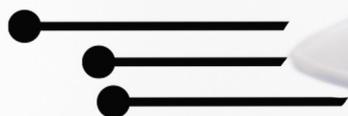


Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia 3



Luís Fernando Paulista Cotian

(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

3

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 3 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-086-5

DOI 10.22533/at.ed.865193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume III apresenta, em seus 11 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão Energética relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Gestão de Recursos Naturais e Produção mais Limpa e Ecoeficiência.

A área temática de Gestão Energética trata de temas relevantes para a geração, manutenção e gerenciamento de assuntos relacionados à energia elétrica. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de Gestão Energética, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão Energética e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ALTA CONCENTRAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO

Hugo Tavares Vieira Gouveia
Luiz Fernando Almeida Fontenele
Rodrigo Guido Araújo

DOI 10.22533/at.ed.8651931011

CAPÍTULO 2 19

CONFLITO ENTRE ENERGIA ASSEGURADA E HIDROGRAMA AMBIENTAL: O RIO SÃO FRANCISCO ESTÁ MORRENDO?

Paulo Roberto Ferreira de Moura Bastos
Mônica Silveira

DOI 10.22533/at.ed.8651931012

CAPÍTULO 3 35

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAÇÃO CONTÍNUA POR ANÁLISE DE IMAGEM DO ESTADO DE CHAVES DE CIRCUITOS ALIMENTADORES EM SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO

Lourival Lippmann Junior
Bruno Marchesi
Rafael Wagner
Amanda Canestraro de Almeida
Vanderlei Zarnicinski
Bogdan Tomoyuki Nassu

DOI 10.22533/at.ed.8651931013

CAPÍTULO 4 54

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE PILHA A COMBUSTÍVEL DE ÓXIDO SÓLIDO COM POTÊNCIA DE GERAÇÃO DE 1 KW

Gabriel Leonardo Tacchi Nascimento
Jacqueline Amanda Figueiredo dos Santos
Rubens Moreira Almeida
Tulio Matencio
Rosana Zacarias Domingues

DOI 10.22533/at.ed.8651931014

CAPÍTULO 5 73

EQUIPAMENTO COM RECONHECIMENTO DINÂMICO DE IMAGEM PARA AVALIAÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA EM CAMPO

Fernanda Soares Giannini
Ronaldo Borges Franco
Joel Machado Campos Filho
Ricardo Toshinori Yoshioka
Jean Marcos Andery Baracat
José Eduardo Bertuzzo

DOI 10.22533/at.ed.8651931015

CAPÍTULO 6	87
GERENCIAMENTO ENERGÉTICO PARA MICRORREDES: DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO PILOTO	
<i>Victor Maryama</i>	
<i>Vitor Seger Zeni</i>	
<i>Frederico Viveiros Jordan</i>	
<i>Cesare Quinteiro Pica</i>	
<i>Erlon Cristian Finardi</i>	
<i>Gabriel Aurélio de Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8651931016	
CAPÍTULO 7	107
INJEÇÃO MÁXIMA DE MW POR GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ALIMENTADOR PRIMÁRIO	
<i>Henrique Mesquita Tonhá</i>	
<i>Romário Pereira Marinho</i>	
<i>Antônio César Baleeiro Alves</i>	
<i>Luis Gustavo Wesz da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8651931017	
CAPÍTULO 8	123
SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO O ENERGYPLUS: UMA APLICAÇÃO VOLTADA AOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES	
<i>Abraão Gualbeto Nazário</i>	
<i>Raimundo Celeste Ghizoni Teive</i>	
<i>João Zico Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8651931018	
CAPÍTULO 9	137
VIBRATIONAL ENERGY HARVESTING TO ELECTRIC TRANSDUCTION IN A HIGH EFFICIENCY ELECTRIC VEHICLE	
<i>Jólio Ribeiro Maia Neto</i>	
<i>Ícaro Lofego Mota</i>	
<i>João Alexandrino Bemfica Neto</i>	
<i>Douglas da Costa Ferreira</i>	
<i>Fábio Roberto Chavarette</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8651931019	
CAPÍTULO 10	141
MAPEAMENTO DA GOVERNANÇA DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	
<i>Tássia Fonseca Latorraca</i>	
<i>Raquel Naves Blumenschein</i>	
<i>Maria Vitória Ferrari</i>	
DOI 10.22533/at.ed.86519310110	
CAPÍTULO 11.....	157
OTIMIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENERGIA SOLAR COM O USO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS E REFLETORES MÓVEIS	
<i>Cynthia Beatriz Scheffer Dutra</i>	
<i>Jean Paulo Rodrigues</i>	
<i>Paulo César Sedor</i>	
DOI 10.22533/at.ed.86519310111	
SOBRE O ORGANIZADOR	167

SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO O ENERGYPLUS: UMA APLICAÇÃO VOLTADA AOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Abraão Gualbeto Nazário

Faculdade de Tecnologia SENAI MT, Cuiabá -
Mato Grosso

Raimundo Celeste Ghizoni Teive

Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí – Santa
Catarina

João Zico Oliveira

Faculdade de Tecnologia SENAI MT, Cuiabá -
Mato Grosso

RESUMO: A inovação no processo de gerenciamento de energia elétrica em edificações é uma saída estratégica para propor soluções energéticas inteligentes e sustentáveis. Para diversificar a geração de energia elétrica e explorar o potencial do Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL normatizou através da Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012, a possibilidade da conexão de um sistema fotovoltaico à rede elétrica, incentivando assim pesquisas de soluções otimizantes para a aplicabilidade dos princípios da eficiência energética. O presente artigo tem como objetivo modelar, através do software Energyplus, um sistema de gerenciamento de energia, considerando a filosofia dos edifícios inteligentes. Para isso, foi realizado um estudo de caso voltado à gestão do uso de energia elétrica, através de simulações de fluxos térmicos e luminosos

nos softwares Energyplus e SketchUp, além da inclusão do aporte da geração fotovoltaica; simulando assim um modelo computacional de um edifício inteligente. Resultados preliminares obtidos com o estudo de caso apontaram que a geração fotovoltaica, considerando as cargas da edificação, possibilitaria atender 50% do consumo anual da edificação.

