltaicos 325w	360

Fonte: Acervo da própria pesquisa (2017)



## 4.2 Análise Orçamentária

Os orçamentos foram solicitados mediante uma lista já definida de materiais e equipamentos encontrada na Tabela 3 abaixo, deixando a cargo da empresa a definição de marcas a serem fornecidas e preço da mão de obra para instalação.

Tabela 3: Lista de materiais

<b>LISTA DE MATERIAIS</b>	
1	INVERSOR SOLAR 25kW WLAN/LAN/WEBSERVER
3	INVERSOR SOLAR 25kW COM PROTECAO DE SURTO
360	PAINEL SOLAR CANADIAN CS6U-325P 72 CELULAS POLICRISTALINO 6 POLEGADAS 325W
40	MULTI-CONTACT CONECTOR MC4 320016P0001-UR PV- KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA
40	MULTI-CONTACT CONECTOR MC4 32.0017P0001-UR PV- KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO
800 metros	CABO SOLAR NEXANS ENERGYFLEX BR 0,6/1KV (1500 V DC) PRETO - MULTIPLO 25 METROS
800 metros	CABO SOLAR NEXANS ENERGYFLEX BR 0,6/1KV (1500 VDC) VERMELHO - MULTIPLO 25 METROS
90	ESTRUTURAS KIT FIXAÇÃO 4 PLACAS P/TELHA COLONIAL CERÂMICA/CIMENTO
90	ESTRUTURAS PERFIL DE ALUMÍNIO PAR 4,15 M P/ 4 PLACAS

Fonte: Acervo da própria pesquisa (2017)

A empresa AG Energia está situada na cidade de Dourados, em Mato Grosso do Sul, atua em todo o país, de acordo a demanda solicitada. Já a empresa XESTEC Energia Solar, está localizada na cidade do Rio de Janeiro. Foi solicitado orçamentos em locais diferentes a fim de verificar a variação de custos em locais diferentes do país.

Tabela 4: Dados do sistema solar dimensionado

<b>DADOS DO SISTEMA SOLAR</b>		
Geração anual injetada na rede	57,304	MWh
Potência do Sistema	122	kWp
Quantidade de painéis solares	360	unidades
Quantidade de Inversores	4	unidades
Área ocupada pelos módulos	720	m <sup>2</sup>
Temperatura de operação nas células	45	°C
Geração média mensal estimada	122,223	kWh

Fonte: Acervo da própria pesquisa (2017)

A XESTEC Energia Solar apresentou um orçamento no valor de R\$732.000,00, sendo para esse montante referente a todo o material solicitado, instalação e homologação da usina solar. Foi verificado um variação considerável quanto ao orçamento da AG Energia, sendo este apresentando um valor de R\$400.000,00 referente à mesma prestação de serviço e lista de materiais. Desta forma, a análise de custos e viabilidade foi baseada no orçamento da AG Energia e segue apresentação dos resultados de viabilidade financeira:

Tabela 5: Tabela com dados da viabilidade financeira

<b>VIABILIDADE FINANCEIRA</b>		
Payback	4 anos e 8 meses	<u>RETORNO</u>
ROI (12 meses)	-0,79	21%
ROI (24 meses)	-0,58	42%
ROI (36 meses)	-0,37	63%
ROI (48 meses)	-0,16	84%
ROI (60 meses)	0,05	105%
ROI (300 meses)	4,25	425%

Fonte: Acervo da própria pesquisa (2017)

Com essa base, o investimento a ser feito no sistema fotovoltaico se torna atrativo, considerando um retorno financeiro em torno de 425%. Os resultados de payback e ROI estão demonstrados na Tabela (5).

