

Geração solar fotovoltaica como proposta para redução do custo da energia elétrica de uma instituição de ensino superior

A energia solar é considerada uma fonte de energia limpa e renovável, pois utiliza a radiação solar para a geração de energia elétrica, diminuindo os impactos causados ao meio ambiente. Apesar de ainda ser considerada uma fonte de energia que necessita de altos investimentos, os custos para implantação de placas solares fotovoltaicas vêm diminuindo ao longo dos anos, o que tem possibilitado a ampliação do uso desta fonte de energia para os mais variados fins. O objetivo deste artigo é simular cenários para verificar o impacto da utilização de placas solares fotovoltaicas em uma Instituição de Ensino Superior (IES), com o intuito de gerar energia elétrica que supra parcialmente (50%) ou totalmente (100%) o consumo elétrico desta IES. Com isso, pretende-se identificar qual a economia financeira gerada pela adoção de placas fotovoltaicas. O método utilizado foi Dinâmica de Sistemas, o qual permite o estudo do comportamento dos sistemas ao longo do tempo, possibilitando a avaliação das consequências de nossas decisões. Foi desenvolvido um modelo de simulação que foi validado por três cenários diferentes. Os resultados gerados pelo modelo de simulação indicam que a implantação de placas solares fotovoltaicas para geração de energia elétrica é uma alternativa que proporcionará redução de gastos com energia elétrica a longo prazo.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; Dinâmica de Sistemas; Modelagem computacional.

Photovoltaic solar generation as a proposal to reduce the cost of electricity of a higher education institution

With the emergence of new conceptions about the exploitation of material resources and the reuse of existing items, society and government entities begin to act in a way that encourages and demands that companies work in a sustainable manner. In this way, organizations will use reverse logistics in their favor as a way of providing customer satisfaction and quality. This study aimed to conduct an opinion poll about Reverse Logistics according to the ideas and conceptions of citizens living in the city of Brejo Santo (CE). The study was an opinion poll, in which a questionnaire was applied whose sample was not probabilistic for convenience. As a result, it has been observed that reverse logistics has become a widespread idea in the midst of modern society, gaining increasing prominence among new conceptions of smart consumption. One of the answers obtained in this study was the fact that this work reeducation related to this theme and encourage society in general to direct their gaze to practices of sustainability and environmental preservation.

Keywords: Photovoltaic solar energy; System Dynamics; Computational modeling.

Topic: **Pesquisa Operacional**

Received: **12/04/2019**

Approved: **15/06/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Glauco Oliveira Rodrigues

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9943217673304581>
glauco10@redes.ufsm.br

Fernando Negrini

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7697487215421797>
glaucorodriguesp10@gmail.com

Wagner Eidt

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7467438397353087>
glaucorodriguesp10@gmail.com

Eugênio de Oliveira Simonetto 

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1853313255345200>
<http://orcid.org/0000-0001-7572-5338>
glaucorodriguesp10@gmail.com

Roni Storti de Barros 

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7439767866289846>
<http://orcid.org/0000-0002-1977-3551>
glaucorodriguesp10@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-684X.2019.002.0009

Referencing this:

RODRIGUES, G. O.; NEGRINI, F.; EIDT, W.; SIMONETTO, E. O.; BARROS, R. S.. Geração solar fotovoltaica como proposta para redução do custo da energia elétrica de uma instituição de ensino superior. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v.10, n.2, p.125-136, 2019.

DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-684X.2019.002.0009>

INTRODUÇÃO

A energia se constitui como um dos principais elementos da sociedade moderna e permeia todos os setores da sociedade - economia, trabalho, ambiente e relações internacionais - assim como as nossas próprias vidas - moradia, alimentação, saúde, transporte, lazer. Ela é necessária para a produção de bens com base em recursos naturais e para o fornecimento de serviços, a fim de atender às demandas de uma população cada vez maior. Conforme Hinrichs et al. (2014), o fornecimento de energia, de forma adequada e confiável, também é necessário para o desenvolvimento econômico, como foi observado na modernização do Ocidente, que passou de uma sociedade rural para outra, urbana e rica, através da utilização de modernas tecnologias firmadas em uma ampla série de avanços científicos, os quais foram energizados por combustíveis fósseis como fontes de energia.

A matriz energética mundial é composta por várias fontes primárias, dentre as quais se destacam petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio, energia hidráulica, energia solar, energia eólica, além da energia proveniente da biomassa. No entanto, apesar dessa diversidade, o consumo dos combustíveis fósseis, que são recursos não renováveis, prevalece sobre os demais (TORRES, 2012). Conforme descreve Braun-Grabolle (2010), a questão energética vem sendo considerada uma preocupação global, com crises no setor elétrico acontecendo de maneira frequente, e setores de energia de diferentes países passando por profundas transformações.