PALAVRAS-CHAVES: Microgrids, Gerenciamento de energia, Eficiência energética, Energyplus.

ABSTRACT: Innovation in the process of managing electrical energy in buildings is a strategic outlet to propose intelligent and sustainable energy solutions. In order to diversify electric power generation and exploit the potential of Brazil, the National Electric Energy Agency - ANEEL, through Resolution No. 482 of April 17, 2012, regulated the possibility of connecting a photovoltaic system to the grid, thus encouraging optimization solutions for the applicability of energy efficiency principles. This paper aims to model, through Energyplus software, an energy management system, considering the philosophy of intelligent buildings. For this, a case study was conducted on the management of the use of electric energy, through thermal and light flux simulations in the Energyplus and SketchUp softwares, besides the inclusion of the contribution of the photovoltaic generation;

thus simulating a computational model of a smart building. Preliminary results obtained with the case study pointed out that photovoltaic generation, considering the loads of the building, would enable 50% of the annual consumption of the building to be met.

KEYWORDS: Microgrids, Energy Management, Energy Efficiency, Energyplus.

1 | INTRODUÇÃO

A procura por alternativas para uso racional de energia tem incentivado, nos últimos anos, diversas pesquisas de métodos que expliquem as características e elementos relacionados ao consumo de energia nas edificações. O conhecimento destes métodos pode ser vital para um equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia para um edifício inteligente. Muitos dos métodos existentes calculam as perdas da edificação, a influência da temperatura externa e da radiação solar no consumo das edificações, como é o caso dos métodos PRISM (Princeton Scorekeeping Method) de M. Fels, 1986, SLR (Solar Ratio Method) de J. D. Balcomb et al. (1992), e H-m Method de LESO EPFL, (1985), os quais consideram ganhos internos como o desempenho HVAC (Heating, Ventilating and air Conditioning), que constitui a tecnologia destinada ao conforto ambiental interior, aquecimento, ventilação e ar condicionado e a forma de adaptação da temperatura mediante o calor existente, tornando possível determinar o consumo de energia elétrica. Por outro lado, o Método Etha, desenvolvido por M. Bauer, J. L. Scartezzini, 1998 considera os ganhos internos, como os ganhos solares, podendo ser utilizado para caracterizar os benefícios trazidos pela contribuição de um sistema fotovoltaico.

A utilização de recursos computacionais, como Energyplus e SketchUp, possibilita fazer simulação da oferta e demanda de energia dos setores da edificação, implementando conceitos de sustentabilidade, permitindo a simulação energética dos componentes térmicos e lumínicos. Com estes resultados, podem-se desenvolver estudos para melhoria da eficiência energética nas edificações existentes ou em fase de projeto. A utilização do programa Energyplus possibilita a simulação do *time-step* que, integra o cálculo de vários módulos (fotovoltaico, aquecimento solar, ventilação natural, iluminação natural) e um melhor aproveitamento da iluminação natural, entre outras soluções como conforto térmico.

Este artigo apresenta a simulação computacional de um edifício inteligente, considerando dados reais de consumo mensal de energia e a utilização do sistema de energia fotovoltaico conectado à rede elétrica convencional. Portanto, foram considerados duas premissas para embasar o objeto de estudo:

- A norma ABNT NBR ISO 50001:2011, que especifica requisitos para o estabelecimento, implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão da energia, cujo propósito é propor um procedimento a ser seguido para atendimento da melhoria contínua de seu desempenho energético.
- O programa Energyplus com o Método Etha e Sandia que consideram os

ganhos internos, como os ganhos solares, podendo ser utilizado para caracterizar o sistema de resfriamento e o sistema de geração de energia elétrica fotovoltaico.

O principal objetivo deste artigo é propor um sistema de gestão de energia fotovoltaica conectada à Rede de Energia, buscando a otimização energética. Para isso, foi realizado o estudo de caso na edificação da Faculdade de Tecnologia do SENAI-Cuiabá-MT, utilizando o software Energyplus e SketchUp para modelagem arquitetônica desta edificação, para os cálculos de consumo de energia e para a modelagem da fonte fotovoltaica da edificação. Este artigo é organizado da seguinte forma: após a introdução (tópico 1), são apresentados os fundamentos dos recursos computacionais Energyplus e SketchUp (tópico 2). A modelagem da Edificação (tópico 3). Após a modelagem são discutidos os resultados (tópico 4) e ao final são apresentadas as conclusões do estudo (tópico 5).

2 | PROGRAMA COMPUTACIONAL

Energyplus

O programa computacional Energyplus (versão 8.1) foi criado a partir dos programas BLAST e DOE-2 e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como “time-step”, de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas fotovoltaicos, aquecimento solar, dentre outros de DOE(2007).

O programa Energyplus não possui uma interface amigável ao usuário sendo necessário introduzir uma série de dados (input) de forma a ser possível à obtenção dos resultados pretendidos (outputs).

A integração do Energyplus ao programa SketchUp possibilita atender à necessidade de modelagem de todos os elementos presentes na edificação. Para isso, podemos definir a simulação energética em três passos. Primeiro é necessário criar o modelo no programa, introduzindo os vários dados que definem o edifício, como sua geometria e dimensões. Em segundo, ocorre a simulação calculando os dados de acordo com as variáveis climáticas. Por último, analisam-se os resultados e obtêm-se as conclusões, elaborando, se for o caso, as análises de sensibilidade das diversas variáveis inerentes ao edifício.

