

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: Proposta de utilização de energia alternativa em indústria de máquinas pesadas.

Anderson Lucas Diniz¹

Herivelton Lima Rocha²

Arlete Vieira da Silva³

Mário Marcos Brito Horta⁴

RESUMO:

As constantes mutações que ocorrem no mundo moderno vêm sendo movida a custa de recursos esgotáveis que levaram milhões de anos para se formar. O uso desses recursos em abundância tem transformado substancialmente a composição da atmosfera e o balanço térmico do planeta, o que consequentemente vem provocando o aquecimento global. Desta forma, o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento das fontes renováveis e a própria utilização de energias renováveis em substituição aos combustíveis fósseis é considerada viável e vantajosa, visto que estas fontes são consideradas praticamente inesgotáveis, além de apresentarem impacto ambiental muito baixo, sem prejudicar o balanço térmico ou a composição atmosférica do planeta. Devido ao crescente custo com o consumo de energia convencional, as empresas vêm almejando um crescimento sustentável na sua produtividade e mais do que isso, um produto final sustentável. Este panorama expõe a importância do trabalho apresentado, um projeto que empregará o uso de plantas fotovoltaicas como fonte de energia alternativa em uma indústria. Após a análise de viabilidade do projeto dimensionado conclui-se que o mesmo é inviável devido o alto custo da energia gerada e pelo longo prazo de retorno do investimento inicial de implantação ser de 27 anos, ressaltando que o grande vilão do sistema autônomo são os acumuladores, pois representa 12,80% do investimento inicial e 56,75% do investimento para manter o sistema durante os 25 anos, tempo que representa a vida útil dos painéis fotovoltaicos. Contudo, apesar da inviabilidade deve-se ressaltar a importância da instalação desta fonte renovável quando avaliados sob o foco da diminuição dos impactos ambientais.

Palavras chave: recursos esgotáveis, aquecimento global, crescimento sustentável, plantas fotovoltaicas, análise de viabilidade.

ABSTRACT:

The constant changes that occur in the modern world have been moved at the expense of exhaustible resources that took millions of years to form. The use of these resources in abundance has substantially transformed the composition of the atmosphere and the climate of the planet, which in turn has led to global warming. Thus, the development of technologies for the use of renewable resources and the use of renewable energy to replace fossil fuels is considered viable and

¹ Graduando em Engenharia Elétrica. UNIBH, 2013, MG. Email: anders.diniz@yahoo.com.br

² Graduando em Engenharia Elétrica. UNIBH, 2013, MG. Email: herilima@ig.com.br

³ Mestre em Geografia e Análise Ambiental. UFMG, 2002. Professora e coordenadora de Curso de tecnologia em manutenção do Centro Universitário de Belo Horizonte UNI-BH. Belo Horizonte, MG. Email: arlete.silva@prof.unibh.br

⁴ Mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUCMG, 2003. - Professor do Centro Universitário de Belo Horizonte UNI-BH. Belo Horizonte, MG. Email: mario.horta@prof.unibh.br

advantageous, since these resources are considered practically inexhaustible, and offer very low environmental impact, without harming the thermal balance and the atmospheric composition of the planet. Due to the increasing cost of conventional energy consumption, companies are aiming for sustainable growth in productivity, and even more; a sustainable final product. This overview explains the importance of the work presented; a project that will employ the use of photovoltaic plants as an alternative energy source in industries. After analyzing the feasibility of the project it is concluded that the idea is not viable due to the high cost of energy generated and the long-term returns of the initial deployment of 27 years. It is noted that the enemy of the autonomic system are the accumulators, since it represents 12.80% of the initial investment and 56.75% of the investment to maintain the system for 25 years, time that represents the lifespan of the photovoltaic panels. However, despite the infeasibility of the project it must be highlight the importance of installing this renewable source when evaluated from the standpoint of reduced environmental impacts.

Keywords: finite resources, global warming, sustainable growth, photovoltaic plants, feasibility analysis.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para a evolução e o desenvolvimento socioeconômico em diversas partes do mundo. Devido a crescente evolução dos países, mais se torna necessário o aumento da produção de energia elétrica convencional. Contudo, esta grande demanda traz como consequência o aumento da degradação do meio ambiente, uma vez que a maior parte da energia elétrica é proveniente da geração hidráulica.

Em razão do grande impacto ambiental gerado pela produção de energia elétrica, mais se faz necessária a conscientização ambiental/sociocultural pela prática da produção de energia limpa e gratuita. Para isto, o presente estudo se destina à aplicação da geração de energia fotovoltaica indústrias de máquinas pesadas.

A instalação de painéis fotovoltaicos serve para absorver a energia solar, através das células fotovoltaicas ou células solares, convertendo energia solar em elétrica, por meio de excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar. Um sistema fotovoltaico é composto por módulos fotovoltaicos e por um conjunto de equipamentos complementares, incluindo baterias, controladores de carga e inversores.

No Brasil, esta forma alternativa de produção de energia contribui consideravelmente para o desenvolvimento da humanidade, por intermédio da preservação do meio ambiente, em virtude do clima tropical no qual está inserido.

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme tendência mundial, as empresas brasileiras buscam cada vez mais o reconhecimento de seus investimentos na recuperação ambiental, fazendo da sustentabilidade um considerável fator de competitividade. Desenvolver e investir em outras fontes de abastecimento energético vem sendo indispensável e é perceptível que as mesmas carregam consigo vários benefícios, tanto no âmbito ambiental, social, quanto econômico. É neste contexto que o presente trabalho se justifica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA ELÉTRICA

Energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizadas no mundo. No Brasil vem sendo produzida principalmente nas usinas hidrelétricas, usando o potencial energético da água, entretanto, pode ser produzida também em usinas eólicas, solares, nucleares, termoeletricas, dentre outros. É fundada na produção de diferenças de potencial elétrico entre dois pontos. Estas diferenças permitem o estabelecimento de uma corrente elétrica entre estes dois pontos. E para chegar ao consumidor final, depende de uma eficiente rede elétrica, composta por fios e torres de transmissão. (SILVA, 2011)

Devido a grande demanda de energia, é importante ressaltar que a utilização racional e consciente da energia elétrica é de suma importância para o futuro da humanidade, visto que ao mesmo tempo em que se procura amplificar a oferta e reduzir os custos, aumentam as preocupações com a sustentabilidade e o meio ambiente, em tempos de aquecimento global. É neste contexto que as energias renováveis nascem e adquirem evidência.

2.2 ENERGIAS LIMPAS

Devido aos problemas ambientais que ocorrem no mundo, fomentadas principalmente pela poluição, há uma busca constante pela utilização de energias limpas, ou seja, energias não poluentes e inesgotáveis. Os principais recursos naturais utilizados na obtenção de energia limpa são: o sol (energia solar); o vento (energia eólica); os rios e correntes de água doce (energia hidráulica); os mares e oceanos (energia mareomotriz e energia das ondas); a matéria orgânica (biomassa) e o calor da Terra (energia geotérmica). (REVISTA BRASILIS, 2011)

O Brasil possui potencial para se tornar num futuro, uma grande potência energética e mundial e deve aproveitar esta oportunidade para crescer não só econômica e tecnologicamente, como também socialmente, agregando qualidade de vida e conforto para a sua população, decorrentes do uso e exploração dos energéticos, pois a finalidade dos recursos naturais de fato é servir a sua sociedade. (CEMIG, 2012)

2.3 ENERGIA SOLAR

“O sol é essencial para a vida na terra. Seus raios emitem energia que pode ser convertida para aquecimento de água ou para geração de energia elétrica.” (PETROBRAS, 2011)

A energia solar é uma fonte energética não poluente e renovável, que chega a Terra nas formas térmica e luminosa. Segundo o estudo sobre Outras Fontes constante do Plano Nacional de Energia 2030, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), sua irradiação por ano na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo. Essa radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre. Depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar. (EPE, 2008)

Ao cruzar pela atmosfera terrestre grande parte da energia solar manifesta-se sob a forma de luz

visível de raios infravermelho se de raios ultravioleta. É possível aproveitar essa luz e convertê-la em alguma forma de energia utilizada pelo homem, seja ela térmica ou elétrica. São os equipamentos aplicados nessa captação que estabelece qual será o tipo de energia a ser obtida. (EPE, 2008)

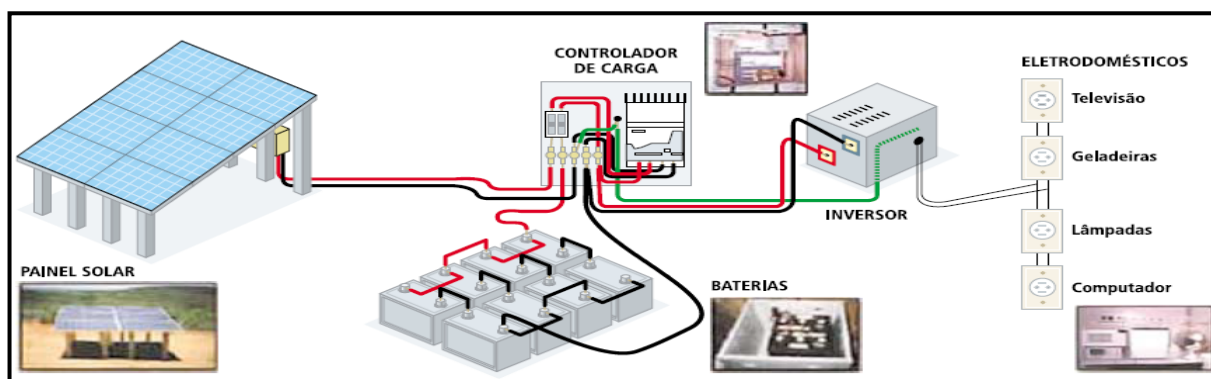
Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica.