A crescente demanda de energia em todo o mundo propiciou que grande importância fosse associada à exploração de novas fontes de energia (PALZ, 2002; ALDABÓ, 2002). Para garantir uma segurança energética, é necessário que os países desenvolvam novas formas de geração de energia e tecnologias que promovam o acesso à eletricidade, como vem ocorrendo em países como Alemanha, Estados Unidos, Espanha, França, Itália e Japão, que estão desenvolvendo mecanismos para a redução da dependência de combustíveis fósseis, com a introdução de energias renováveis nos seus sistemas de fornecimento de energia (CARVALHO et al., 2017).

Conforme Angelis-Dimakis (2011), um exemplo de fonte renovável de energia é o sol, sendo possível a transformação direta da luz solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico. A geração de energia através da conversão de energia solar diretamente em energia elétrica realizada através de células fotovoltaicas apresenta como vantagem sua simplicidade, inexistência de qualquer peça mecânica móvel, sua característica modular, os curtos prazos para instalação previstos, o elevado grau de confiabilidade dos sistemas e sua baixa manutenção (NOGUEIRA et al., 2012).

Jannuzzi et al. (2013) defende que o uso e a disseminação das tecnologias de geração de energia solar fotovoltaica são opções viáveis por três fatores: alto custo da energia residencial, grande disponibilidade de radiação solar, e redução dos preços dos módulos e painéis solares. Apesar de as células solares continuarem relativamente caras, o seu preço caiu mais de 1000 vezes de 1950 até os dias atuais (HINRICHS et al., 2014).

Santos et al. (2013) cita estudos relacionados a utilização de energia solar fotovoltaica em instituições hospitalares em países como Irá, Iraque, Serra Leoa, Itália e Gana. Os resultados destes estudos indicaram que, com a introdução dos sistemas fotovoltaicos nos hospitais, ocorreram a redução dos custos de operações e a redução do consumo de energia fóssil.

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo simular cenários para verificar o impacto da utilização de placas fotovoltaicas em uma Instituição de Ensino Superior (IES), com o intuito de gerar energia elétrica, que supra parte ou total do consumo elétrico da IES. A partir desta perspectiva apresenta-se o seguinte problema de pesquisa: Qual a economia financeira gerada pela adoção de placas fotovoltaicas?.

A estrutura do artigo está dividida em cinco partes, organizadas de forma a congregarem todos os aspectos da pesquisa. Desta forma, a primeira parte contém a introdução, além da delimitação do problema de pesquisa e o objetivo. A segunda parte contém o método de pesquisa, com a identificação e descrição dos procedimentos que foram adotados na execução do trabalho. Na sequência, vem a revisão teórica, que apresenta as teorias, conceitos e estudos que balizaram a pesquisa, sendo abordados os pressupostos teóricos dos seguintes temas: 'Energia solar fotovoltaica' e 'Dinâmicas de sistemas'. Em seguida é apresentado o desenvolvimento e experimento do Modelo Computacional, e na última etapa estão as considerações finais, as quais estão alinhadas ao objetivo e problema de pesquisa propostos.

REVISÃO TEÓRICA

Energia Solar Fotovoltaica

Nesta parte será exposto um apanhado de trabalhos já realizados sob o tema em questão, no qual serão abordados os principais aspectos teóricos referentes à energia solar fotovoltaica e à dinâmica de sistemas, que irão fundamentar, proporcionar consistência e suporte às análises desenvolvidas no estudo. A utilização de energia solar é hoje prontamente associada a propostas de "energia limpa", juntamente com outras soluções que pretendem reduzir o impacto da geração de energia elétrica sobre o meio ambiente.

Neste contexto, a energia solar fotovoltaica surge como uma fonte de energia alternativa e renovável, pois utiliza a radiação solar para a geração de energia elétrica. De acordo com Hinrichs et al. (2014), as fontes renováveis de energia representam 8% da energia produzida no mundo, e essa porcentagem vem aumentando rapidamente, sendo a energia fotovoltaica a segunda fonte renovável com maior crescimento mundial, com 35% de crescimento por ano. Ainda segundo Hinrichs et al. (2014), os recursos energéticos renováveis apresentam vantagens em um mundo onde as fontes de energia estão cada vez mais limitadas, podendo serem utilizados em várias atividades, através de tecnologias apropriadas e com diminuição dos danos ambientais.