SketchUp

SketchUp é um programa de modelagem computacional 2D e 3D que integrados

com os módulos e plug-ins do Energyplus torna-se possível o estudo de sombreamento e desempenho das placas solares fotovoltaicas nas edificações (LAMBERTS. et al., 2010)

Estudo de Caso

A Faculdade Tecnologia (FATEC) SENAI está localizada próximo ao Centro Geodésico da América do Sul, nas coordenadas 15°35'56,80 de latitude sul e 56° 06'05,55 de longitude oeste. Situado na Avenida 15 novembro, na cidade de Cuiabá – MT, conforme Figura 1. Dados do INMET (2016, de 1961 e 2015, registraram que a menor temperatura apresentada em Cuiabá fora de 3,3 °C, ocorrida em julho de 1975, e a maior fora de 42,3 °C, em 17 de setembro de 2015.



Figura 1- Foto área da FATEC SENAI Cuiabá- MT.

Considerando o histórico climático da região e o consumo de energia da edificação, foi elaborado o estudo de caso da edificação, seguindo a norma ABNT NBR ISO 50001:2011 que especifica os requisitos para, implementar, checar e manter as melhorias necessárias para obtenção de um sistema de gestão da energia.

A partir da pesquisa de campo, foram analisadas as três principais variáveis relevantes que afetam o consumo significativo de energia da edificação: 1- o sistema de refrigeração, 2 - os computadores dos laboratórios, 3 - o sistema de iluminação. Para análise, foi levantada a quantidade (Qtde) de aparelhos elétricos do Bloco C, dias e horas de utilização destes dentro de um mês. Com estes dados obtém-se os resultados, em kWh, conforme descritos na Tabela 1, o consumo mensal de 12.102 Kwh.

Aparelhos Elétricos	KW	Dias	Horas	kWh
Ar-Condicionado (30 Qtde)	1,4	22	12	11.088
Computador (600 Qtde)	0,2	22	12	31,68
Lâmpada Fluorescente (260 Qtde)	0,04	22	12	2,75
Consumo mensal:				12.102

Tabela 1 Aparelhos eletrônicos do Bloco C da edificação.

Com base no consumo mensal (kWh) dos aparelhos eletrônicos descritos no quadro acima, foi realizada a simulação no Energyplus e no SketchUp, considerando a média de utilização diária dos equipamentos presentes na edificação (07:30 às 11:30/13:30 às 17:30/18:00 às 22:00). Esta simulação é relevante pois, propicia modelar as variáveis de um sistema de gestão de energia.

O estudo de caso possibilitou a análise da viabilidade de tornar a edificação autossuficiente, gerando energia fotovoltaica através do arquivo climático da região de Cuiabá, disponível no site do Energyplus (2016). Deste modo, foi realizada a simulação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica; esta alternativa visa balancear a utilização da rede elétrica convencional, a produção do sistema fotovoltaico ou como alternativa de segurança em caso de falhas na rede elétrica convencional.

O fluxo deste processo é representado na Figura 2, com as etapas para desenvolver um sistema de gestão de energia em edifícios inteligentes (SGEEI) que leve em consideração o consumo da edificação e os fatores climáticos do sistema fotovoltaico.

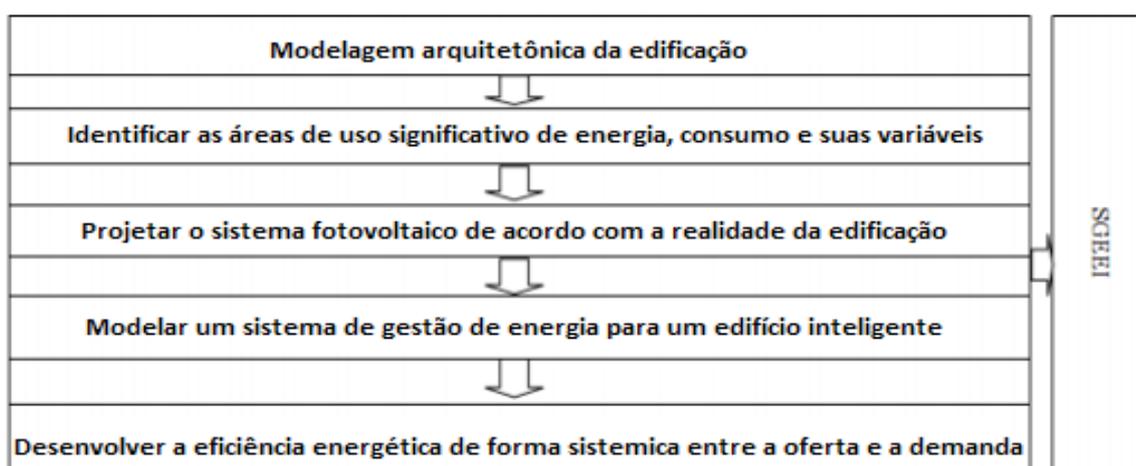


Figura 2 – Modelo para sistema de gestão de energia

A definição destas etapas estabelece os processos o planejamento, a implementação e a execução de melhorias na eficiência energética, identificando as variáveis relevantes que afetam o uso significativo de energia da edificação.

3 | IMPLEMENTAÇÃO NO ENERGYPLUS E SKETCHUP

Para a implementação do Energyplus, no SketchUp, foram analisadas as plantas baixas do Bloco C da FATEC SENAI, considerando para obtenção do modelo, as fontes de energia, as zonas térmicas e superfície dos blocos. O bloco C da edificação tem uma estimativa de 50 computadores por laboratórios, perfazendo o total de 600 computadores nos 12 laboratórios existentes. A figura 3 representa o laboratório em uso.