2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A conversão de energia solar em energia elétrica foi verificada pela primeira vez por Edmond Becquerel em 1839, onde se constatou que o efeito fotovoltaico é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Em 1876 foi montado o primeiro aparato fotovoltaico resultado de estudos das estruturas no estado sólido, e apenas em 1956 iniciou-se a produção industrial seguindo o desenvolvimento da microeletrônica. Neste ano a utilização de fotocélulas foi de papel decisivo para os programas espaciais. (CRESESB, 2006)

Dentro de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica, demonstrado na Figura 1, os mecanismos utilizados para converter a energia solar em energia elétrica são denominados painéis solares fotovoltaicos, os quais são compostos por células solares, assim designadas já que captam, em geral, a luz do Sol. Estas células são chamadas de células fotovoltaicas, ou seja, aquelas capazes de criar uma modificação de potencial elétrico por ação da luz. As células solares dependem do efeito fotovoltaico para absorver a energia do sol e fazem com que a corrente elétrica decorra entre duas camadas com cargas opostas. (CEEETA ECO, 2008)

Figura1 - Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica.



Fonte: Atlas de Energia Solar, 2008, p. 9.

Segundo Treble (1991) e Markvart (2000), há duas principais categorias de sistemas fotovoltaicos: os sistemas isolados, ou não conectados à rede elétrica, e os sistemas conectados à rede elétrica. De acordo com o CRESESB (2004), a utilização de cada uma dessas opções dependerá da aplicação e/ou da disponibilidade de recursos energéticos. Cada um deles poderá ser de complexidade variável dependendo da aplicação em questão e das restrições específicas de cada projeto.

Mundialmente os sistemas fotovoltaicos se restringem a quatro principais utilizações, das quais duas em sistemas isolados ou não conectados à rede, sistemas domésticos e sistemas não domésticos e duas em sistemas conectados à rede, sistemas distribuídos e sistemas centralizados.

Os sistemas domésticos isolados são aqueles que fornecem eletricidade às residências e que, ou seja, não estão conectados à rede de distribuição de eletricidade da concessionária local (IEA-PVPS, 2006). No Brasil, estes sistemas atendem às comunidades isoladas, fornecendo eletricidade, na maior parte dos casos, para iluminação, refrigeração e outras cargas baixas de energia. (CRESESB, 2004)

Os sistemas autônomos, não conectados à rede elétrica, podem ou não apresentar fontes de energia complementares à geração fotovoltaica. Quando a configuração não se restringe à geração fotovoltaica, temos os sistemas híbridos. Se o sistema é puramente fotovoltaico, então ele é chamado de sistema isolado. Sistemas autônomos, isolados ou híbridos, em geral, necessitam de algum tipo de armazenamento. O armazenamento pode ser em baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos nos períodos em que não há geração fotovoltaica, ou outras formas de energia. (CRESESB, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos não domésticos isolados foram às primeiras aplicações comerciais para sistemas terrestres. Esses sistemas fornecem energia para uma ampla escala de aplicações, tais como em telecomunicação, refrigeração de medicamentos e vacinas em postos de saúde, bombeamento de água e outros. (MARKVART, 2000; IEA-PVPS, 2006)

Já os sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede são instalados para fornecer energia ao consumidor, que pode usar a energia da rede elétrica convencional para complementar a quantidade de energia demandada, caso haja algum aumento do consumo de energia em sua residência ou estabelecimento comercial. O consumidor pode também vender a energia gerada pelo sistema para a distribuidora, caso use menos energia do que a gerada pelo sistema (RÜTHER et al., 2005).

Para tanto é indispensável que se utilize um inversor que deve satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que não degrade a qualidade do sistema no qual se interliga o arranjo fotovoltaico. CRESESB (2004)

Os sistemas fotovoltaicos distribuídos podem ser instalados de forma integrada a uma edificação, no telhado ou na fachada de um prédio e, portanto, junto ao ponto de consumo como pode ser notado na Figura 2. Já os sistemas fotovoltaicos centralizados, como em uma usina central geradora convencional, normalmente se localizam a certa distância do ponto de consumo exibido na Figura 3. Ao que se refere aos sistemas fotovoltaicos centralizados, existe, como na geração centralizada convencional, a necessidade dos complexos sistemas de transmissão e distribuição (T&D) tradicionais. (RÜTHER et al., 2005)

Figura2 - Exemplo de um sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica.



Fonte: IEA-PVPS, 2006.

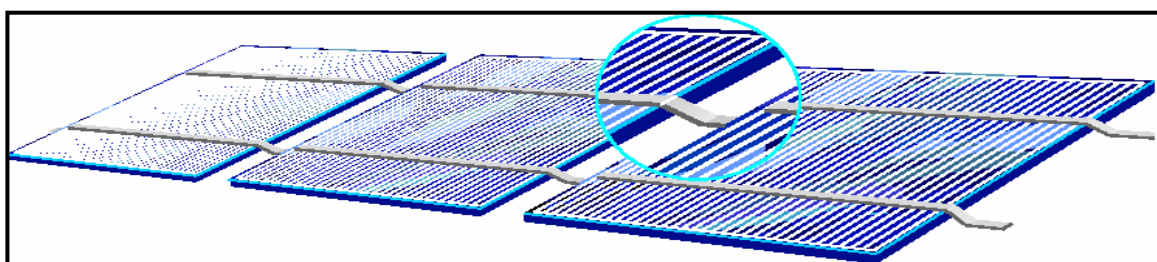
Figura 3 - Exemplo de um sistema fotovoltaico centralizado conectado à rede elétrica.



Fonte: IEA-PVPS, 2006

Como já mencionado anteriormente, o módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema. Este módulo, como mostrado na Figura 4, é composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia.

Figura 4 - Interligação em série de células cristalinas solares.



Fonte: Manual sobre tecnologias, projeto e instalação.

As atuais pesquisas buscam construir células mais eficientes e com baixos custos de fabricação, problema esse que limita a sua disseminação no mercado brasileiro. As células mais importantes e consolidadas no mercado são as fabricadas a base de silício, como dito anteriormente. Atualmente constituem o grande campo de pesquisas para desenvolvimento de células de menor custo, são as células de filmes finos. A estratégia é usar pouco material, diminuir o consumo de energia na fabricação permitindo a produção em larga escala. (SOLENERG, 2004)

Para que este aproveitamento ocorra, faz-se necessário garantir que o sistema opere o maior tempo possível sobre o ponto de máxima potência.

Quando o consumo faz com que a bateria comece a descarregar-se e, portanto a baixar sua tensão, o controlador reconecta o gerador à bateria e reinicia o ciclo. A função prioritária das baterias dentro de um sistema de geração fotovoltaico é acumular a energia que se gera durante as horas de luminosidade com a finalidade de poder ser usada à noite ou durante períodos prolongados de mau tempo. Outra função importante das baterias é prover uma intensidade de corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar.

A confiabilidade e a durabilidade que se espera dos painéis solares são características particularmente importantes, pois interferem no custo da energia solar útil. Contudo, mesmo poupando energia, haverá um custo ainda maior do que o próprio dinheiro economizado na conta de energia elétrica, visto que o custo para se instalar os painéis solares fotovoltaicos são realmente altos. Sendo assim, para se tornarem uma opção economicamente viável, é essencial que haja uma redução no preço dos painéis.

Por outro lado, é necessário ressaltar que não são apenas as considerações econômicas que

importam. Ao se avaliar o embate geral de uma fonte alternativa de energia, é preciso considerar também a energia total, além da poluição envolvida na extração das matérias-primas, na fabricação, instalação e manutenção dos sistemas energéticos.

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência no uso da energia se tornou uma preocupação mundial a partir dos choques no preço do petróleo dos anos 1970, quando ficou evidente que o uso das reservas de recursos fósseis teria custos crescentes, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista ambiental. Logo se confirmou que um mesmo serviço poderia ser obtido com menor gasto de energia e, consequentemente com menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo será realizado no edifício do CCT (Centro de Capacitação Técnica) do grupo Sotreq S/A. Localizado na cidade Contagem, no estado de Minas Gerais e edificado em uma área de aproximadamente 5.000m², o CCT tem cerca de 2000m² e possui capacidade instalada para receber simultaneamente até 100 profissionais. Conforme pode ser visto na Figura 5, sua estrutura é composta por salas com capacidade para até 16 pessoas, laboratórios equipados com guindastes e completo ferramental, simulando uma oficina completa.

Figura 5 – Edifício Centro de Capacitação Técnica do Grupo Sotreq SA.



Fonte: Foto tirada pelos autores.

Através da verificação na planta do projeto arquitetônico da edificação foram levantadas as áreas de cobertura com possibilidade de aproveitamento para instalações de painéis fotovoltaicos, contudo, devido à disponibilidade de uma extensa área plana ao redor do edifício, como pode ser constatado na Figura 6, optou-se para fins de projeto utilizá-lo para instalação dos painéis. Dessa forma evitam-se fatores que possa prejudicar a geração de energia como sombreamentos e, assim não será necessário refazer a estrutura do telhado para suportar o peso dos módulos fotovoltaicos.

Figura 6 - Vista aérea da área disponível para instalação do sistema fotovoltaico.