De acordo com Machado et al. (2015), produzir eletricidade através da energia solar não é algo novo, pois já em 1839, foi observado pelo físico francês Edmond Becquerel o efeito fotovoltaico, no qual duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade quando expostas à luz solar. Em 1883, foi construída a primeira bateria solar feita com folhas de selênio. Apesar de ter uma eficiência de conversão

elétrica de apenas 1%, seu dispositivo teve muita repercussão, pois as pessoas não acreditavam que se poderia gerar energia sem a queima de combustíveis. Já a primeira célula solar fotovoltaica foi desenvolvida em 1954 por uma empresa norte-americana (MACHADO et al., 2015; BRAUN-GRABOLLE, 2010).

Conforme Rütther (2004), através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não-poluente e renovável. Este processo consiste em um efeito fotoelétrico caracterizado pela produção de uma corrente elétrica entre duas partes de material diferente, que estão em contato e expostas à luz, o que proporciona a conversão da energia solar em energia elétrica (PALZ, 2002).

O funcionamento das células solares para a conversão direta da luz solar em energia elétrica é obtido através do uso de placas solares, constituídas de células solares, conforme explica Palz (2002). As células fotovoltaicas são agrupadas em um painel solar com o intuito de obter proteção e durabilidade, o qual será conectado em outros painéis em um sistema solar fotovoltaico. Este sistema é composto por elementos como os painéis solares, o inversor solar, o sistema de fixação das placas solares, os cabamentos, os conectores e outros materiais elétricos padrões, conforme o Portal Solar.

Silva (2008) argumenta que, uma desvantagem deste modo de geração de energia, é o alto investimento. Com isso, o retorno sobre o investimento é de longo prazo, o que provoca um certo desinteresse em sua utilização. Inicialmente as células solares fotovoltaicas tinham um custo elevado e eram utilizadas para a geração de energia para os satélites. Com o passar do tempo a tecnologia evoluiu e tornou-se viável economicamente sua utilização em aplicações terrestres (RÜDTHER, 2004).

De acordo com Silva (2008), para tornar economicamente viável o uso de energia fotovoltaica, diversos avanços científicos foram necessários, como, por exemplo, a utilização de novos materiais que elevaram a eficiência das células. De fato, ocorreram tantos avanços no desenvolvimento de geração de energia fotovoltaica, que já existem células com eficiências superiores a 40%, mesmo ainda não estando disponíveis no mercado.

Albadó (2002) afirma que, embora sejam utilizados na produção de células voltaicas diversos materiais, é o silício atualmente o mais utilizado. Tanto pelo domínio tecnológico que se tem sobre este material quanto pela abundância deste na natureza. Os custos, conforme descreve Hinrichs et al. (2014), vêm se tornando cada vez menores, o que tem causado a redução significativa nos custos de produção e por consequência dos investimentos necessários para implementação de sistemas solares fotovoltaicos.

Hinrichs et al. (2014) também destaca a variedade de aplicações que a tecnologia de geração de energia tem como, por exemplo: em centrais de geração elétrica, em residências, em iluminação externa, em comunicações, em bombeamento de água, em carregamento de baterias e em refrigeração, por exemplo. O sol é um dos elementos mais abundantes na natureza e essencial para a sobrevivência humana. Neste aspecto, conforme Santos et al. (2013), o Brasil está em posição privilegiada para explorar essa riqueza natural, por ter muito do seu território entre os trópicos, o uso de células fotovoltaicas é favorecido devido a maior incidência de irradiação solar diária por metro quadrado.

A utilização de células que convertem energia solar em energia elétrica é uma ótima alternativa de geração de energia, principalmente por ser uma fonte limpa causando menos danos ambientais. Mas conforme Rütther (2004), a viabilidade econômica do uso de painéis fotovoltaicos só se tornou possível devido à evolução das tecnologias de produção das células solares. A aplicação da energia solar fotovoltaica pode proporcionar benefícios - tanto econômicos quanto ecológicos - aos usuários em geral, ao sistema elétrico nacional e à sociedade (RÜTHER, 2004).

Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia relacionada ao pensamento sistêmico, que busca estudar as estruturas dos sistemas organizacionais e sociais por meio da representação das relações causais entre os seus elementos e por meio do estudo de sua evolução ao longo do tempo (FIGUEIREDO, 2009). Definição semelhante é dada por Bueno (2013), que conceitua dinâmica de sistemas (system dynamics) como

uma metodologia desenvolvida para rastrear as consequências de ações isoladas sobre o comportamento de variáveis que se encontram interligadas em malhas de feedback, em que as relações entre causas e consequências estão geralmente distanciadas no tempo, isto é, em que as variáveis se relacionam com defasagens temporais normalmente não captadas em nossos modelos mentais.