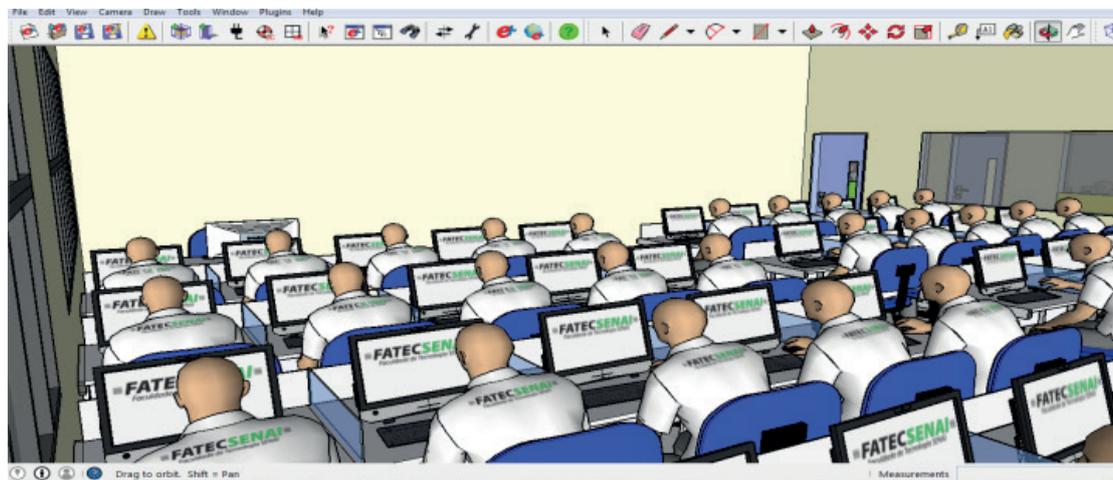


Figura 3- Vista interna do Laboratório do Bloco C.

A Modelagem arquitetônica desta edificação pode ser visualizada na Figura 4, junto com as placas solares e com a contribuição da rede elétrica convencional da edificação.

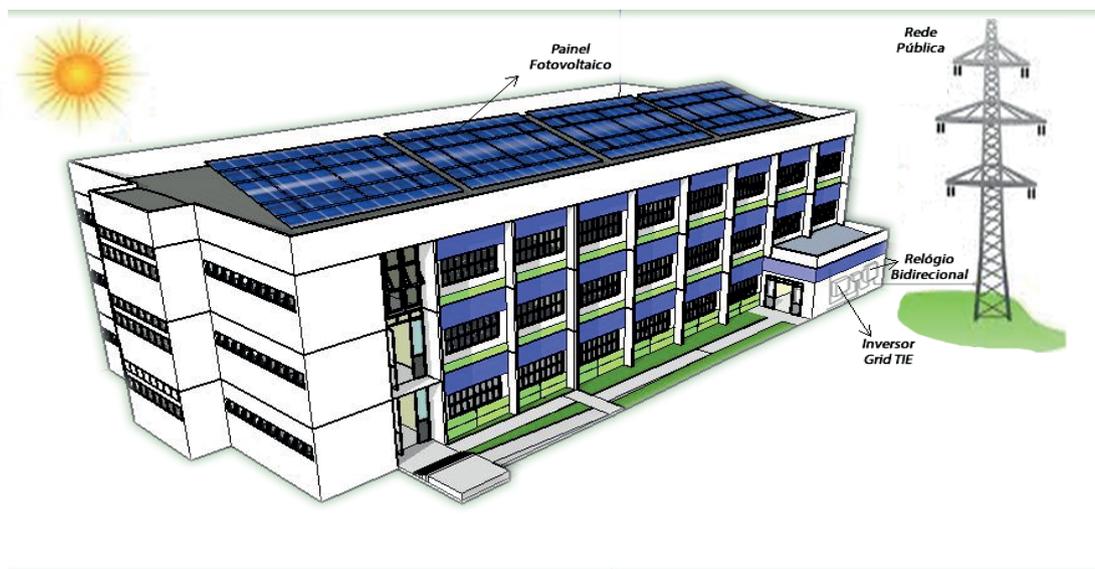


Figura 4 Modelagem da edificação

Modelagem no SketchUp

Em consonância com o objetivo preposto, a fim de modelar no software SketchUp a edificação, foi considerado as seguintes características: transferência de calor e o

melhor posicionamento da placa para aproveitamento de incidência da radiação solar. A integração do Plug-in Open Studio no SketchUp possibilita criar e editar a geometria da construção em seus arquivos de entrada no EnergyPlus. Esta característica da edificação possibilita ter dados para realizar as simulações de transmitância de calor dos componentes que constitui a arquitetura da ocupação, estes dados podem ser visualizados na Tabela 2.

<i>Tipo</i>	<i>Nome</i>	<i>Imagem</i>	<i>Transmitância</i>
Parede Externa	Argamassa interna – bloco concreto 9x19x39 cm -		2,8822
Cobertura	Laje pré-moldada telha fibrocimento		2,2386
Janela	Vidro simples incolor 3 mm		0.861

Tabela 2 - Componentes Construtivos e a Transmitância.

Para o desenvolvimento da modelagem computacional foram consideradas as placas solares e situações de iluminância na edificação, conforme representado na Figura 5, podendo-se prever, mediante o software Energyplus, os pontos e horários nos quais o edifício terá os maiores picos de geração de energia, sendo que na maior parte do ano a produção de energia elétrica ocorre principalmente depois das 7h00 e finaliza antes das 18h00 (considerando a cidade de Cuiabá).