Fonte: Google Earth

4.2 PROJETO TÉCNICO DE ENERGIA ALTERNATIVA

Para o dimensionamento do projeto de sistema fotovoltaico com a finalidade de suprir a demanda de iluminação levou-se em consideração os modelos de lâmpadas fluorescentes e vapor metálico, sendo que as de 14, 18, 28 e 32W são fluorescente e as de 250W são do modelo vapor metálico. Todas as lâmpadas estão instaladas nos setores que compõem o CCT (centro de capacitação de técnica). O dimensionamento do projeto foi dividido em 6 circuitos com intuito de dimensionar componentes que sejam mais fáceis de ser encontrados no mercado brasileiro, assim trazendo uma redução real no custo final do projeto.

4.2.1 CÁLCULO DO CONSUMO DIÁRIO CIRCUITO 1- SETOR AMARELO

Os setores do centro de capacitação técnica possuem diversas lâmpadas modelo fluorescentes e de vapor metálico. Para todos os meses do ano foi considerado que cada ambiente estarão ocupados plenamente. A Tabela 1 apresenta a descrição de cada setor amarelo que compõem o centro de capacitação técnica adotando as luminárias fluorescentes e o consumo diário estimado pelos autores.

Tabela 1 – Relação de Cargas do Circuito 1 (Setor Amarelo)

Ambiente	ILUMINAÇÃO		ALIMENTAÇÃO	Tempo de Uso (h)	Energia Consumida (Wh/dia)
	14W	18W	Potência Total (W)		
Recepção	16		224	3	672
Banheiro Masculino (Recepção)		10	180	1	180
Banheiro Feminino (Recepção)		2	32	1	32
Corredor Inferior		44	792	1	792
Corredor Superior		44	792	1	792
Sala de Aula – Pinheiro	32		448	5	2240
TOTAL	-	-	2468	-	4708

O consumo diário estimado será então dado por:

$$C_{diário} = 672 + 180 + 32 + 792 + 792 + 2240 = 4708 \text{ Wh/dia}$$

Calculando a potência total instalada:

$$P_{instalada} = 224 + 180 + 32 + 792 + 792 + 448 = 2468 \text{ W}$$

4.2.2 DIMENSIONAMENTO DA BATERIA CIRCUITO 1 - SETOR AMARELO

Antes de iniciar o dimensionamento do banco de baterias é necessário considerar as perdas e o rendimento global de um sistema fotovoltaico. O rendimento global (R) é, em média de 89%, por isso a energia deverá ser gerada e armazenada para cobrir as perdas (média de 11% de perdas).

$$ER = \frac{ED}{R}$$

$$ER = \frac{4708}{0,89} = 5289,88 \text{ Wh/dia}$$

Onde:

E_R = energia real diária que será gerada e armazenada, compensado as perdas;

E_D = energia diária a ser fornecida às cargas, sem perdas;

R = rendimento global do sistema fotovoltaico (entre 89% e 90%).

Este valor da energia real diária servirá para o cálculo do banco de baterias e do painel fotovoltaico. No contexto da utilização de sistemas fotovoltaicos autônomos para alimentação de instalações industriais é comum acontecer que a produção e o consumo de energia não coincidem tanto ao longo do dia, quanto ao longo do ano.

Nesta circunstância, o armazenamento de energia elétrica assume uma função absolutamente importante no processo de alimentação das cargas. Neste cenário, as baterias representam uma via pela qual é possível efetuar o armazenamento de energia, já que é capaz de transformar diretamente a energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter a energia potencial química em energia elétrica.

O banco de baterias para este sistema fotovoltaico deverá ser capaz de armazenar a energia elétrica para um dia de trabalho, o consumo se dará sempre no horário central de funcionamento do centro de capacitação técnica, horário fora de ponta.

As baterias a ser dimensionadas são estacionárias de *Pb*– ácido, considerando uma descarga diária de 60%. Com base nesta profundidade as baterias terão vida útil de 350 ciclos, como são ciclos de um dia, as baterias poderão durar aproximadamente até um ano. Contudo, os efeitos de envelhecimento podem diminuir a vida das baterias, se estas não forem instaladas ou não usarem controladores de cargas de boa qualidade que consigam realizar as tarefas de manutenção.

A capacidade útil (C_U) do banco de baterias, em amperes horas (Ah), será dada pela equação:

$$CU = \frac{ER \times N}{Vi}$$

$$CU = \frac{5289,88 \times 1}{48V} = 110,20 \text{ Ah}$$

$$CR = \frac{CU}{PD}$$

$$CR = \frac{110,20}{0,60} = 183,66 \text{ Ah}$$

Onde:

C_U = capacidade útil do banco de baterias;

E_R = energia real diária que será gerada e armazenada, compensado as perdas;

N = autonomia do sistema fotovoltaico autônomo em dias;

V_i = tensão nominal;

C_R = capacidade real do banco de baterias;

P_D = profundidade de descarga do banco de baterias.

$$\text{Número de baterias} = \frac{183,66}{185} = 0,992 \cong 1$$

Com base no resultado acima a bateria a ser utilizada é de 185 Ah. A partir de uma divisão simples do valor encontrado (C_R) pelo valor nominal da bateria disponível no mercado será necessário a utilização de 4 baterias em série e 1 bateria de 185 Ah em paralelo. A utilização da ligação em série é para atender a demanda do painel fotovoltaico que atinge 48V com quatro módulos em série. O banco será composto por 4 baterias de 185 Ah, atendendo a necessidade deste projeto.

4.2.3 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIRCUITO 1 - SETOR AMARELO

Os cálculos realizados levaram em conta os painéis do fabricante brasileiro Tecnometal, ou seja, as placas fotovoltaicas de lâminas de silício cristalino, modelo SV-140D2, de 140W nominais. A sua eficiência é assegurada pela texturização da superfície exposta – melhor absorção da luz incidente – e pela utilização da tecnologia BSF (Back Surface Field) – maior aproveitamento dos fótons de baixa energia que atingem a célula. Outros dados relevantes de placa estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações Técnicas

ModeloSV140D12	
Potência Máxima (W)*	140
Corrente em Potência Máxima (A)*	7,67
Tensão em Potência Máxima (V)*	18,0
Corrente de Curto Circuito (A)*	8,36
Tensão de Circuito Aberto (V)*	22,2
Dimensões (CxLxA em mm)	655x1485x34
Peso (kg)	11,4
Capacidade de geração (Wh/dia)	514

Fonte: Tecnometal, 2012.

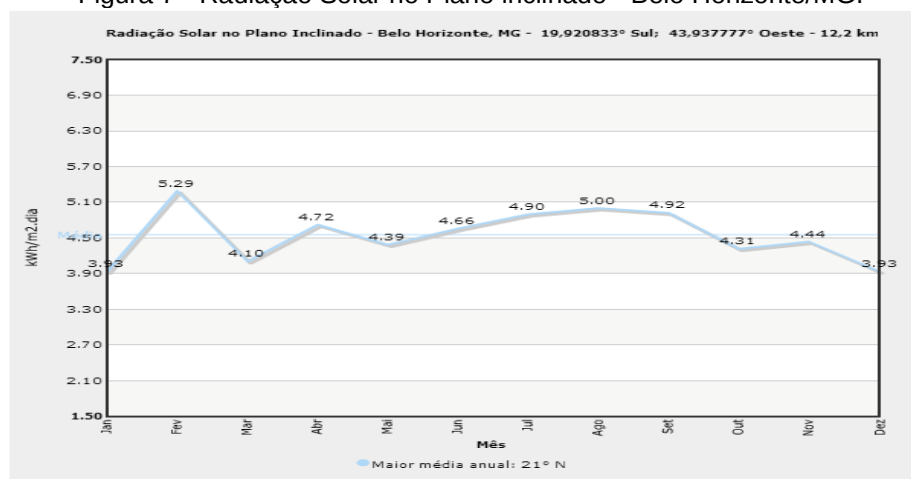
* Especificações médias sob radiação solar de 1000 W/m², AM 1,5 e temperatura de 25°C, sujeitas a variação de 10%.

** Sob radiação média anual de 5580 Wh/m² dia.

A partir do programa Google *Earth*, obteve-se uma latitude 19° 55' 54" Sul e longitude 44° 03' 13" Oeste do Centro de Capacitação Técnica, localizado na cidade de Contagem – MG, local onde será realizado o estudo de dimensionamento dos painéis fotovoltaicos. Ao utilizar as coordenadas geográficas no sistema de dados *Sundata*⁵, encontra-se três localidades mais próximas: Ibirité, Belo Horizonte e Lagoa Santa. Belo Horizonte foi escolhido como cidade referência devido a sua localização estar mais próxima do local de estudo.

A Figura 7 mostra um gráfico com as irradiações solares diárias médias de Belo Horizonte para uma inclinação de 21° (maior média anual). A escolha do ângulo com a maior média diária de irradiação solar se deu pelo motivo de desejar a maior geração anual de energia.

Figura 7 - Radiação Solar no Plano inclinado - Belo Horizonte/MG.



Fonte: *SunData*/CRESESB, 2013.

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos considerou-se o mês com a menor incidência solar (pior caso), para garantir assim o pleno funcionamento do sistema durante todos os meses do ano.

Na Tabela 3 mostra a localização, à distância até o local de estudo que fica em Contagem - MG e os menores índices de radiação durante o verão e o inverno.

Tabela 3 – Radiação diária média por localidade

Localidade	Distância (km)	Menor radiação diária média no verão (kwh/m². dia)	Menor radiação diária média no inverno (kwh/m². dia)
Belo Horizonte	12,2	3,93	4,66

Fonte: CRESESB, 2013.