Para os dados levantados e definidos abaixo, foram considerados a taxa de inflação atual de 9,25% e aumento do custo de energia em 8%. Os dados gerais do sistema estão explícitos na tabela a seguir do fluxo de caixa anual:

Tabela 6: Tabela do fluxo do caixa anual financiado

Ano #	Antes	Após	Cumulativo
	imposto	imposto	
	\$	\$	\$
0	0	0	0
1	386.243	386.243	386.243
2	426.654	426.654	812.898
3	470.298	470.298	1.283.196
4	517.433	517.433	1.800.629
5	568.339	568.339	2.368.968
6	623.318	623.318	2.992.286
7	682.695	682.695	3.674.981
8	746.822	746.822	4.421.802
9	816.079	816.079	5.237.881
10	890.876	890.876	6.128.757
11	1.090.550	1.090.550	7.219.307
12	1.177.794	1.177.794	8.397.101
13	1.272.018	1.272.018	9.669.119
14	1.373.779	1.373.779	11.042.898
15	1.483.681	1.483.681	12.526.579
16	1.602.376	1.602.376	14.128.954
17	1.730.566	1.730.566	15.859.520
18	1.869.011	1.869.011	17.728.531
19	2.018.532	2.018.532	19.747.063
20	2.180.014	2.180.014	21.927.078
21	2.354.416	2.354.416	24.281.493
22	2.542.769	2.542.769	26.824.262
23	2.746.190	2.746.190	29.570.453
24	2.965.886	2.965.886	32.536.338
25	3.203.156	3.203.156	35.739.495

Fonte: RETScreen (2017)

O custo inicial seria de R\$400.000,00 (quatrocentos mil reais), analisando a implementação do sistema utilizando de um financiamento, o valor têm acréscimos, transformando o custo anual um montante de R\$118.892,00 anuais a serem pagos por 8 anos. Considerando que um sistema solar tem previsão de funcionamento em torno de 25 anos, esse sistema implementado teria seu retorno financeiro após 4 anos e 8 meses de sua instalação.



## 5 CONCLUSÃO

O objetivo do estudo foi analisar a viabilidade financeira da energia solar fotovoltaica como alternativa para redução de custos e de diversificação energética no Presídio de Teófilo Otoni. Os resultados revelaram que a implantação de energia solar fotovoltaica como alternativa para redução de custos e de diversificação energética é viável para o local estudado.

Diante do atual cenário energético e custos da produção de energia no país, observa-se a necessidade de diversificar a matriz energética brasileira, ainda dependente de recursos hídricos. A viabilidade econômica se baseia no fato da instalação da usina ter vida útil em torno de 20 à 25 anos para produção de 100% da capacidade energética inicial, com retorno do investimento inferior a este período. A tendência é que à medida que a potência da usina solar aumenta, aumenta a viabilidade e diminui o período de retorno do investimento.

Os resultados revelaram que o projeto da implantação de energia solar fotovoltaica como alternativa para redução de custos e de diversificação energética é viável para o local estudado, concluindo assim que a implementação ameniza os custos do consumo de energia elétrica para o sistema prisional a longo prazo e garantindo, mantendo o mesmo índice de consumo atual, a eliminação de gastos relativos ao consumo de energia.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M de. *Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica, mai. 2011*. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Condicionamento-da-EnergiaSolarFotovoltaica.pdf>>. Acesso em 26 mai. 2017.

ALVARENGA, C. A. *Energia solar*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001

ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 3 ed. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília – DF, Brasil, 2008.

BOSCHI, J.A.P. *Lei de Execução Penal*. São Paulo: 11ª ed., Saraiva, 1997.

BRASIL. *Projeto de Lei do Senado nº 204, de 2014. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para incluir a micro geração distribuição distribuída no percentual mínimo obrigatório de aplicação de recursos em projetos de eficiência energética pelas concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica*.

Disponível em:

[http://www.senado.leg.br/atividade/materia/detalhes.asp?p\\_cod\\_mate=118046](http://www.senado.leg.br/atividade/materia/detalhes.asp?p_cod_mate=118046).

Acesso em 23 de mai de 2017.

BRASIL, MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. *Departamento Penitenciário Nacional. Levantamento Nacional de Informações Penitenciárias INFOPEN - junho de 2014*. DISPONÍVEL EM: <<http://www.justica.gov.br/noticias/mj-divulgara-novo-relatoriодо-infopen-nesta-terca-feira/relatorio-depen-versao-web.pdf>>. ACESSO EM: 28 MAI. 2017.