Figueiredo (2009) ainda afirma que a dinâmica de sistemas considera que a análise de uma situação pode ser realizada através de um ponto de vista externo ao sistema, e que a estrutura e os processos dinâmicos podem ser recriados em diagramas com utilização de simbologia e modelos matemáticos apropriados. O autor cita as principais vantagens na utilização desta metodologia: Investigar as relações entre macro e microestruturas e seus efeitos sobre o comportamento do sistema; Modelar e resolver problemas reais, incorporando fatores biológicos, físicos e econômicos; Melhorar o desempenho de um sistema via adição de 'insights' ou aprendizagem, aliado ao melhor uso dos recursos; Estudar os fluxos de material, informação e dinheiro dentro de estruturas econômicas; e Não ter um limite dos problemas que possa abranger.

Conforme Serra et al. (2000), o que a dinâmica de sistemas tenta fazer é compreender a estrutura de funcionamento dos sistemas, e assim, tentar prever, antecipar o comportamento que os sistemas produzem. Os autores afirmam que, de acordo com a literatura existente, os sistemas podem ser modelados tanto de forma qualitativa como quantitativa, o que difere são os instrumentos utilizados, sendo que "as descrições verbais e os diagramas causais são mais do tipo qualitativo, enquanto os diagramas de estoque, fluxo e as equações constituem formas quantitativas de representar a dinâmica de sistemas" (SERRA et al., 2000).

Desta forma, a metodologia de dinâmica de sistemas, através de diagramas de estoque, fluxo e equações, permite quantificar as relações entre os elementos do sistema e estudar o comportamento destes sistemas ao longo do tempo, auxiliando na tomada de decisões. Em função disso, o próximo capítulo apresentará o modelo computacional com utilização da metodologia de dinâmica de sistemas, contemplando as variáveis que interferem no problema de pesquisa, bem como os seus fluxos, conectores, auxiliares e estoque.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se por ser uma investigação de natureza exploratória, de abordagem quantitativa. Segundo Gil (2010), a pesquisa exploratória tem por finalidade ampliar o conhecimento a respeito de determinado fenômeno explorando uma determinada realidade. Para atingir o objetivo proposto pela pesquisa, utiliza-se o método Dinâmica de Sistemas, definido por Ford (2009) como uma combinação de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados.

A metodologia de dinâmica de sistemas permite o estudo do comportamento dos sistemas ao longo do tempo, possibilitando a avaliação das consequências de nossas decisões. Por essa razão e a necessidade de estudar os impactos da geração de energia solar em um horizonte temporal futuro decidiu-se utilizá-la na modelagem e simulação computacional (Vensim).

Dentre as ferramentas da Dinâmica de Sistema, utilizou-se a modelagem computacional, a qual é caracterizada por Andrade et al. (2006) como um conjunto entre o trabalho qualitativo (mapa sistêmico) que tem por objetivo analisar e capturar os dados, e um modelo quantitativo, no caso o modelo computacional, que necessita de técnicas do campo da Dinâmica de Sistemas para sua execução. A modelagem em Dinâmica de Sistemas consiste em representar os processos de um sistema. Para seu desenvolvimento, é necessário reconhecer os fluxos que convertem recursos em diferentes estados, o que implica conhecer o seu mapa sistêmico desenvolvido (ANDRADE et al., 2006).

A estrutura para a efetuação da modelagem é formada por dois componentes principais: os estoques e os fluxos. Ford (2009) define a modelagem em dinâmica de sistemas como uma combinação de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados. Os estoques referem-se às variáveis formadoras do modelo que são acumuladas no sistema real (ambiente de análise) e os fluxos são as funções de decisão ou políticas de um sistema.

Os dados primários para as variáveis de entrada do modelo foram coletados na instituição de ensino superior analisada nesta pesquisa, auxiliando na compreensão do consumo energético dela. Para a definição das variáveis componentes do modelo, foram realizadas entrevistas com *stakeholders* da instituição (para garantir maior fidedignidade ao estudo), bem como foram efetuadas observações sobre o consumo energético e levantamento bibliográfico em artigos e relatórios técnicos.