Antes de iniciar o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos é necessário fazer as correções da radiação solar no plano inclinado do painel fotovoltaico. Como se trata de um sistema fotovoltaico autônomo, que será instalado em uma local propício, é possível empregar a melhor inclinação de maneira a obter uma melhor captação. A inclinação adequada do painel fotovoltaico de um sistema

⁵ O programa *SunData* é baseado no banco de dados CENSOLAR (1993) contendo valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes.

autônomo é dada pela equação:

$$B = \frac{LATITUDE}{4} + LATITUDE^\circ$$

$$B = \frac{19,916387}{4} + 19,916387 = 24,89^\circ$$

Com base no resultado acima o fator de correção para inclinação adequada de instalação do painel fotovoltaico será de 25°, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores de correção da radiação por inclinação (k)

LAT.	INC,	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
19 0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19 5	5	0,99	1	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,02	1	0,99	0,99
19 10	10	0,98	1	1,03	1,07	1,09	1,09	1,08	1,06	1,03	1	0,98	0,97
19 15	15	0,95	0,99	1,04	1,09	1,12	1,13	1,1	1,07	1,03	0,99	0,96	0,94
19 20	20	0,93	0,97	1,04	1,11	1,15	1,15	1,13	1,09	1,03	0,97	0,93	0,91
19 25	25	0,89	0,95	1,03	1,12	1,17	1,17	1,14	1,09	1,02	0,95	0,89	0,87

Fonte: BlueSol energia solar, 2012

Aplicando os valores de correção K, foram encontrados os valores da radiação solar (em média diária) em kWh/m²dia⁻¹, visualizado na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Valores da irradiação com os valores de correção (k)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
HSP	3,93	5,29	4,10	4,72	4,39	4,66	4,9	5,0	4,92	4,31	4,44	3,93
K	0,89	0,95	1,03	1,12	1,17	1,17	1,14	1,09	1,02	0,95	0,89	0,87
HSPk*	3,49	5,02	4,22	5,28	5,13	5,45	5,58	5,45	5,01	4,09	3,95	3,41

*HSPk = menor valor de disponibilidade solar do local de instalação corrigido pelos fatores de inclinação k.

Como base para o dimensionamento do painel solar fotovoltaico será utilizado o valor de 3,41 kWh/m²dia⁻¹. Para continuação do dimensionamento do painel fotovoltaico se fez necessário saber a temperatura máxima do local de instalação dos módulos. A Tabela 6 foi obtida no site do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – para identificação da temperatura máxima (média) no ano do local de instalação.

Tabela 6 - Dados climatológicos para Belo Horizonte – MG

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima média (°C)	28,2	28,8	28,6	27,5	26	25	24,6	26,5	27,2	27,7	27,5	27,3	27

Fonte: Portal de Tecnologia da Informação para Meteorologia e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Pode ser feito as correções da potência pico por temperatura utilizando a equação abaixo:

$$L^{\circ}Cpmax = temperatura\ ambiente \times coeficiente\ de\ temperatura\ da\ Wp$$

$$L^{\circ}Cpmax = 27 \times 0,5 = 13,5\% \text{ (perda de potência)}$$

Onde:

$L^{\circ}Cpmax$ = perda de potência pico por temperatura no módulo fotovoltaico.

O módulo modelo SV-140D2 possui uma perda de 13,5% da potência de pico, em média, no local de instalação do sistema fotovoltaico, assim terá um rendimento médio, por fator de temperatura ($R^{\circ}Cpmax$) de 86,5%, resultado obtido na equação:

$$R^{\circ}Cpmax = 100 - 13,5 = 86,5\%$$

Onde:

$R^{\circ}Cpmax$ = rendimento médio do módulo fotovoltaico por fator de temperatura.

O sistema projetado possui energia real diária gerada (E_R) superior a 2000Wh/dia, foi considerado a utilização de controladores *MPPT* (*Maximum power point tracking*), assim a energia gerada pelo painel fotovoltaico (E_P) deve ser igual a energia real diária (E_R).

$$EP = ER$$

$$EP = 5289,88 \text{ Wh/dia}$$

A corrente gerada pelo painel (I_P) deverá ser:

$$IP = \frac{EP}{Vi}$$

$$IP = \frac{5289,88}{48} = 110,20 \text{ Ah}$$

O módulo SV-140D12 possui 36 células em série, por isso é adequado para sistema de 12V, o projeto dimensionado é de 48V, assim será necessário fazer uma associação em série dos módulos (m_s) para se obter a tensão desejada, mantendo a corrente estipulada do módulo, conforme mostra a equação abaixo:

$$ms = \frac{Vi}{Vm}$$

$$ms = \frac{48}{12} = 4$$

Ou seja, será necessário quatro módulos em série por fileira (*string*), assim obtendo a tensão desejada de 48V nominal. A ligação em paralelo dos módulos determina a geração de corrente elétrica, em amperes hora (Ah), do painel fotovoltaico, e mantém o nível de tensão do módulo. A quantidade de módulo em paralelo (m_p) é dada pela equação:

$$mp = \frac{Ip}{R^{\circ}Cpmax \times Impp \times HSPk}$$

$$mp = \frac{110,20}{0,865 \times 7,67 \times 3,41} = 4,87 \cong 5$$

Onde:

I_p = corrente a ser gerada pelo painel fotovoltaico;

mp = número de módulos associados em paralelo;

I_{mp} = corrente em máxima potência do módulo fotovoltaico (dado pelo fabricante).

Serão utilizados 5 módulos associados em paralelo para se obter corrente de 113,11 Ah, pois cada módulo gera aproximadamente 22,62 Ah. Para suprir a demanda de energia do setor amarelo do centro de capacitação técnica serão utilizados 4 módulos em série e 5 módulos em paralelo, totalizando 20 módulos fotovoltaicos.

4.2.4 DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR DE CARGA CIRCUITO 1 - SETOR AMARELO

O controlador de carga tem como função principal proteger as baterias de serem sobrecarregadas ou descarregadas profundamente, e assim, garantir que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos seja armazenada com maior eficácia nas baterias, além de informar o estado de carga da bateria.

Neste contexto, haverá um aumento na vida útil da bateria, além de proteger os painéis fotovoltaicos contra correntes reversas. Com a definição da quantidade e associações de módulos foi dimensionado o controlador de cargas. Para este dimensionamento foi necessário saber qual o valor da corrente de entrada (I_E) e o valor da corrente de saída (I_S).

A corrente de entrada (I_E) dado pelo fabricante do painel fotovoltaico refere-se à máxima corrente elétrica que vem do painel, passa pelo regulador e vai para o banco de baterias, carregando-o. O valor máximo para essa corrente é a corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico, dada pela equação:

$$I_{sc, painel} = I_{sc} \times mp$$

Onde:

I_{sc} = corrente de curto circuito do painel fotovoltaico;

mp = quantidade de painéis associados em paralelo.

Para o painel dimensionado, o valor da corrente de curto circuito em amperes será:

$$I_{sc, painel} = 8,36 \times 5 = 41,8 A$$

O controlador de carga deve ser capaz de controlar essa corrente com um fator de segurança de 25%, assim o valor da corrente de entrada (I_E) será:

$$I_E = I_{sc, painel} \times 1,25$$

$$I_E = 41,8 \times 1,25 = 52,25 A$$

A corrente de saída (I_S) é a corrente que sai do banco de baterias, passa pelo controlador e segue

para carga consumidora. O valor dessa corrente é o resultado da equação:

$$I_s = \frac{PT}{V_i} \times 1,25$$

$$I_s = \frac{2468}{48} \times 1,25 = 64,27 \text{ A}$$

Com as especificações definidas, será utilizado um controlador de cargas que trabalha com 48V e capaz de controlar até 80A.

4.2.5 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR CIRCUITO 1 - SETOR AMARELO

A energia produzida pelos painéis fotovoltaicos é de corrente contínua e esta mesma carga é armazenada na bateria e na eventualidade de se conectar cargas que funcionem em corrente alternada torna-se necessário à utilização do inversor de frequência que deve ser escolhido de modo a garantir a potência máxima dos equipamentos utilizados.

Neste cenário, o potencial total das cargas de corrente alternada é de 2468W, visto na Tabela 1 e acrescentando 10% em cima do valor total obtém o valor mínimo do inversor a ser utilizado.

$$\text{Potencia total da carga} = 2468W + 10\% = 2714,8 \text{ W}$$

Para atender a demanda deste projeto será utilizado um inversor de 3000W.

4.2.6 CÁLCULO DO CONSUMO DIÁRIO CIRCUITO 2 - SETOR VERDE

A Tabela 7 apresenta o consumo estimado e a descrição de cada setor verde que compõem o centro de capacitação técnica adotando as luminárias fluorescentes.