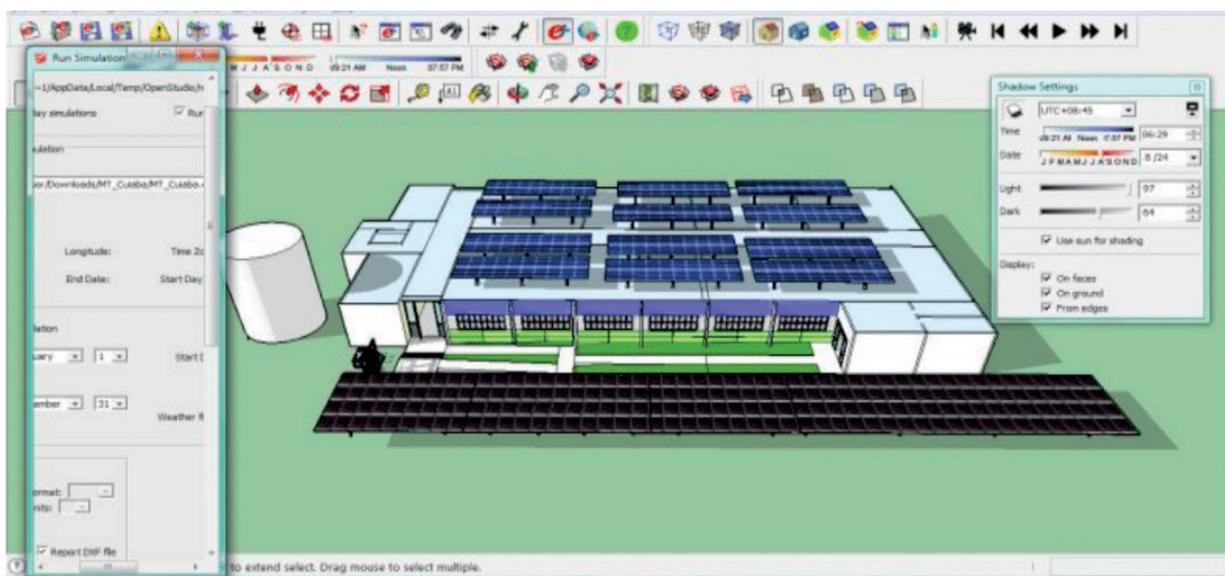


Figura 5 Modelagem da planta do Bloco C.

Modelo computacional do projeto do Sistema fotovoltaico

Para diversificar a geração de energia elétrica e explorar o potencial do Brasil, a

ANEEL estabeleceu condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica, possibilitando assim a conexão de fontes alternativas à rede elétrica Resolução normativa nº 482 de 2012. O sistema fotovoltaico é um exemplo de solução que promove a eficiência energética das ocupações, a definição de radiação solar utilizadas nestes sistemas é estabelecida por normas de Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia, NBR 10898:(2013). Esta norma determina a terminologia, simbologia e unidades padronizadas para as grandezas solarimétricas no Brasil.

Para garantir que os resultados obtidos pela modelagem computacional representem efetivamente o comportamento da edificação, é essencial que a simulação seja corretamente calibrada de CARLO, J.; PEREIRA, F.; LAMBERTS, R.(2004), com unidade e grandezas solarimétricas da região. Neste sentido, foi analisado na Ferramenta RETScreen (software de gerenciamento de energia limpa destinado a analisar a viabilidade de projetos de eficácia energética e de cogeração, assim como analisar o desempenho energético de forma contínua) a avaliação da viabilidade de sistema fotovoltaico conectado a rede da edificação, conforme apresentado na Figura 6, permitindo fazer uma estimativa de geração de energia elétrica, bem como o estudo de retorno financeiro de um sistema fotovoltaico.

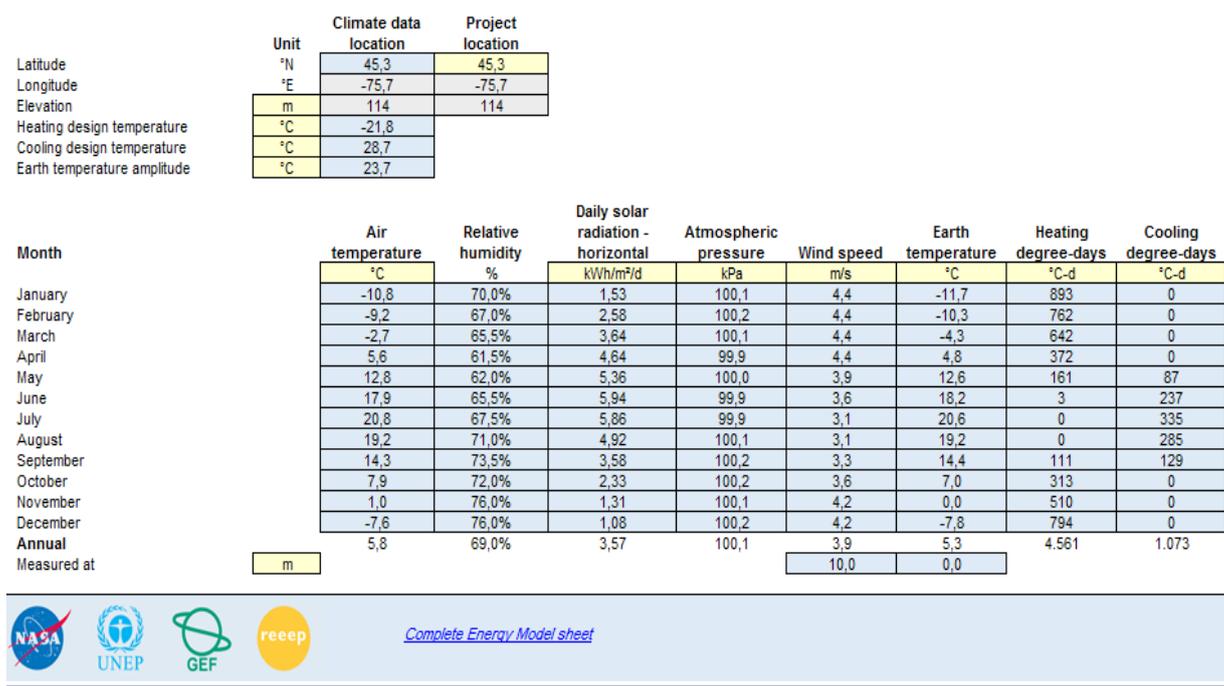


Figura 6 – Viabilidade do sistema fotovoltaico.

