

Simulação de sistema fotovoltaico para o setor comercial

Simulation of photovoltaic systems for commercial sector

Patrícia de Andrade Paines¹

Luciano Vignochi²

Osmar Possamai³

Resumo

A energia solar é uma das fontes alternativas e renováveis que possibilita o abastecimento da rede elétrica em pequena e larga escala. O processo de geração de eletricidade via radiação solar pode ser para utilização doméstica em escalas individuais, como também no setor energético comercial em larga escala como usinas solares. Este artigo propõe um estudo da viabilidade econômica de implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico para o setor comercial na cidade de Florianópolis/SC. Para tanto, o objetivo principal é demonstrar por meio de simulação sob diferentes cenários, os recursos viáveis na utilização de fontes renováveis para a redução de custos com eletricidade e tempo de retorno de investimento na instalação de sistemas fotovoltaicos integrados a rede de distribuição em edificações comerciais. Para a análise dos cenários propostos foram recolhidos dados de fontes de informações científicas e meteorológicas. Através do auxílio da ferramenta de cálculo *Microsoft EXCEL* é possível facilmente avaliar o consumo de energia, custos de aquisição e tarifas de energia elétrica; e estimar o tempo de retorno do investimento no setor comercial. A simulação de Simulação Fotovoltaica para o setor permite investigar os dados de consumo e avaliar o perfil de uso da edificação através do desempenho de sistemas, como a redução de custos em iluminação e condicionamento de ar.

Palavras-chave: Simulação Solar. Viabilidade Econômica. Sistema Fotovoltaico. Setor Comercial.

Abstract

Solar energy is one of the alternative and renewable sources that makes it possible to supply the electricity grid in small and large scale. The process of generating electricity via solar radiation can be for domestic use on individual scales, as well as in the commercial energy sector on a large scale as solar power plants. This paper proposes a study of the economic feasibility of implementing a photovoltaic solar energy system for the commercial sector in the city of Florianópolis / SC. In order to do so, the main objective is to demonstrate through simulation under different scenarios the viable resources in the use of renewable sources for the reduction of costs with electricity and time of return of investment in the installation of photovoltaic systems integrated to the distribution network in commercial buildings. For the analysis of the proposed scenarios, data were collected from sources of scientific and meteorological information. Through the help of the Microsoft EXCEL calculation tool, it is possible to easily assess the energy consumption, acquisition costs and electricity tariffs; And estimate the time of return of investment in the commercial sector. The simulation of Photovoltaic Simulation for the sector allows to investigate the data of consumption and to evaluate the profile of use of the building through the performance of systems, like the reduction of costs in lighting and air conditioning.

Keywords: Solar Simulation. Economic Viability. Photovoltaic System. Commercial Sector.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
paines_sm@hotmail.com

² Universidade do Vale do Itajaí
Programa de Pós-Graduação em Administração
lvignochi1@gmail.com

³ Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
osmarpossamai@gmail.com

1 Introdução e problematização

A energia fotovoltaica é uma das formas de geração de energia elétrica proveniente do Sol e maior fonte de energia renovável finita existente e não poluente (Jacobson & Delucchi, 2011). Sua utilização visa o desenvolvimento sustentável, o incentivo à utilização racional de fontes renováveis, assim como busca eficiência energética por meio de ações corretivas e introdução de novas tecnologias sustentáveis (Silva, 2013).

Um estudo recente de Rose, Stoner e Arriaga (2016) mostra que o custo de implantação de sistema de geração solar fotovoltaica é de 50 vezes maior que o custo de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Mas, levando-se em consideração a energia gerada durante a vida útil do Sistema Fotovoltaico (SF) – cerca de 30 anos – o custo de energia entregue ao consumidor diminui 10 vezes para sistemas isolados e 3 vezes para geração interligada à rede elétrica (Shayani, Oliveira, & Camargo, 2006).