Tabela 7 - Relação de Cargas do Circuito 2 (Setor Verde)

Ambiente	ILUMINAÇÃO FLUORESCENTE				ALIMENTAÇÃO		
	14W	18W	28W	32W	Potência Total (W)	Tempo de Uso (h)	Energia Consumida (Wh/dia)
Escada		4			72	1	72
Ferramentaria				2	64	1	64
Sala do Servidor			2		56	1	56
Sala de Aula (Mogno)	32				448	5	2240
Sala de Aula (Cerejeira)	32				448	5	2240
TOTAL	-	-	-	-	1088	-	4672

O consumo diário estimado será então dado por:

$$C_{diário} = 72 + 64 + 56 + 2240 + 2240 = 4672 \text{ Wh/dia}$$

Calculando a potência total instalada:

$$P_{instalada} = 72 + 64 + 56 + 448 + 448 = 1088 \text{ W}$$

4.2.7 DIMENSIONAMENTO DA BATERIA CIRCUITO 2 - SETOR VERDE

A Tabela 8 apresenta o dimensionamento do banco de bateria adotando as equações e definições já

mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 8 – Descrição do dimensionamento do banco de bateria do Circuito 2 (Setor Verde)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Energia Diária (ED)	4672,00	Wh/dia
2	Rendimento Global (R)	89,00	%
3	Energia Real (ER=ED/R)	5249,36	Wh/dia
4	Autonomia do Sistema Fotovoltaico (N)	1,00	Dia
5	Tensão Nominal de Operação do Sistema Fotovoltaico (Vi)	48,00	Volts
6	Profundidade de Descarga (Pd)	60,00	%
7	Capacidade Útil do Banco de Bateria (CU=ER x N / Vi)	109,36	A/h
8	Capacidade Real do Banco de Bateria (CR=CU / PD)	182,26	A/h
9	Número de Baterias em Série (BS) 185 A/h.	4,00	Equipamento
10	Número de Baterias em Paralelo (BP) 185 A/h-(BP=CR / 185 Ah)	1,00	Equipamento
11	Total de Baterias (TB) 185 A/h	4,00	Equipamento

4.2.8 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIRCUITO 2 - SETOR VERDE

A Tabela 9 apresenta o dimensionamento do painel fotovoltaico adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 9 – Descrição do dimensionamento do painel fotovoltaico do Circuito 2 (Setor Verde)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	EP=Potencia a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (Para Inversores Com MPPT)-EP=ER	5249,43	Wh/dia
2	Corrente a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (IP)- IP=EP/Vi	109,36	Amperes
3	Tensão Nominal de Trabalho, do Módulo Fotovoltaico (Vm)	12,00	Volts
4	Corrente em Máxima Potencia, do Módulo Fotovoltaico (IMPP)	7,67	Amperes
5	Corrente de Curto Circuito do Módulo Fotovoltaico (ISC)	8,36	Amperes
6	Número de Módulos Associados em Serie (Por String) - (ms=Vi/Vm)	4,00	Amperes
7	Número de Módulos Associados em Paralelo (Por String)-(mP). $mp = \frac{Ip}{R^{\circ}Cpmax \times Impp \times HSPk}$	5,00	Módulos
8	Número Total de Módulos Fotovoltaicos -(Nm). Nm=mP x mS	20,00	Módulos

4.2.9 DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR DE CARGA CIRCUITO 2 - SETOR VERDE

A Tabela 10 apresenta o dimensionamento do regulador de carga adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 10 – Descrição do dimensionamento do regulador de carga do Circuito 2 (Setor Verde)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Corrente de Curto Circuito do Painel Fotovoltaico (ISCP). (ISCP=ISC x mp)	41,80	Amperes
2	Capacidade de Corrente de Entrada do Controlador de Carga (IE). (IE=ISCP x 1,25)	52,25	Amperes
3	Capacidade de Corrente de Saída do Controlador de Carga (IS). (IS= PT/ Vi)	28,33	Amperes
4	Controlador de Carga 48 V/60 Amperes	1,00	Equipamento

4.2.10 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR CIRCUITO 2 - SETOR VERDE

A Tabela 11 apresenta o dimensionamento do inversor adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 11 – Descrição do dimensionamento do inversor do Circuito 2 (Setor Verde)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Potência Instalada+10%	1196,80	Watts
2	Inversor de Frequência 48 V/1500 W	1,00	Equipamento

4.2.11 CÁLCULO DO CONSUMO DIÁRIO CIRCUITO 3 - SETOR LARANJA

A Tabela 12 apresenta a descrição de cada setor laranja que compõe o centro de capacitação técnica adotando as luminárias fluorescentes e o consumo diário estimado pelos autores.

Tabela 12 – Relação de Cargas do Circuito 3 (Setor Laranja)

Ambiente	ILUMINAÇÃO	ALIMENTAÇÃO	Tempo de Uso (h)	Energia Consumida (Wh/dia)
	14W	Potência Total (W)		
Sala de Aula (Jacarandá)	32	448	5	2240
Sala de Aula (Ipê)	32	448	5	2240
Sala de Aula (Jequetiba)	32	448	5	2240
TOTAL	-	1344	-	6720

O consumo diário estimado será então dado por:

$$C_{diário} = 2240 + 2240 + 2240 = 6720 \text{ Wh/dia}$$

Calculando a potência total instalada:

$$P_{instalada} = 448 + 448 + 448 = 1344 \text{ W}$$

4.2.12 DIMENSIONAMENTO DA BATERIA CIRCUITO 3 - SETOR LARANJA

A Tabela 13 apresenta o dimensionamento do banco de bateria adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 13 – Descrição do dimensionamento do banco de bateria do Circuito 3 (Setor Laranja)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Energia Diária (ED)	6720,00	Wh/dia
2	Rendimento Global (R)	89,00	%
3	Energia Real (ER=ED/R)	7550,56	Wh/dia
4	Autonomia do Sistema Fotovoltaico (N)	1,00	Dia
5	Tensão Nominal de Operação do Sistema Fotovoltaico (Vi)	48,00	Volts
6	Profundidade de Descarga (Pd)	60,00	%
7	Capacidade Útil do Banco de Bateria (CU=ER x N / Vi)	157,30	A/h
8	Capacidade Real do Banco de Bateria (CR=CU / PD)	262,16	A/h
9	Número de Baterias em Série (BS) 240 A/h.	4,00	Equipamento
10	Número de Baterias em Paralelo (BP) 240 A/h-(BP=CR / 240 Ah)	1,00	Equipamento
11	Total de Baterias (TB) 240 A/h	4,00	Equipamento

4.2.13 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIRCUITO 3 - SETOR LARANJA

A Tabela 14 apresenta o dimensionamento do painel fotovoltaico adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 14 – Descrição do dimensionamento do painel fotovoltaico do Circuito 3 (Setor Laranja)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	EP=Potencia a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (Para Inversores Com MPPT)-EP=ER	7550,56	Wh/dia
2	Corrente a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (IP)- IP=EP/Vi	157,30	Amperes
3	Tensão Nominal de Trabalho, do Módulo Fotovoltaico (Vm)	12,00	Volts
4	Corrente em Máxima Potencia, do Módulo Fotovoltaico (IMPP)	7,67	Amperes
5	Corrente de Curto Circuito do Módulo Fotovoltaico (ISC)	8,36	Amperes
6	Número de Módulos Associados em Serie (Por String) - (ms=Vi/Vm)	4,00	Módulos
7	Número de Módulos Associados em Paralelo (Por String)-(mP). $mp = \frac{Ip}{R^{\circ}Cpmax \times Impp \times HSPk}$	7,00	Módulos
8	Número Total de Módulos Fotovoltaicos -(Nm). Nm=mP x mS	28,00	Módulos

4.2.14 DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR DE CARGA CIRCUITO 3 - SETOR LARANJA

A Tabela 15 apresenta o dimensionamento do regulador de carga adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 15 – Descrição do dimensionamento do regulador de carga do Circuito 3 (Setor Laranja)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Corrente de Curto Circuito do Painel Fotovoltaico (ISCP). (ISCP=ISC x mp)	58,52	Amperes
2	Capacidade de Corrente de Entrada do Controlador de Carga (IE). (IE=ISCP x 1,25)	73,15	Amperes
3	Capacidade de Corrente de Saída do Controlador de Carga (IS). (IS= PT/ Vi)	35,00	Amperes
4	Controlador de Carga 48 V/80 Amperes	1,00	Equipamento

4.2.15 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR CIRCUITO 3 - SETOR LARANJA

A Tabela 16 apresenta o dimensionamento do inversor adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 16 – Descrição do dimensionamento do inversor do Circuito 3 (Setor Laranja)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Potência Instalada+10%	1344,00	Watts
2	Inversor de Frequência 48V / 1500W	1,00	Equipamento

4.2.16 CÁLCULO DO CONSUMO DIÁRIO CIRCUITO 4 - SETOR AZUL

A Tabela 17 apresenta a descrição de cada setor azul que compõem o centro de capacitação técnica adotando as luminárias fluorescentes e o consumo diário estimado pelos autores.