Formulação da Hipótese Dinâmica

Segundo Silva (2006), a hipótese dinâmica visa trabalhar a teoria do problema, analisando o seu comportamento e observando quais as variáveis fazem parte do sistema. O objetivo dessa etapa é formular uma hipótese que explique a dinâmica como consequência da estrutura interna do sistema por meio da interação entre as variáveis e os agentes representados no modelo, incluindo regras de decisão (STRAUS, 2010). Assim, a hipótese dinâmica do modelo de dinâmica de sistemas deste trabalho é definida como sendo: a inserção de placas coletoras de energia solar influencia diretamente a redução do consumo de energia

elétrica da IES, por sua vez, influenciando na economia de energia elétrica decorrente da utilização de energia alternativa e mais sustentável.

Desenvolvimento e Experimento do Modelo Computacional

O estudo foi realizado em uma IES localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul. As informações usadas no experimento foram fornecidas pela Pró-Reitoria de Infraestrutura (PROINFRA) da instituição e foram extraídas das faturas de energia do seu principal campus abrangendo o período total de 36 meses. Para se chegar aos valores utilizados no modelo, foi necessária a tabulação dos dados fornecidos pela IES parceira do estudo em uma planilha do MS Excel. Posteriormente eles foram organizados de forma a entender as relações matemáticas ocorridas entre eles.

Devido à complexidade dos cálculos, que se deve pela grande quantidade de elementos que compõem uma fatura de energia (abrangendo desde a cobrança de tributos, até alguns descontos legais específicos concedidos nos pagamentos realizados por instituições da administração pública federal) optou-se pela simplificação do modelo. Assim seus elementos e as relações ocorridas entre eles são representados graficamente na figura 1.

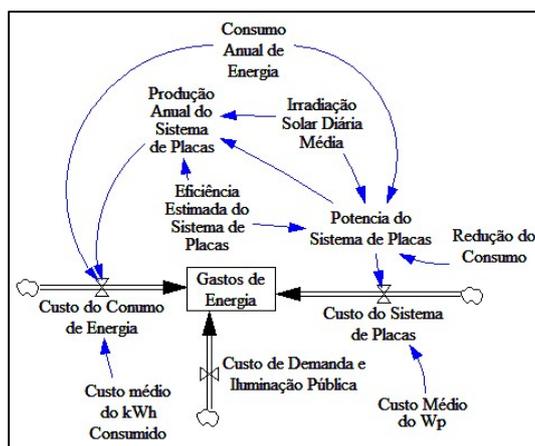


Figura 1: Modelo de simulação desenvolvido.

O Custo de Demanda e Iluminação Pública representa o agregado de valores que na fatura de energia não são afetados pelo Sistema de Placas. Ele se caracteriza por ser constante, que, em tese, não se alteraria, salvo se houver uma mudança em um dos seus componentes de cálculo. O valor definido nesta constante foi de R\$3.438.291,26. No seu cálculo considerou-se o contratado de demanda de ponta e de demanda fora de ponta, as tarifas cobradas pela concessionária no mês de junho de 2018 (aplicando-se a tributação média do PIS, do COFINS e do ICMS dos últimos 12 meses), as retenções obrigatórias correspondentes a Lei nº 10.833/2003 e a contribuição de iluminação pública mensal, seus valores são discriminados na tabela 1.

Tabela 1: Dados utilizados para formar o valor do Custo de Demanda e Iluminação Pública.

Constantes	Valor
Contratado de demanda de ponta	3mW
Contratado de demanda fora de ponta	5mW
Tarifa pelo kW contratado - demanda de ponta	R\$32,28
Tarifa pelo kW contratado - demanda fora de ponta	R\$21,67
Total de retenções obrigatórias (10.833/2003)	9,45%
Tarifa de contribuição de iluminação pública	R\$163,00

O Custo Médio do kWh Consumido é uma das constantes que ajudam a formar o Custo do Consumo de Energia Anual. O valor definido para esse componente na simulação foi de R\$0,55717431. Para determinar o valor do kWh consumido pago pela IES na simulação foi considerado: o consumo anual de energia de ponta e fora de ponta, as tarifas cobradas pela concessionária no mês de junho de 2018 (aplicando-se a tributação média do PIS, do COFINS e do ICMS dos últimos 12 meses), total de dias de bandeira verde, amarela, vermelha I e vermelha II de ponta e fora de ponta, fator de potência médio de ponta e fora de ponta, (últimos 12 meses), fator mínimo de potência estabelecido pela ANEEL e as retenções obrigatórias correspondentes a Lei nº 10.833/2003.

Tabela 2: Dados utilizados para formar o valor do Custo Médio do kWh Consumido.