Com a evolução da produção mundial de energia elétrica de outras fontes renováveis, tais como eólica, biomassa e hídrica, assim como as novas inovações tecnológicas de Painéis Fotovoltaicos (PF's), o sistema solar tenderá tornar-se economicamente competitivo no mercado.

O SF *on grid* é um gerador de eletricidade que tem como combustível a energia solar e que trabalha em conjunto com a rede elétrica da distribuidora de energia. Possibilita operar e amenizar o sistema de distribuição local, proporcionando a energia gerada excedente seja injetado à rede pública. Caso a energia gerada for inferior à demanda, o sistema é suprido pela rede de distribuição da concessionária local interligada (Sace, 2010).

O processo de instalação do SF pode ser totalmente integrado à arquitetura do telhado da edificação, apresentado a vantagem de não necessitar de uma área extra, o que facilita sua implan-

tação em centros urbanos e próximo aos pontos de consumo. Há a possibilidade de não uso de acumuladores de energia (baterias), reduzindo em cerca de 30% o custo inicial de instalação. Deste modo, o sistema *on grid* pode adquirir uma importância acentuada na produtividade e distribuição de energia elétrica, sendo interligado à rede elétrica de baixa e média tensão em edificações isoladas. Na Figura 1 é possível observar a ligação simplificada do SF interligado à rede elétrica.

O funcionamento do sistema de energia solar fotovoltaica inicia-se pelo painel solar exposto a luz do sol que produz energia elétrica a partir da energia fotovoltaica. Os painéis solares são conectados uns aos outros. Sucessivamente, são conectados a um inversor solar, que tem a função de converter a energia solar dos seus painéis fotovoltaicos em energia elétrica, isto é, converte a Corrente Contínua (CC) em Corrente Alternada (AC) para ser utilizado por quaisquer utensílios e equipamento elétrico.

O excesso de eletricidade que não é consumida volta para a rede elétrica da distribuidora através do relógio de luz (medidor) contabilizando a energia injetada na rede e gerando créditos de energia para ser utilizada a noite ou dias sem luz solar, sucessivamente, reduzindo o custo da conta de energia elétrica fornecida pela distribuidora.

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica no setor comercial, vários métodos de simulação de consumo são utilizados em grandes escalas para melhorar a eficiência energética das edificações, problemas inerentes ao custo da produção de energia e a dependência de combustíveis fósseis (Tozzi & Jo, 2017). A facilidade de acesso de informações meteorológicas disponível possibilita potencializar a motivação no estudo de sistemas de simulação de consumo de energia elétrica para o dimensionamento adequado e uso de tecnologias de energia solar em edificações comerciais (Bahadori & Nwaoha, 2013).