Tabela 17 – Relação de Cargas do Circuito 4 (Setor Azul)

Ambiente	ILUMINAÇÃO				ALIMENTAÇÃO		Energia Consumida (Wh/dia)
	14W	18W	28W	32W	Potência Total (W)	Tempo de Uso (h)	
Sala de Aula (Pau Brasil)	32				448	5	2240
Sala de Aula (Castanheira)	32				448	5	2240
Casa de Máquinas				2	56	1	56
Sala da Coordenação	16				224	5	1120
Cozinha -Sala da Coordenação			2		56	4	224
TOTAL	-	-	-	-	1232	-	5880

O consumo diário estimado será então dado por:

$$C_{diário} = 2240 + 2240 + 56 + 1120 + 224 = 5880 \text{ Wh/dia}$$

Calculando a potência total instalada:

$$P_{instalada} = 448 + 448 + 56 + 224 + 56 = 1232 \text{ W}$$

4.2.17 DIMENSIONAMENTO DA BATERIA CIRCUITO 4 - SETOR AZUL

A Tabela 18 apresenta o dimensionamento do banco de bateria adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 18 – Descrição do dimensionamento do banco de bateria do Circuito 4 (Setor Azul)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Energia Diária (ED)	5880,00	Wh/dia
2	Rendimento Global (R)	89,00	%
3	Energia Real (ER=ED/R)	6606,74	Wh/dia
4	Autonomia do Sistema Fotovoltaico (N)	1,00	Dia
5	Tensão Nominal de Operação do Sistema Fotovoltaico (Vi)	48,00	Volts
6	Profundidade de Descarga (Pd)	60,00	%
7	Capacidade Útil do Banco de Bateria (CU=ER x N / Vi)	137,64	A/h
8	Capacidade Real do Banco de Bateria (CR=CU / PD)	229,4	A/h
9	Número de Baterias em Série (BS) 240 A/h.	4,00	Equipamento
10	Número de Baterias em Paralelo (BP) 240 A/h-(BP=CR / 240 Ah)	1,00	Equipamento
11	Total de Baterias (TB) 240 A/h	4,00	Equipamento

4.2.18 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIRCUITO 4 - SETOR AZUL

A Tabela 19 apresenta o dimensionamento do painel fotovoltaico adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 19 – Descrição do dimensionamento do painel fotovoltaico do Circuito 4 (Setor Azul)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	EP=Potencia a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (Para Inversores	6606,74	Wh/dia

	Com MPPT)-EP=ER		
2	Corrente a Ser Gerada Pelo Pannel Fotovoltaico (IP)- $IP=EP/Vi$	137,64	Amperes
3	Tensão Nominal de Trabalho, do Módulo Fotovoltaico (V_m)	12,00	Volts
4	Corrente em Máxima Potencia, do Módulo Fotovoltaico (IMPP)	7,67	Amperes
5	Corrente de Curto Circuito do Módulo Fotovoltaico (ISC)	8,36	Amperes
6	Número de Módulos Associados em Serie (Por String) - ($m_s=V_i/V_m$)	4,00	Módulos
7	Número de Módulos Associados em Paralelo (Por String)-(mP). $mp = \frac{Ip}{R^{\circ}Cpmax \times Impp \times HSPk}$	7,00	Módulos
8	Número Total de Módulos Fotovoltaicos -(Nm). $Nm=mP \times mS$	28,00	Módulos

4.2.19 DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR DE CARGA CIRCUITO 4 - SETOR AZUL

A Tabela 20 apresenta o dimensionamento do regulador de carga adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 20 – Descrição do dimensionamento do regulador de carga do Circuito 4 (Setor Azul)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Corrente de Curto Circuito do Pannel Fotovoltaico (ISCP). ($ISCP=ISC \times mp$)	58,52	Amperes
2	Capacidade de Corrente de Entrada do Controlador de Carga (IE). ($IE=ISCP \times 1,25$)	73,15	Amperes
3	Capacidade de Corrente de Saída do Controlador de Carga (IS). ($IS= PT/ Vi$)	35,08	Amperes
4	Controlador de Carga 48 V/80 Amperes	1,00	Equipamento

4.2.20 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR CIRCUITO 4 - SETOR AZUL

A Tabela 21 apresenta o dimensionamento do inversor adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 21 – Descrição do dimensionamento do inversor do Circuito 4 (Setor Azul)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Potência Instalada+10%	1355,20	Watts
2	Inversor de Frequência 48 V/1500 W	1,00	Equipamento

4.2.21 CÁLCULO DO CONSUMO DIÁRIO CIRCUITO 5 - SETOR ROXO

A Tabela 22 apresenta a descrição de cada setor roxo que compõem o centro de capacitação técnica adotando as luminárias fluorescentes e o consumo diário estimado pelos autores.

Tabela 22 – Relação de Cargas do Circuito 5 (Setor Roxo)

Ambiente	ILUMINAÇÃO		ALIMENTAÇÃO	Tempo de Uso (h)	Energia Consumida (Wh/dia)
	14W	18W	Potência Total (W)		
Sala de Aula (Eucalipto)	32		448	5	2240
Sala dos Instrutores	32		448	5	2240

Banheiro Masculino (Sala da Coordenação)		2	32	1	32
Banheiro Feminino (Sala da Coordenação)		2	32	1	32
Corredor Sala da Coordenação para Sala dos Instrutores		2	32	5	160
TOTAL	-	-	992	-	4704

O consumo diário estimado será então dado por:

$$C_{diário} = 2240 + 2240 + 32 + 32 + 160 = 4704 \text{ Wh/dia}$$

Calculando a potência total instalada:

$$P_{instalada} = 448 + 448 + 32 + 32 + 32 = 992 \text{ W}$$

4.2.22 DIMENSIONAMENTO DA BATERIA CIRCUITO 5 - SETOR ROXO

A Tabela 23 apresenta o dimensionamento do banco de bateria adotando as equações e definições já mencionados no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 23 – Descrição do dimensionamento do banco de bateria do Circuito 5 (Setor Roxo)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Energia Diária (ED)	4704,00	Wh/dia
2	Rendimento Global (R)	89,00	%
3	Energia Real (ER=ED/R)	5285,39	Wh/dia
4	Autonomia do Sistema Fotovoltaico (N)	1,00	Dia
5	Tensão Nominal de Operação do Sistema Fotovoltaico (Vi)	48,00	Volts
6	Profundidade de Descarga (Pd)	60,00	%
7	Capacidade Útil do Banco de Bateria (CU=ER x N / Vi)	110,11	A/h
8	Capacidade Real do Banco de Bateria (CR=CU / PD)	183,51	A/h
9	Número de Baterias em Série (BS) 185 A/h.	4,00	Equipamento
10	Número de Baterias em Paralelo (BP) 185 A/h-(BP=CR / 185 Ah)	1,00	Equipamento
11	Total de Baterias (TB) 185 A/h	4,00	Equipamento

4.2.23 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIRCUITO 5 - SETOR ROXO

A Tabela 24 apresenta o dimensionamento do painel fotovoltaico adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 24 – Descrição do dimensionamento do painel fotovoltaico do Circuito 5 (Setor Roxo)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	EP=Potencia a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (Para Inversores Com MPPT)-EP=ER	5285,39	Wh/dia
2	Corrente a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (IP)- IP=EP/Vi	110,11	Amperes
3	Tensão Nominal de Trabalho, do Módulo Fotovoltaico (Vm)	12,00	Volts
4	Corrente em Máxima Potencia, do Módulo Fotovoltaico (IMPP)	7,67	Amperes
5	Corrente de Curto Circuito do Módulo Fotovoltaico (ISC)	8,36	Amperes
6	Número de Módulos Associados em Serie (Por String) - (ms=Vi/Vm)	4,00	Módulos

7	Número de Módulos Associados em Paralelo (Por String)-(mP). $mp = \frac{Ip}{R^{\circ}Cpmax \times Impp \times HSPk}$	5,00	Módulos
8	Número Total de Módulos Fotovoltaicos -(Nm). Nm=mP x mS	20,00	Módulos

4.2.24 DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR DE CARGA CIRCUITO 5 - SETOR ROXO

A Tabela 25 apresenta o dimensionamento do regulador de carga adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 25 – Descrição do dimensionamento do regulador de carga do Circuito 5 (Setor Roxo).

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Corrente de Curto Circuito do Painel Fotovoltaico (I_{SCP}). ($I_{SCP}=I_{SC} \times m_p$)	41,8	Amperes
2	Capacidade de Corrente de Entrada do Controlador de Carga (IE). ($IE=I_{SCP} \times 1,25$)	52,25	Amperes
3	Capacidade de Corrente de Saída do Controlador de Carga (IS). ($IS= PT/ Vi$)	25,83	Amperes
4	Controlador de Carga 48 V/60 Amperes	1,00	Equipamento

4.2.25 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR CIRCUITO 5 - SETOR ROXO

A Tabela 26 apresenta o dimensionamento do inversor adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 26 – Descrição do dimensionamento do inversor do Circuito 5 (Setor Roxo)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Potência Instalada+10%	1088,00	Watts
2	Inversor de Frequência 48 V/1500 W	1,00	Equipamento

4.2.26 CALCULO DO CONSUMO DIÁRIO CIRCUITO 6 - SETOR VERMELHO

A Tabela 27 apresenta a descrição de cada setor vermelho que compõem o centro de capacitação técnica adotando as luminárias de vapor metálico e o consumo diário estimado pelos autores.