Constantes	Valor
Consumo anual de ponta	1.406.669,11kWh
Consumo anual fora de ponta	14.413.877,33kWh
Tarifa do kWh de ponta consumido	R\$0,45257
Tarifa do kWh fora de ponta consumido	R\$0,28266
Tarifa de transmissão do kWh de ponta	R\$0,06167
Tarifa de transmissão do kWh fora de ponta	R\$0,06167
Adicional bandeira amarela por kWh consumido	R\$0,01000
Adicional bandeira vermelha I por kWh consumido	R\$0,03000
Adicional bandeira vermelha II por kWh consumido	R\$0,05000
Tarifa de consumo do kWh reativo	R\$0,29682
Total de dias de bandeira verde de ponta	118,17689
Total de dias de bandeira verde fora de ponta	118,67741
Total de dias de bandeira amarela ponta	90,78239
Total de dias de bandeira amarela fora de ponta	89,73265
Total de dias de bandeira rosa ponta	93,04072
Total de dias de bandeira rosa fora de ponta	93,58993
Total de dias de bandeira vermelha ponta	63,00000
Total de dias de bandeira vermelha fora de ponta	63,00000
Fator mínimo de potência estabelecido pela ANEEL	92,00%
Fator de potência médio de ponta	90,36%
Fator de potência médio fora de ponta	90,24%
Total de retenções obrigatórias (10.833/2003)	5,85%

O Consumo Anual de Energia é o segundo dos três componentes que integra o cálculo do Custo do Consumo de Energia Anual. Diferentemente dos outros dois elementos anteriormente citados, buscou-se aqui uma perspectiva maior de tempo: 36 meses. Ao atestar-se uma sazonalidade anual no consumo de energia, foi feito um comparativo dos últimos três ciclos (anos) para verificar se havia uma tendência de crescimento do consumo. Descartada a hipótese, achou-se por bem fazer uma média anual para obter-se esse valor, adotando-o assim consumo padrão, isto é, 15.820.546,44kWh/ano.

A unidade de medida usada para medir o Potencial do Sistema de Placas fotovoltaicas é o Watt-pico (Wp), são também admitidos utilizar seus múltiplos como quilowatt-pico (kWp) e megawatt-pico (MWp). Para se estabelecer Custo Médio do Wp realizou-se uma pesquisa de mercado, buscando-se o melhor custo-benefício dos kits de produção de energia fotovoltaicas. Optou-se pelo kit que oferecia a potência de 15,6kWp, custando R\$64.390,00. Foi agregado a esse valor o frete estimado (3,5%), o valor do projeto estimado (7%) e valor da instalação (30%) totalizando R\$90.467,95. O que resultou um valor de R\$5,79922756 por Wp. A Eficiência Estimada do Sistema de placas foi arbitrada em 83%, o valor é a taxa de eficiência padrão para um projeto.

Para definir a Irradiação Diária Solar Média foram considerados os dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESCESB, 2018) usando-se as coordenadas da IES. Para fazer a média ponderada entre as irradiações mensais e seus números de dias correspondentes de cada mês, utilizou-se o plano horizontal (0° N), sem inclinação, o que totalizou 4,47287671kWh/m².dia. Os dados citados acima estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3: Dados utilizados para alimentar os cenários.

Constantes	Valor
Custo de Demanda e Iluminação Pública	R\$3.438.291,26
Tarifa do Kwh consumido	R\$0,55717153
Consumo Anual de Energia (kWh)	15.820.546,44
Custo do kWp	R\$5,79922756
Eficiência Estimada do Sistema de Placas	83%
Irradiação Solar Diária Estimada (kWh/m ² .dia)	4,47287671

Estabelecidas as constantes do modelo, buscar-se-á esclarecer as relações matemáticas entre os demais elementos não expostos até então. O Custo do Sistema de Placas (A) é o total de investimentos necessários para implementação do projeto fotovoltaico proposto. Para se definir esse valor leva-se em consideração a Potência do Sistema de Placas (B) e o Custo Médio do Wp (C). Por sua vez, a Potência do Sistema de Placas (B) depende Eficiência Estimada do Sistema de Placas (D), Irradiação Solar Diária Média (E) e a Redução do Consumo (F) esperada.

Até então dois elementos de causa do Custo do Consumo de Energia (G) foram apresentados: Consumo Anual de Energia (H) e Custo Médio do kWh Consumido (I). A Produção Anual do Sistema de Placas (J) é o componente faltante, que depende da Irradiação Solar Diária Média (E), Eficiência Estimada do Sistema de Placas (D) e a Potência do Sistema de Placas (B). E por último temos Gastos de Energia (K) acumulados, que é a soma do Custo do Sistema de Placas (A), Custo de Demanda e Iluminação Pública (L) e Custo de Consumo de Energia (G) anual. Abaixo segue as equações matemáticas abastecidas pelas constantes já apresentadas.