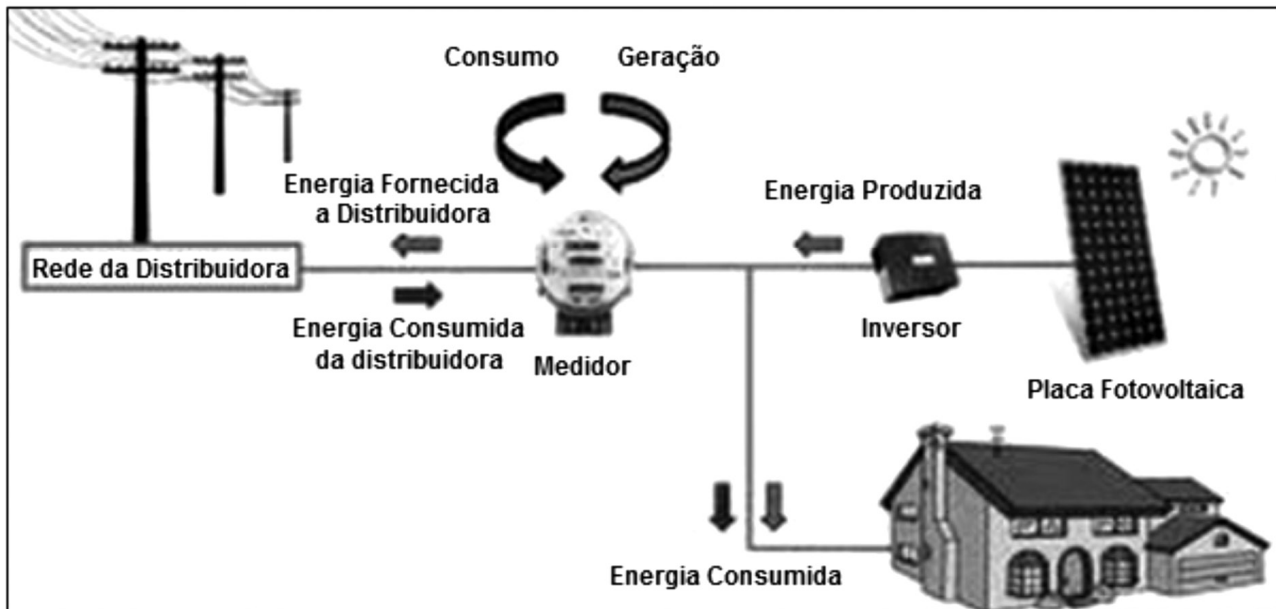


Figura 1: Sistema de energia Solar Fotovoltaico conectado à rede elétrica da distribuidora

Fonte: Empresa (2016).

Uma das principais vantagens na captura de energia solar em relação a qualquer outra fonte alternativa, ecológica e energética, é a viabilidade econômica quanto à redução no consumo de eletricidade da unidade de transmissão e distribuição de energia local, embora o alto custo da tecnologia e implementação da energia solar na rede de distribuição tradicional (Bahadori & Nwaoha, 2013). Os principais desafios técnicos são de construção de unidades de PV integrado e de sistemas de utilidade, por exemplo, sistemas de água quente solar e produção de eletricidades, assim como, os desafios não técnicos que envolvem questões de conscientização, políticas governamentais e opções de financiamento (Sindhu, Nehra, & Luthra, 2016).

Por esta razão estabelecer um sistema de simulação de diferentes cenários de consumo e custo de energia pelos aparelhos eletrônicos em uso em cada intervalo de tempo visa à viabilidade econômica na instalação de sistemas fotovoltaicos integrados a rede de distribuição para edificações comerciais públicas e privadas.

1.1 Objetivos e perguntas de investigação

O objetivo geral do trabalho é demonstrar uma sistemática de simulação de consumo de energia elétrica a partir de uma matriz de usos de equipamentos eletrônicos em edificações comerciais, assim como, o índice de insolação disponível no local e o dimensionamento de sistema fotovoltaico de produção de eletricidade apropriado para qualquer edificação do setor comercial. As perguntas de investigação para a busca de respostas são:

P1: Quais os equipamentos eletrônicos e seus respectivos consumos de energia por hora durante o período comercial e não comercial, assim como, os dias comerciais e não comerciais na edificação?

Descrevendo o consumo de eletricidade dos equipamentos eletrônicos na edificação e auxílio da ferramenta *Microsoft Excel* para cálculos e análises comparativas, pode-se avaliar os diferentes cenários através da si-



mulação e modelagem de consumo de eletricidade real e de geração de energia renovável.

P2: Como usar as informações disponíveis e dados prévios de insolação no dimensionamento de sistemas de produção de energia fotovoltaica?

Antes da problemática constatada, isto é, o tempo de retorno de investimento na implantação de um SF em edificações comerciais, é necessário identificar e tratar os dados utilizados para resolver as tarefas propostas. Além disso, é importante saber como gerenciar a enorme quantidade de informações meteorológicas, combinando informações de diferentes origens para a modelagem do cenário real e demonstrar a viabilidade econômica de implantação de SF's, ou simplesmente, a simulação do consumo de energia elétrica para o controle e redução de custos com energia da distribuidora no local.