Tabela 27 – Relação de Cargas do Circuito 6 (Setor Vermelho)

	ILUMINAÇÃO	ALIMENTAÇÃO		
Ambiente	250W	Potência Total (W)	Tempo de Uso (h)	Energia Consumida (Wh/dia)
Salão Oficina	12	3000	1	3000
TOTAL	-	3000	-	3000

O consumo diário estimado será então dado por:

$$C_{diário} = 3000 \text{ Wh/dia}$$

Calculando a potência total instalada:

$$P_{instalada} = 3000 \text{ W}$$

4.2.27 DIMENSIONAMENTO DA BATERIA CIRCUITO 6 - SETOR VERMELHO

A Tabela 28 apresenta o dimensionamento do banco de bateria adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 28 – Descrição do dimensionamento do banco de bateria do Circuito 6 (Setor Vermelho)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Energia Diária (ED)	3000,00	Wh/dia
2	Rendimento Global (R)	89,00	%
3	Energia Real (ER=ED/R)	3370,78	Wh/dia
4	Autonomia do Sistema Fotovoltaico (N)	1,00	Dia
5	Tensão Nominal de Operação do Sistema Fotovoltaico (Vi)	48,00	Volts
6	Profundidade de Descarga (Pd)	60,00	%
7	Capacidade Útil do Banco de Bateria (CU=ER x N / Vi)	70,22	A/h
8	Capacidade Real do Banco de Bateria (CR=CU / PD)	117,03	A/h
9	Número de Baterias em Série (BS) 165 A/h.	4,00	Equipamento
10	Número de Baterias em Paralelo (BP) 165 A/h-(BP=CR / 165 Ah)	1,00	Equipamento
11	Total de Baterias (TB) 165 A/h	4,00	Equipamento

4.2.28 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIRCUITO 6 - SETOR VERMELHO

A Tabela 29 apresenta o dimensionamento do painel fotovoltaico adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 29 – Descrição do dimensionamento do painel fotovoltaico do Circuito 6 (Setor Vermelho)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	EP=Potencia a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (Para Inversores Com MPPT)-EP=ER	3370,78	Wh/dia
2	Corrente a Ser Gerada Pelo Painel Fotovoltaico (IP)- IP=EP/Vi	70,22	Amperes
3	Tensão Nominal de Trabalho, do Módulo Fotovoltaico (Vm)	12,00	Volts
4	Corrente em Máxima Potencia, do Módulo Fotovoltaico (IMPP)	7,67	Amperes
5	Corrente de Curto Circuito do Módulo Fotovoltaico (ISC)	8,36	Amperes
6	Número de Módulos Associados em Serie (Por String) - (ms=Vi/Vm)	4,00	Módulos
7	Número de Módulos Associados em Paralelo (Por String)-(mP). $mp = \frac{Ip}{R^{\circ}Cpmax \times Impp \times HSPk}$	4,00	Módulos
8	Número Total de Módulos Fotovoltaicos -(Nm). Nm=mP x mS	16,00	Módulos

4.2.29 DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR DE CARGA CIRCUITO 6 - SETOR VERMELHO

A Tabela 30 apresenta o dimensionamento do regulador de carga adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 30 – Descrição do dimensionamento do regulador de carga do Circuito 6 (Setor Vermelho)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Corrente de Curto Circuito do Painel Fotovoltaico (ISCP). (ISCP=ISC x mp)	33,44	Amperes
2	Capacidade de Corrente de Entrada do Controlador de Carga (IE). (IE=ISCP x 1,25)	41,80	Amperes
3	Capacidade de Corrente de Saída do Controlador de Carga (IS). (IS= PT/ Vi)	78,12	Amperes
4	Controlador de Carga 48 V/80 Amperes	1,00	Equipamento

4.2.30 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR CIRCUITO 6 - SETOR VERMELHO

A Tabela 31 apresenta o dimensionamento do inversor adotando as equações e definições já mencionadas no circuito 01 do setor amarelo.

Tabela 31 – Descrição do dimensionamento do inversor do Circuito 6 (Setor Vermelho)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Potência Instalada+10%	3300,00	Watts
2	Inversor de Frequência 48 V/5000 W	1,00	Equipamento

4.2.6 DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)-CIRCUITOS (1;2;3;4;5 E 6) - SETORES(AMARELO;VERDE;LARANJA;AZUL;ROXO E VERMELHO)

Os sistemas fotovoltaicos normalmente são localizados nas partes externas de edifícios ou construções, assim os mesmos podem estar expostos a uma descarga atmosférica direta. Os efeitos indiretos de descargas atmosféricas podem ser atenuados pela adequada utilização dos dispositivos de proteção de sobretensão (DPS).

No sistema fotovoltaico o inversor de corrente é os painéis são as partes mais frágeis, podendo ser danificados pelas altas correntes de surto causadas pelas descargas atmosféricas. Este risco pode ser reduzido com uso de medidas de proteção envolvendo o aterramento, equipotencialização, utilização de blindagem e roteamento de cabos. Embora cada medida seja específica, elas constituem um conjunto integrado dentro de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Para calcular o DPS utilizou-se a seguinte fórmula:

$$DPS = 1,2 \times N \times Uoc(painel)$$

$$DPS = 1,2 \times 4 \times 12 = 57,6 V$$

Onde:

N = número de módulos conectados em série;

Uoc(painel) = é a tensão sem carga de um painel fotovoltaico individual em condições normais.

Para este dimensionamento será utilizado 1 DPS para cada circuito, totalizando 06 DPS com tensão nominal de 57V, pois a distância do painel para o inversor será inferior a 20 metros.

4.4 ANALISAR A VIABILIDADE E DISCUTIR AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROJETO DO DESENVOLVIDO.

4.4.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE

A Tabela 12 apresenta o custo inicial de instalação do sistema fotovoltaico com valores médios encontrados no mercado brasileiro para os componentes que compõem o sistema fotovoltaico dimensionado neste projeto.

Tabela 32 – Custo inicial de instalação do sistema fotovoltaico do edifício CCT

Item / Componente	Fabricante	Qtd	Preço Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Módulos Fotovoltaicos 140W	Tecnometal	132	747,63	98.687,16
Bateria 165 Ah	Freedom	4	729	2.916,00
Bateria 185 Ah	Freedom	12	819	9.828,00
Bateria 240 Ah	Freedom	8	949	7.592,00
Controlador 48V/60A	FlexMax	2	3091	6.182,00
Controlador 48V/80A	FlexMax	4	3258	13.032,00
Inversor de Frequência 1500W	Xantrex	4	1958,9	7.835,60
Inversor de Frequência 3000W	Xantrex	1	3705	3.705,00
Inversor de Frequência 5000W	Xantrex	1	5799,8	5.799,80
DPS 7P.23.9.700.1020	Finder	6	546,25	3.277,50
TOTAL=	-	-	-	158.855,06

A fonte de energia deste projeto é o sistema fotovoltaico autônomo composto por baterias, painéis fotovoltaicos, inversores, controladores de cargas e dispositivos de proteção contra surtos. O custo inicial deste projeto foi calculado em cima do consumo total do edifício CCT que é de 29.684,00 Wh/dia. Para a implantação deste sistema o investimento inicial será de R\$ 158.855,06 como visto na Tabela 32.

A vida útil estimada dos painéis fotovoltaicos é de 25 anos, durante este período se tem a necessidade de substituir os demais componentes do sistema ao qual condiz com 25 vezes o banco de baterias, 3 vezes o banco de inversores e 3 vezes o banco de controladores de cargas.

A Tabela 33 mostra o custo para manter este sistema durante os 25 anos com acréscimo de 25% que se refere à contratação da mão de obra, materiais de instalação e gasto em geral garantindo uma margem de erro nos valores de todos os componentes.

Tabela 33 – Custo para manter o sistema durante 25 anos

Item / Componente	Custo (R\$)
1 x Painéis Fotovoltaicos	98.687,16
25 x Baterias	508.400,00
3 x Inversores	52.021,20
3 x Controladores	57.642,00
Total: 895.937,95	

A partir da equação abaixo levando em consideração que a insolação média anual de Belo Horizonte é 1.660,75 kWh/m².ano e que a capacidade de geração é de 29.684,00 Wh/dia temos a energia total gerada no período de 25 anos.

$$E = n_{el} \times P_{cc} \times G \times V_{útil}$$

$$E = 0,89 \times 29.684,00 \times 1.660,75 \times 25 = 1096873,89 \text{ kWh}$$

Onde:

E = energia total gerada pelo sistema;

n_{el} = corresponde a eficiência do sistema (%);

P_{cc} = corresponde à potência instalada;

G = corresponde à quantidade de radiação incidente no plano do painel (kWh/m².ano)

Assim, o custo da energia solar fotovoltaico para o projeto em questão será:

$$C = \frac{895.937,95}{1096873,89} = 0,81681035 \text{ (R\$/kWh)}$$

A Sotreq se enquadra na modalidade tarifa horo-sazonal verde (A4), na Tabela 14 apresenta os devidos valores hoje cobrados para esta categoria, desconsiderando os tributos.

Tabela 34 – Valor da energia para modalidade tarifa horo-sazonal verde (A4)

Subgrupo	Energia (R\$/kWh)			
	Ponta (Seca)	Ponta (Úmida)	F.Ponta (Seca)	F.Ponta (Úmida)
A4 (2,3 a 25 kV)	0,91464	0,91464	0,18052	0,18052

Fonte: Cemig

Levando em consideração a informação de que o sistema possa atuar no horário de ponta e fora de ponta tem-se a média dos valores apresentado na Tabela 34, 0,54758 (R\$/kWh), o que corresponde a 1,50 vezes o valor do custo da energia fotovoltaico.

Através do histórico de consumo do período de novembro de 2012 a outubro de 2013 e considerando as luminárias como uma carga baixa é determinado as médias de consumo por ano representado na Tabela 35.

Tabela 35 - Histórico de Consumo período de novembro de 2012 a outubro de 2013

Mês/Ano	Consumo médio(kWh)	Dias de Consumo / Mês	Média diária (kWh/dia)
Novembro/12	211.400	30	7.046,66
Dezembro/12	210.000	31	6.774,19
Janeiro/13	215.600	31	6.954,83
Fevereiro/13	240.100	28	8.575,00
Março/13	200.900	31	6.480,64
Abril/13	224.000	30	7.466,66
Mai/13	231.700	31	7.474,19
Junho/13	235.200	30	7.840,00
Julho/13	210.000	31	6.774,19
Agosto/13	218.400	31	7.045,16
Setembro/13	222.600	30	7.420,00
Outubro/13	211.400	31	6.819,35
Total (média)	219.275,00	30	7.222,57

Com base no consumo médio total apresentado na Tabela 35 multiplicado pela média do valor cobrado pela Cemig (0,54758 (R\$/kWh)) tem-se o valor médio pago pela Sotreq, que é de R\$ 120.070,60. O projeto é para suprir uma demanda de 29,684 kW/dia, no ano equivale há 10.686,24 kWh.