Quadro 1: Modelo de Equações.

Custo do Sistema de Placas (A) = B*C
Potência do Sistema de Placas (B) = (F*H)/(E*D*365)
Produção Anual do Sistema de Placas (J) = E*B*D*365
Custo do Consumo de Energia (G) = (H-J)*I
Gastos de Energia (K) = A+L+G

Por fim, variando os valores de Redução do Consumo, foi possível gerar alternativas de cenários de produção de energia fotovoltaica, em um panorama de quinze anos. Decidiu-se por escolher três cenários. O primeiro representa o atual sistema, ele é chamado de Cenário Atual (0%) em que não há investimentos em produção de energia fotovoltaica. O segundo, chamado Cenário Placas 50%, simulará a primeira proposta de implementação do sistema de placas, havendo o investimento equivalente à metade da produção da energia anual consumida pela IES. O último, Cenário Placas (100%), simulará o acúmulo dos Gastos de Energia quando suprido o consumo anual de energia pela produção dos painéis fotovoltaicos. Na próxima sessão, será apresentado o resultado do experimento computacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a definição das equações, do horizonte de tempo das projeções e dos cenários propostos. O modelo proposto foi executado em uma simulação no software Vensim. Para experimentação no software foi utilizado um computador com processador Pentium Core i5 e 8Gb de memória RAM. O tempo de execução da simulação foi na ordem de centésimos de segundos. Para este artigo interessou apenas o efeito nos Gastos de Energia resultantes das decisões de investimentos em energia fotovoltaica da IES. A figura 2 faz o comparativo da evolução do acúmulo dos gastos nos cenários e no horizonte de tempo propostos.

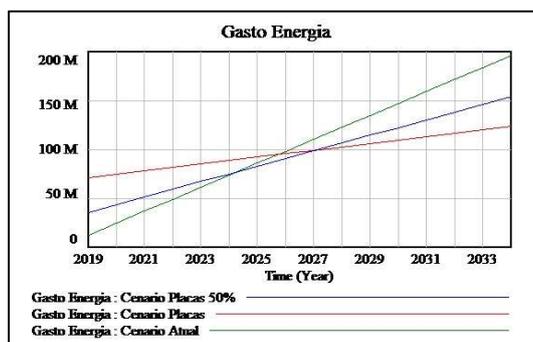


Figura 2: Gasto de Energia.

Comparando os três cenários da simulação, verifica-se que o Cenário Placas, embora apresente o maior custo inicial (R\$67.607.000,00), é o que acumula menor gastos com energia elétrica (R\$123.590.000,00) ao final do período. O Cenário Placas 50%, embora apresente menor acúmulo de gastos (R\$153.693.000,00), se comparado ao Cenário Atual (R\$196.048.000,00), não supera a redução dos gastos proporcionada pelo cenário mais favorável. Deve-se salientar que a implementação do projeto que fornece 50% do consumo de energia tem-se um custo inicial de R\$33.853.000,00.

Espera-se que ao aplicar no sistema de placas, haja uma reversão no acúmulo dos gastos de energia elétrica. Quanto maior a redução dos gastos, maior será a necessidade de investimentos iniciais. Ao mesmo tempo percebe-se que quanto maior o investimento inicial, maior também será o tempo necessário para superar o Cenário Atual. Por exemplo, é somente por volta do ano de 2027 que se pode esperar que o Cenário Placas iguale o acúmulo de gastos que o Cenário Atual. Ao passo que, muito antes, entre 2024 e 2025, o Cenário Placas 50% já reverte o acúmulo dos gastos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A administração pública brasileira vive um contingente de sucessivos cortes orçamentários, no qual órgãos e instituições públicas se veem pressionadas a reduzirem seus custos operacionais a fim de se enquadrarem em seus respectivos orçamentos. Diante deste cenário de recursos escassos, ações que cortem ou diminuam despesas tendem a ser mais valorizadas, uma vez que estão se tornando uma necessidade. Se considerarmos que o consumo de energia total da IES pode ser suprido na íntegra pela implementação de um projeto fotovoltaico, a opção de investimento em energia solar pode ser uma alternativa para a redução dos gastos com o consumo de energia elétrica.