1.2 Enfoque Metodológico de pesquisa

O objetivo da pesquisa centrou-se na demonstração e simulação do consumo de energia em edificações comerciais realizado por equipamentos eletrônicos; e o dimensionamento de SF para produção de eletricidade a partir da fonte de energia solar alternativa, renovável e não fóssil. O estudo proposto visa propor uma alternativa economicamente viável através da simulação e avaliação de consumo para a predição de custos com a eletricidade da rede, assim como, associá-la à viabilidade no dimensionamento e implantação de SF's no setor comercial.

A metodologia utilizada implica no levantamento dos dados de consumo de energia na edificação comercial e dados de insolação no local de instalação de um SF conectado a rede de transmissão tradicional; seleção de edificações do setor comercial; e tratamento dos dados para obtenção

dos índices de uso da energia em quilowatt-hora por dia, mês e ano pelo método de modelagem do cenário real e análises estatísticas.

1.3 Motivação e justificativa de pesquisa

A implantação e investimentos em sistemas de produção de elétrica a partir de recursos naturais e renováveis visa contribuir a minimização de impacto, em grande escala, em três bases fundamentais: ambiental, social e econômica (Aman et al., 2015).

A principal motivação inerente à base ambiental é o incentivo a boas práticas ambientais por entidades públicas e privadas. A motivação inerente à base social é priorizar a sensibilização e consciencialização da conservação de energia por forma a garantir as suas necessidades. E a motivação inerente à base econômica é os investimentos e incorporações de unidades de produção de energia elétrica em edificações públicas e privadas integradas a redes de distribuição.

Com o auxílio da ferramenta *Microsoft Excel 10*, é possível prever, analisar e comparar os diferentes cenários quanto ao perfil de consumo em termos de energia, custos, produção, valorizações e tarifas equivalentes em edificação comercial.

2 Referencial teórico

Esta seção apresenta os principais conceitos utilizados nesse artigo com base na literatura referente a dois temas principais: Sistema fotovoltaico e o Consumo de energia no setor comercial.

2.1 Sistema fotovoltaico

A geração de energia por sistemas fotovoltaicos se dá pela transformação direta e instantânea de energia solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico e sem a utilização da demanda

de combustíveis fósseis (Brito, 2008). Possui como vantagens a geração de energia limpa e distribuída, ou seja, sem perdas de transmissão e distribuição. Não necessita de combustíveis fósseis durante o processo de funcionamento, possui vida útil estimada em 30 anos e de fácil instalação, bem como poder ser sistema modular de montagem e manutenção. O estímulo de custos é inexistente a manutenção e substituição de módulos, assim como a reciclagem de todos os componentes de produção de PF's, estudos disponíveis e atualizados diariamente no Portal Energia & Renováveis (2016).

Entretanto, a fabricação dos PF's é utilizada uma grande quantidade de energia e liberação de poluentes, propiciando um custo inicial de investimento elevado devido à tecnologia empregada e geração de potência variável, pois dependem da radiação incidente no local, inclinação, orientação e sombreamento dos PF's. Seu rendimento de conversão é baixo e em sistema isolados há necessidade de banco de baterias para o armazenamento de energia (Assunção, 2010).

No SF *on-grid*, apesar das desvantagens de fabricação dos PF's e do baixo rendimento de conversão, o sistema *on-grid* permite dispensar a utilização de banco de baterias e controladores de carga, assim como, possibilita ao consumidor adquirir créditos de energia que podem ser usados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário e as vantagens de longo prazo, tais como benefícios econômicos e eficiência energética e ambiental.

Tozzi e Jo (2017) ressaltam que os modelos e ferramentas desenvolvidos para energia renovável são usados principalmente, para avaliar, analisar e otimizar o impacto potencial de energia, o custo de tecnologias de energia renovável e eficiência energética. O modelo de simulação de cenários propicia simular o consumo de energia com configurações definidas pelo usuário.

Com o auxílio da ferramenta de cálculo *Microsoft Excel 10*, é possível prever, analisar e comparar os diferentes cenários quanto ao perfil de consumo em termos de energia, custos, produção, valorizações e tarifas equivalentes em edificação comercial (Costa, 2014).