CREDER, H. *Instalações elétricas*. 14. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2002.

CRESESB. *Energia Solar: princípios e aplicações*. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em 31 de mai. 2017.

CAMPOS, Rodrigo Barbosa; SAKIYAMA, Nayara Rodrigues Marques; OLIVEIRA, Camila Cordeiro. *Análise de Dados Climáticos das Estações Convencional e Automática em Teófilo Otoni – MG – Estratégias Bioclimáticas para a Construção Civil*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 1. Vol. 9. pp 914-937. Outubro / Novembro de 2016. ISSN. 2448-0959

DADALTO, E.A. *Utilização da energia solar para aquecimento de água pela população de baixa renda domiciliar em habitações populares*. 2008. Monografia (Especialização Em Construção Civil). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Vitoria, 2008, p.117.

ELETROBRÁS. *Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015*. Plano 2015 volume iii. Eletrobrás, 1993. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/ELB/data/Pages/LUMISAB255DD0PTBRIE.htm>>. Acesso em: 30 de maio. 2017.

GARCIA, L.H.C. *A reestruturação do setor hidrelétrico brasileiro e a crise do racionamento (1981-2002)*. 2011. Monografia (Graduação). Faculdade De Administração, Economia E Contabilidade De Ribeirão Preto. Universidade De Ribeirão Preto, 2011. p.72.

GUENA, A.M.O. *Avaliação ambiental de diferentes formas de geração de energia elétrica*. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado Em Ciências Na Área De Tecnologia Nuclear). São Paulo, 2007.

HINRICHES, R.A.; KLEINBACH, M.; DOS REIS, L.B. *Energia e Meio Ambiente. Tradução técnica*: Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2010  
IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Dados gerais*. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) (Acessado em 17 de maio 2014A).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Biblioteca *IBGE. Brasil – os climas*. Disponível em [biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBIS%20%20RJ/BrasilClimas.jpg](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBIS%20%20RJ/BrasilClimas.jpg). (Acessado em 05 de novembro 2014b).

INMET - *Instituto Nacional de Meteorologia. Temperatura máxima Teófilo Otoni-MG (1961-1990)*. Disponível em [www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/planilhas/Temperatura-Maxima\\_NCB\\_1961-1990.xls](http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/planilhas/Temperatura-Maxima_NCB_1961-1990.xls) (Acessado em 05 de novembro de 2014).  
MATAVELLI, A.C. *Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas*. Lorena, 2013. Monografia (Graduação). Escola De Engenharia De Lorena. Universidade De São Paulo. Lorena, 2013, P.34.

NUNES, O.J.M. *Estudo da viabilidade da eletrificação alternativa de uma unidade de consumo residencial de Fortaleza-CE a partir de um sistema fotovoltaico*. Fortaleza, 2011. Monografia (Graduação). Universidade Estadual Do Ceará. Fortaleza, 2011, p. 59.



RIBEIRO, C.H.M. *Implantação de um sistema de geração fotovoltaica. Ouro Preto, 2012.* Monografia (Graduação). Colegiado Do Curso De Engenharia De Controle De Automação. Universidade Federal De Ouro Preto. Ouro Preto, 2012, p. 57.

ROCHA, J. S. *Análise do potencial de aplicação de sistemas híbridos como alternativa para eletrificação do meio rural: estudo de caso para Pentecoste-CE.* Dissertação (Mestrado), MACFA/UECE, 2010.

SILVA, J.V.G. *Investimento em energia solar no Brasil.* Rio De Janeiro, 2010. Monografia (Graduação). Pontifícia Universidade Católica do Rio De Janeiro. 2010. p.40

TOLMASQUIM, M.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. *Matriz energética brasileira: uma prospectiva.* Novos estud. - CEBRAP[online]. 2007, n.79, pp.47-69.

TOLMASQUIM, M. *As origens da crise energética brasileira.* Ambient. soc.[online]. 2000, n.6-7, pp.179-183.

VIEIRA, F.A.V. *Energia E Crise Energética.* São Lourenço. 2015, Ed.7, p.236-243.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.R. *Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações.* São Paulo: Érica, 2012.