Juntamente com tecnologias de geração de energia eólica, geotérmica e maremotriz, a energia solar tem sido vista com bons olhos pelo menor impacto ambiental causado. Muito embora haja, por exemplo, impactos na extração e processamento do silício (componente dos painéis), depois de instaladas, as placas não geram poluição e impactos negativos ao meio ambiente.

Ao longo do tempo, o custo da energia fotovoltaica vem baixando, sua popularização vem permitindo que o mercado pratique preços mais acessíveis sucessivamente. Apesar da redução do preço, os custos de implementação de projetos que utilizam essa tecnologia continuam exigindo altos investimentos para se concretizar.

O presente estudo propôs-se, usando da simulação, projetar três cenários para avaliar o impacto financeiro que um possível projeto de placas fotovoltaicas poderia ocasionar na IES. A validação do modelo foi feita usando os dados fornecidos pela própria IES. Devido à complexidade dos cálculos para definição dos valores da fatura de energia achou-se conveniente simplificar o modelo, deixando de lado nos cálculos e nas representações gráficas os impostos, as retenções ou quaisquer acréscimos de bandeiras amarela, vermelha I e vermelha II.

Do ano 2019 até o ano de 2024, o Cenário Atual, ou seja, sem a implantação de placas fotovoltaicas, é o que oferece o menor gasto com energia elétrica. A partir do ano de 2027, o Cenário Placas, isto é, com 100% energia elétrica consumida produzida pelo projeto solar, é o que proporciona a menor despesa com energia elétrica. Neste ínterim, o mais favorável dos cenários é o que representa a implementação parcial (50%) da produção dos kWhs consumidos na instituição, o Cenário Placas 50%.

Avaliando os cenários, apesar do alto valor inicial do investimento, a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica parece ser economicamente sustentável, quer seja produzindo 50% ou 100% da energia consumida na instituição. Este trabalho teve como limitação a não consideração de fatores como o custo de manutenção do sistema de placas, a projeção de possíveis aumentos nas tarifas de energia, e se for o caso, o custo de financiamento do projeto. Como sugestões de estudos futuros, sugere-se considerar tais fatores na simulação de cenários para avaliar o impacto financeiro que a implantação de um projeto de energia fotovoltaica teria em uma IES, obtendo-se assim conclusões mais precisas.

REFERÊNCIAS

ALBADO, R.. **Energia solar**. São Paulo: Artliber, 2002.

ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R.. **Pensamento Sistêmico**: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre, Bookman, 2006.

ANGELIS-DIMAKIS, A.. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v.15, n.2, p.1182-1200, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.049>

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

BUENO, N. P.. Identificando mudanças de regimes sistêmicos em processos econômicos: um procedimento baseado na abordagem de dinâmica de sistemas. **Economia e Sociedade**, Campinas, v.22, n.1, p.77-106, 2013.

CARVALHO, F. I. A.; ABREU, M. C. S.; CORREIA NETO, J. F.. Financial alternatives to enable distributed microgeneration projects with photovoltaic solar power. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v.18, n.1, p.120-147, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-69712017/administracao.v18n1p120-147>

FIGUEIREDO, J. C. B.. Estudo da difusão da tecnologia móvel celular no Brasil: uma abordagem com o uso de Dinâmica de Sistemas. **Produção**, v.19, n.1, p.230-245, 2009.

FORD, A.. **Modeling the environment**. 2 ed. Washington: Island Press, 2009.

GIL, A. C.. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B.. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

JANNUZZI, G. M.; MELO, C. A.. Grid-connected photovoltaic in Brazil: policies and potential impacts for 2030. **Energy for Sustainable Development**, v.17, n.1, p.40-46, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.10.010>

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S.. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.1, p.126-143, 2015.

NOGUEIRA, C. E. C.; SOUZA, S. N. M.. **Aproveitamento de energia solar para produção de eletricidade**. In: SANTOS, R. F.; SIQUEIRA, J. A. C.. **Fontes renováveis de energia**. Cascavel: EDUNIOESTE, 2012.

PALZ, W.. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 2002.

RÜTHER, R.. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SANTOS, J. B.; JABBOUR, C. J. C.. Adoção da energia solar fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais. **Saúde Social**, São Paulo, v.22, n.3, p.972-977, 2013.

SERRA, F.; RODRIGUES, H.; PAQUETE, B. Dinâmica de Sistemas: Uma Aplicação ao Estudo dos Ecossistemas. O Caso de uma População de Gamos (damadama) no Parque Nacional de Doñana. **Dos Algarves**, n.7, 2000.

SILVA, A. N. M.. **Sistema de Conversão de Energia Solar Fotovoltaica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Automação) - Universidade do Porto, Porto, 2008.

TORRES, R. C.. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.