Para tal, foi considerado na simulação computacional, o sistema fotovoltaico conectado à rede Elétrica convencional. De acordo com SALAMONI, I. T.(2004)., a instalação fotovoltaica integrada a prédios comerciais e interligada à rede elétrica pública são exemplos de aplicações ideais, nos quais os picos de consumo e de conversão fotovoltaica são muitos coincidentes, isto é, a conversão solar fotovoltaica atinge valores máximos, principalmente em períodos de intenso calor - proporcionalmente

acontece um maior consumo de energia devido ao sistema de ar-condicionado).

Para o desenvolvimento do projeto do sistema fotovoltaico, foram considerados os seguintes componentes:

- Suportes para os Painéis;
- Painéis de células fotovoltaicas;
- Inversor de corrente contínua 12 V para corrente alternada 127/220V;

Estes componentes possuem os dimensionamentos apresentados na Tabela3.

DESCRIÇÃO	VALORES
Potência instalada	42,29 KWp
Produção Anual de energia:	7 2612 kWh
Radiação solar 5,10 kwh/dia x m2	1.200.000 W/h
Radiação x Corrente da placa	5,10 x 4,79 = 24.43Ah/dia
Modulo de geração de FV	169 placas/250 Watt
Área aproximada 271 m2 para placas fotovoltaicas	

Tabela 3 Dimensionamentos do projeto fotovoltaico

Simulação computacional no Energyplus

Na simulação computacional do Energyplus, pode ser feita a estimativa energética, integrando as variáveis de energia do sistema fotovoltaico ao sistema de energia da edificação. Esta prática possibilita analisar as melhorias na fase de projeto ou em fases nas quais já exista uma edificação. O arquivo climático contém os objetos (meses do ano e a estimativa de radiação solar média sobre placa fotovoltaica). Estes dados contribuíram para estratégia de balanceamento entre a energia gerada do sistema fotovoltaico, o consumo da edificação e a energia da rede elétrica convencional.

Para fins de desenvolvimento da simulação do comportamento da edificação foram elencadas três etapas, a saber:

- No IDF-Editor foram listadas as variáveis de energia e horários de utilização dos equipamentos considerados (cargas);
- Definição do arquivo climático a região de Cuiabá-MT;
- Definição do período entre janeiro e dezembro para simulação.

Após estas etapas, foi executada a simulação computacional, obtendo o relatório com as informações de estimativa de consumo, podendo esta simulação servir para análise das variáveis de consumo da edificação.

Pontos relevantes: analisando a capacidade de radiação solar produzida ao longo do ano, podem-se identificar no arquivo climático quais os meses mais quentes do ano, os fatores que podem impactar no aumento do consumo do sistema de refrigeração, identificando assim duas características de oferta e demanda:

I. Oferta de energia do Sistema fotovoltaico. A irradiação solar sobre as

placas fotovoltaicas proporcionará a geração de energia elétrica para suprir o sistema de refrigeração. Cabe destacar que esta energia não produz poluição e nem contamina o ambiente.

II. Demanda do ar condicionado. A placa fotovoltaica sobre a superfície da edificação será um fator que proporcionará barreiras à irradiação incidente sobre o edifício, por efeito de sombreamento e absorção de calor. Esta área ocupada pela placa fotovoltaica trará um alívio térmico dos ambientes da edificação e diminuição do uso intensivo do sistema de ar condicionado.

4 | MODELAGEM COMPUTACIONAL NO ENERGYPLUS

Para os resultados da simulação computacional, utilizou-se a geometria e os componentes construtivos do programa SketchUp, integrando através do plugin do Energyplus. Este recurso proporcionou analisar a direção em que a fachada de entrada principal é disposta a receber uma maior radiação solar. A análise da variação da orientação solar tem como objetivo verificar os impactos da carga de aquecimento e resfriamento no consumo de energia elétrica, tanto sobre o sistema de refrigeração, quanto sobre o sistema fotovoltaico. O planejamento das cargas elétricas da edificação foi realizado através do Energyplus pelo recurso “objeto Schedule: compact”, sendo os dados coletados: o período do ano e o tempo de funcionamento diário da edificação.

Simulação da Edificação no energyplus

A definição da simulação leva em consideração o período de 12 meses de consumo da edificação, conforme Quadro 4 abaixo, e demonstra que o sistema de refrigeração é um ponto de atenção no consumo de energia, ao se levar em consideração o clima e a especificidade da edificação.

DESCRIÇÃO	Resultados em kWh
Geração de energia fotovoltaica	72.612,00
Resfriamento	133.056,00
Iluminação	934,5024
Computador	11.232,00
Consumo energético total	145.224,00

Quadro 4 - Consumo energético da edificação e a geração fotovoltaica.

O resultado do modelo computacional permitiu realizar um planejamento anual de consumo das cargas de energia da edificação, considerando o potencial de geração de energia do sistema fotovoltaico, de acordo com os meses do ano.

Este planejamento da geração de energia fotovoltaica ao longo do ano pode beneficiar o sistema de refrigeração, pois ajudará a identificar o melhor uso da carga interna em função da produção de energia do sistema fotovoltaico, proporcionando

futuramente um fator importante na programação do sistema de gestão de energia, podendo assim atingir resultados relevantes na estratégia de balanceamento da carga de forma operacional.