Com implantação deste projeto reduzindo 10.686,24 kWh por ano e traduzindo esta redução em valores, temos R\$ 5.851,57 por ano, assim o retorno do investimento inicial descrito na Tabela 32 vai ser:

$$\text{Retorno financeiro} = \frac{158.855,06}{5.871,57} = 27,05 \cong 27 \text{ anos}$$

Sabendo que o valor do kWh do sistema fotovoltaico é 1,50 vezes o valor cobrado pela Cemig, considerando a projeção de vida útil dos painéis fotovoltaicos igual a 25 anos, já deixa o projeto inviável e refazendo à análise para o histórico atual de consumo da empresa, obtendo valores de redução na conta de energia, verificou-se que o retorno do investimento inicial será de 27 anos, o que reforça a inviabilidade do projeto dimensionado.

Mas apesar da inviabilidade, deve-se ressaltar a imensa importância da instalação dos sistemas fotovoltaicos quando avaliados sob o foco da diminuição dos impactos ambientais.

4.4.2 DISCUSSÃO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROJETO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de produção fotovoltaico, principalmente os isolados integrados as edificações, oferecem diversas vantagens para o sistema elétrico muitas das quais relacionadas a custos evitados e que ainda não são considerada ou quantificadas.

Pelo motivo da crescente demanda global por energia e pela importância do impacto sobre a sociedade e o meio ambiente, tem-se a necessidade de se optar por esta fonte de energia que alimenta de forma eficiente sem agredir o meio ambiente, assim criando uma base resistente para o desenvolvimento sustentável mundial.

Veja as vantagens:

- Possui uma vida útil superior a 20 anos;
- É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade);
- Devido à tecnologia aplicada há geração de energia mesmo em dias nublados;
- Instalação do sistema é de forma simples;
- Permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais;
- Exige pouca manutenção devido à inexistência de peças moveis;
- Não produz poluição e não contamina o meio ambiente;
- Redução de perdas por transmissão e distribuição de energia, já que a eletricidade é consumida onde é produzida.

Por se tratar de um sistema que faz uso de uma fonte de energia renovável e cada vez mais cotada como meio de substituição aos métodos convencionais de geração de energia, ainda existem desvantagens que faz com que este sistema se torna inviável na realidade atual.

Veja as desvantagens:

- A tecnologia de fabricação das células fotovoltaicas é sofisticada ao ponto de elevar o valor de comercialização dos painéis;
- O investimento de instalação do sistema fotovoltaico é elevado;
- No caso do sistema autônomo faz-se necessário um banco de armazenador de energia o que eleva de forma significativa o custo da instalação do projeto;
- Retorno do investimento inicial é de longo prazo.

Mesmo com grandes vantagens, o projeto fotovoltaico do edifício CCT se tornou inviável devido o alto valor da energia produzida e pelo prazo do retorno inicial do investimento ser de 27 anos, o que fez com que o projeto não seguir-se adiante.

5. CONCLUSÃO

O Estado de Minas Gerais possui condições climáticas favoráveis para uso da energia solar, aliando altos níveis de irradiação solar incidente com temperaturas amenas e baixa nebulosidade nos meses de inverno quando a demanda de energia se torna maior.

No presente trabalho, foi realizado um estudo de caso de um sistema que faz uso de uma energia renovável para suprir de forma sustentável a demanda de iluminação dos setores que compõem o edifício do centro de capacitação técnica, localizado em Contagem - MG.

A partir do dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo obteve-se uma projeção para o sistema de iluminação no qual foi possível aplicar um estudo de viabilidade econômica. Após a análise de viabilidade do projeto dimensionado conclui-se que o mesmo se tornou inviável pelo alto custo da energia produzida e devido o longo prazo de retorno do investimento inicial de implantação do sistema, 27 anos.

O custo do projeto poderia ser reduzido se ao invés de um sistema com acumuladores de energia o sistema fosse ligado diretamente à rede de distribuição, pois o que pode ficar evidenciado que o grande vilão do sistema autônomo são os acumuladores, pois representa 12,80% do investimento inicial e 56,75% do investimento para manter este sistema durante 25 anos, tempo de vida útil do painel fotovoltaico.

Apesar da inviabilidade do sistema dimensionado vale ressaltar a importância desta fonte quando avaliados sob o foco de redução dos impactos ambientais, e é de suma importância que os benefícios da utilização da energia fotovoltaica e o potencial brasileiro sejam apresentados de maneira clara, pois só assim os paradigmas que freiam a inclusão dessa fonte renovável na matriz energética sejam quebrados.

6. REFERÊNCIAS

ANEEL - **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf>. Acesso em: 06 de set. 2013.

ANEEL - **Atlas de Energia Solar**. 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: 08 de agosto 2013.

ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Disponível em: < <http://www.trabalhosabnt.com/regras-normas-abnt-formatacao>>. Acesso em: 08 de agosto 2013.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; Abreu, Samuel Luna e RÜTHER, Ricardo. – **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 60p.

BEN – **Balanco Energético Nacional**. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf>. Acesso em: 08 de agosto 2012.

CEMIG – **Alternativas Energéticas**. Disponível em: < <http://www.cemig.com.br/Inovacao/AlternativasEnergeticas/Documents/Alternativas%20Energ%C3%A9ticas%20-%20Uma%20Visao%20Cemig.pdf>>. Acesso em: 08 de agosto 2013.

CRESESB – **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf>. Acesso em: 08 de agosto 2013.

CRESESB – **Tutorial Solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=tutorial/tutorial_solar.htm>. Acesso em: 12 set 2013.

COMPARAÇÃO DO CUSTO ENTRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E FONTES CONVENCIONAIS – Disponível em: <http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf>. Acesso em: 15 set 2013.

ELETROBRÁS – **Fontes Alternativas de Energia**. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/natrilhadaenergia/meio-ambiente-e-energia/main.asp?View=%7B45B85458-35B3-40FE-BDDD-A6516025D40B%7D>>. Acesso em: 12 set 2013.

EPE - **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 12 set 2013.

EPE - **Eficiência energética na indústria e nas residências**. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf>. Acesso em: 12 set 2013.

IEA - **International Energy Agency**. Disponível em <www.iea.org>. Acesso em: 12 set 2013.

IEA - **PVPS Annual Report 2006**. 2006. 208 p.

MARKVART, T. **Solar Electricity**. 2nd ed. 1994 e 2000 UNESCO. 271 p.

MME - **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em <www.mme.gov.br>. Acesso em: 12 set 2013.

MME - **BOLETIM DE MONITORAMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/see/galerias/arquivos/Publicacoes/Boletim_mensalDMSE/Boletim_de_Monitoramento_do_Sistema_Elctrico_-_Agosto-2012.pdf>. Acesso em: 12 set 2013.

MME – **Plano Nacional de Energia 2030**. Disponível: < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne_2030/11_EficienciaEnergetica.pdf>. Acesso em: 12 set 2013.

MINHA CASA SOLAR – Disponível em: <<http://minhacasasolar.com.br>>. Acesso em: 15 set 2013.

NEOSOLARENERGIA – Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em: 15 set 2013.

PETROBRAS – **Outras Fontes de Energia**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/outras-fontesenergia/>>. Acesso em: 12 set 2013.

PORTAL BRASILEIRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – **Energia solar no Brasil pode ser vantajosa a partir de 2013**. Disponível em: <http://energiarenovavel.org/index.php?option=com_content&task=view&id=366&Itemid=294>. Acesso em: 12 set 2013.

PORTAL BRASILEIRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – **ANEEL Aprova Regulamentação para Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <http://energiarenovavel.org/index.php?option=com_content&task=view&id=712&Itemid=310>. Acesso em: 12 set 2013.

PORTAL BRASILEIRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – **Brasil é o 10º país que mais investe em energia limpa**. Disponível em: <http://energiarenovavel.org/index.php?option=com_content&task=view&id=711&Itemid=310>. Acesso em: 15 de ago. 2013.

REVISTA BRASILIS – **Energias Renováveis avançam no Brasil**. Disponível em: <<http://revista.brasil.gov.br/reportagens/energias-renovaveis-avancam-no-brasil/energias-renovaveis-avancam-no-brasil>>. Acesso em: 12 set 2013.

RÜTHER, R; KNOB, Paulo; DACOREGIO, Marcelo M.; RICARDO, Rodrigo V., PARECY, Emerson; REQUE, Wilson e JARDIM, Carolina da Silva. **Avaliação do impacto da geração distribuída utilizando sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede de distribuição**. Ano 2005. Disponível em: < <http://www.estudostecnologicos.unisinos.br/index.php?e=1&s=9&a=34>> Acesso em: 12 set 2013.

RÜTHER, R; SALAMONI, Isabel; MONTENEGRO, Alexandre; BRAUN, Priscila e FILHO, Roberto Devienne. **Programa de Telhados Solares Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Disponível em: < http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/salamoni_ruther.pdf>. Acesso em: 12 set 2013. .

SOLENERG – **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/>>. Acesso em: 12 set 2013.

SILVA, Marcelo. **Energia Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Alameda, 2011. 279 p.

SZOKOLAY, Steven Vajk. **Energia Solar e Edificações**. São Paulo: Cortez, 1991. 174 p.

WOLFGANG, Palz. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. São Paulo: Pioneira, 2002. 358 p.