Potencial de Radiação solar da região de Cuiabá -MT

Considerando o índice de disposição de radiação da região, foram comparados os resultados da radiação solar incidente através de medições no programa RadioSol 2, desenvolvido pela PUC-RS. O resultado demonstra a variação da radiação global incidente G (w/m^2 /dia) para os dias do mês de janeiro a dezembro, na cidade de Cuiabá-MT. Este resultado, encontra-se de acordo com aqueles obtidos do Energyplus, conforme mostrado na Figura 7.

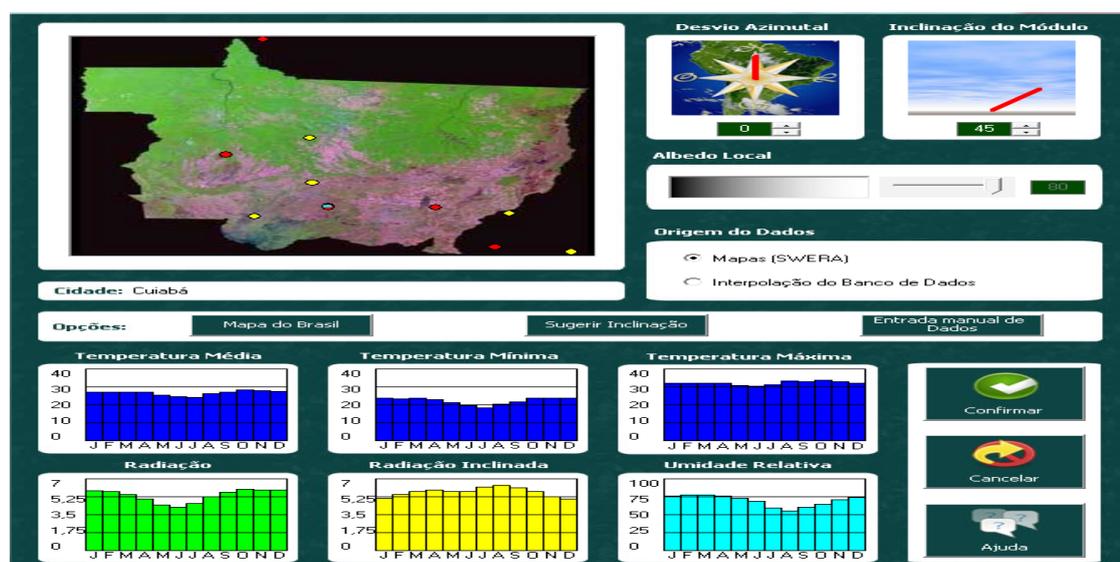


Figura 7. Estimativa Radiação local (Fonte: RadiaSol2)

Sistemas fotovoltaicos

O programa Energyplus disponibiliza três modelos matemáticos (1 - modelo Simples, 2 - modelo Equivalente One Diode e 3- modelo Sandia) para determinar o cálculo de produção de energia. Estes modelos são integrados no Energyplus, sendo o adotado neste estudo de caso o Sandia National Laboratory, utilizado no trabalho de Greg Barker do Laboratório Nacional de Energias do EUA. Este recurso faz a estimativa do potencial do Sistema fotovoltaico.

Para realizar os cálculos, o Energyplus necessita dos dados completos das características dos módulos fotovoltaicos e inversores, assim como detalhes da configuração dos módulos, indicando o número de módulos em série. Estes dados servem como parâmetro de produção de energia, baseando na suposição que a potência elétrica é constante e contínua durante as simulações.

Estes cálculos das simulações são dirigidos pela entrada de dados de radiação solar, considerando céu claro com fator de correção apropriado.

Para desenvolvimento do projeto, foi necessário inserir marcas e modelos de

produção específicos dos painéis fotovoltaicos, que utilizam os coeficientes empíricos reunidos por Sandia National Laboratory, conforme apresentado na Figura 8.

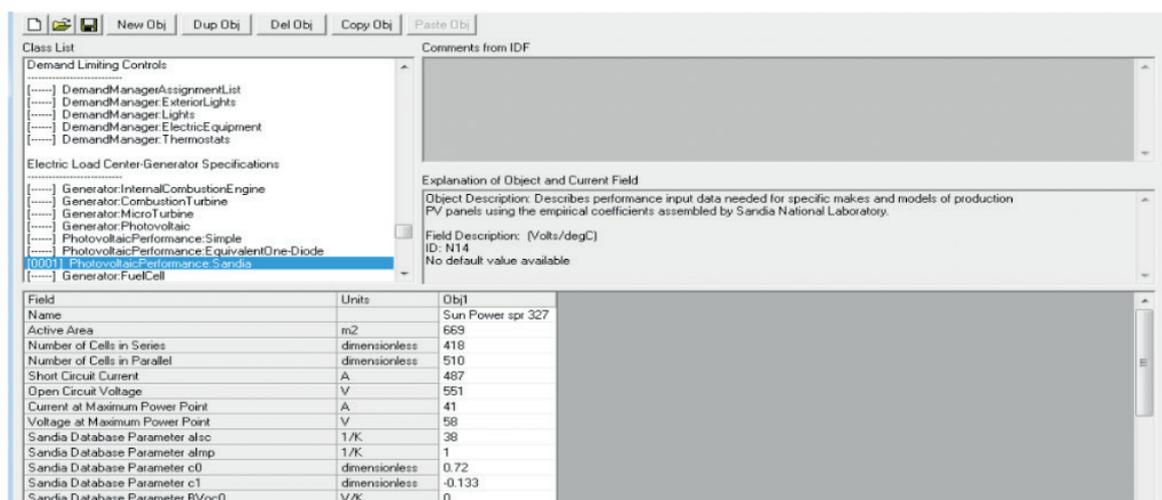


Figura 8 Configuração no EnergyPlus.

Para análise do desempenho do sistema fotovoltaico, foram consideradas as características térmicas, elétricas e ópticas dos módulos fotovoltaicos. Estas análises incluíram os resultados do modelo Sandia, segundo o qual são quantificadas as influências relacionadas ao ambiente externo e as variações físicas das células solares, utilizando métodos conforme experimentação de King, Boyson, Kratochvil .(2003). Neste experimento, foi possível comparar o consumo momentâneo das cargas elétricas com a produção fotovoltaica, associando o sistema solar fotovoltaico com a demanda de energia elétrica.

Na Tabela 5 é apresentado o resultado da simulação de balanço de energia, sendo o total de energia consumida pela edificação no ano (145.224 kWh) e a capacidade inicial de geração de energia do sistema fotovoltaico (72.612 KWp), Para atender 100% da edificação, o método deverá fazer a gestão da oferta das placas fotovoltaicas em 50%, buscando fornecer energia sempre que possível antes de importar da rede elétrica convencional. Desta forma a geração fotovoltaica atende em parte o consumo interno da edificação, privilegiando o horário no qual ocorre um maior consumo do sistema de refrigeração da edificação.

DESCRIÇÃO	RESULTADOS EM KWH
Consumo da Edificação	145.224
Oferta Sistema Fotovoltaico	72.612
Energia da Rede Elétrica	72.612

Tabela 5 – Simulação do balanço energético das cargas.

A simulação do balanceamento de carga do sistema fotovoltaico (FV) associado com o consumo de energia elétrica da edificação proporcionou resultados relevantes para o desenvolvimento de Sistema de Gestão de Energia em Edifícios Inteligentes

(SGEEI). Estes resultados permitirão criar um modelo de gestão inteligente do consumo e geração de energia alternativa com cálculos sistematizados da energia importada da rede elétrica quando a geração não é suficiente para abastecer a carga ou estimar a exportação de energia para a rede elétrica convencional, quando a geração é maior que o consumo da edificação.

5 | CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou formas de gerenciar as variáveis da oferta de energia do sistema fotovoltaico e o consumo de energia de uma edificação (Sistema de refrigeração, computadores e iluminação). Através de simulações, foi seguida a filosofia de um edifício inteligente, mediante análise e planejamento de um modelo de gestão de energia da FATEC SENAI Cuiabá-MT. O estudo proporcionou caracterizar a modelagem 3D da edificação identificando o potencial das placas fotovoltaicas, o balanço de energia elétrica entre o sistema fotovoltaico e a demanda interna.

No decorrer da simulação, evidenciou-se uma disposição climática da região de Mato Grosso, em proporcionar energia fotovoltaica. Esta simulação do sistema fotovoltaico, conectado a rede elétrica gerenciando o consumo interno, pode ser uma saída estratégica a fim de evitar grandes investimentos em um número maior de placas fotovoltaicas para autossuficiência dos edifícios. Considerando a oferta e a demanda do sistema de gestão da edificação, pode-se buscar soluções utilizando a energia do sistema fotovoltaico para preencher em parte a necessidade interna de consumo da edificação (145.224 kWh).

Para atender 100% da edificação, o método deverá fazer a gestão da oferta das placas fotovoltaicas que poderá gerar em média (50%) do consumo interno, buscando fornecer energia antes de importar outros 50% da rede elétrica, privilegiando horários nos quais ocorre um maior consumo do sistema de refrigeração da edificação.

Este método viabiliza a implantação do sistema FV em etapas, podendo aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais. Sendo assim, o uso do método para sistema de gestão de energia pode tornar-se uma importante estratégia para a filosofia dos edifícios inteligentes.

A utilização de recursos computacionais (Energyplus, SketchUp) possibilitou a simulação das fases de implementação do edifício inteligente, buscando a melhor forma de otimização de energia da rede elétrica, contribuindo assim para trabalhos futuros de cálculo de rentabilidade de um sistema de gestão de energia fotovoltaico conectado a rede de energia, utilizando técnicas da inteligência artificial.

Como trabalho futuro, pretende-se introduzir o estudo de viabilidade econômica da implantação deste sistema, considerando o tipo de tarifa que a FATEC SENAI – Cuiabá -MT paga para a concessionária local.

REFERÊNCIAS

- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10898:2013 – **Sistema de iluminação de emergência**. 2013.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 50001:2011 – **Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso**. 2011
- ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: Janeiro. 2016.
- CARLO, J.; PEREIRA, F.; LAMBERTS, R. **Iluminação Natural para Redução do Consumo de Energia de Edificações de Escritório aplicando Propostas de Eficiência Energética** 2004.
- DOE, 2007. Department of energy [online]. Available from: <http://www.energyplus.gov>. Acessado em janeiro 2016
- ENERGYPLUS-Software de Simulação **Energética de Edificações-Arquivos climáticos**. Disponível em: <https://energyplus.net/downloads> Acesso em: janeiro de 2016.
- Groupe de recherché en énergie solaire. **Guide solaire passif**. LESO EPFL, 1985.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia acesso em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> acessado em janeiro 2016
- J. D. Balcomb et al.,. **Expanding the SLR method**. Passive Solar J. de 1992
- KING, D. L., BOYSON, W. E., KRATOCHVIL J. A. **Photovoltaic Array Performance Model**. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM 87185, Novembro de 2003
- LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente consumo e geração de energia** – LabEEE, 2010.
- M. Bauer, J.-L. Scartezzini, 1998. **A simplified correlation method accounting for heating and cooling loads in energy-efficient buildings**. Energy and Buildings, 27(2) 147-154.
- M. Fels, 1986. PRISM: **An introduction**. Energy and Buildings, 9 (1-2), 5 -18.
- SALAMONI, I. T. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. 2004

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-086-5



9 788572 470865