2.2 Análise do consumo de energia no setor comercial

Em nível nacional, parte do consumo total de energia é atribuída ao setor comercial, terceiro maior setor em termos de consumo energético da matriz energética e maior contribuinte na emissão de gases de efeito estufa no país (Empresa, 2016). A participação de edifícios comerciais no consumo total de energia é de difícil mensuração. A diversidade da tipologia das construções dificulta a identificação do perfil de uso, desempenho, eficiência e a elaboração de simulações de consumo de energia da instalação ajustável à geração fotovoltaica.

A elaboração de simulações com base em dados reais é de suma importância para comparação e avaliação com o perfil de edificações similares. Sendo assim, a Tabela 1 mostra o consumo de energia em GWh em cada região e classes consumidoras do território brasileiro em 2015/2016.

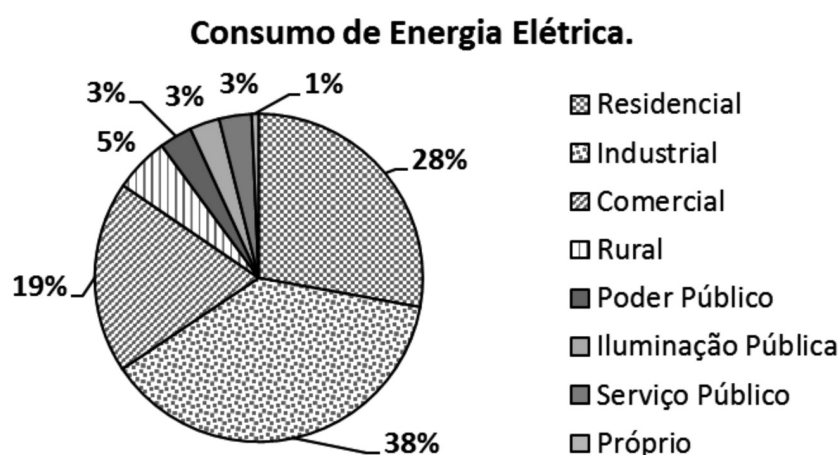
Observa-se que as classes residencial, industrial e comercial são as três principais consumidoras de energia do país, sendo o setor industrial o maior consumidor de energia elétrica em todas as regiões, conforme o anuário de 2015/2016. A Figura 2 mostra os três setores de maior representatividade do consumo de energia no Brasil (GWh), com 38% o setor industrial, 28% o setor residencial e seguido em terceiro lugar o setor comercial com 19% em relação ao consumo de energia total em 2015/2016.

No Brasil, o perfil de consumo de energia do setor comercial visa caracterizar a forma de uso e ocupação das edificações tais como *shopping centers*, hipermercados, hospitais, escritórios, bancos

Tabela 1: Consumo energia por região geográfica e classe (GWh) no Brasil

Anuário 2015/2016	Regiões					Consumo (GWh)
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-oeste	
Residencial	8.474	25.496	66.458	21.278	10.692	132.398
Industrial	14.830	26.990	95.957	32.569	9.271	179.617
Comercial	4.723	13.508	48.980	15.402	7.227	89.840
Rural	826	4.798	8.188	9.014	2.845	25.671
Poder Público	1.746	3.380	6.696	1.856	1.677	15.355
Iluminação Pública	908	3.199	6.113	2.313	1.510	14.043
Serviço Público	635	3.149	8.612	1.744	1.101	15.241
Próprio	222	226	2.119	641	57	3.265
TOTAL	32.364	80.746	243.123	84.817	34.380	475.430

Fonte: EPE (2016).


Figura 2: Consumidores de eletricidade no Brasil

Fonte: Empresa, 2016.

e entres outros centros de varejo. A avaliação de desempenho e eficiência energética de uma edificação visa mensurar e comparar os processos de trabalho, serviços e produtos com base em dados reais de consumo em edificações para servir como ferramenta de auxílio na tomada de decisão, na melhoria e desempenho energético (CEPEL, 2015).

A análise de maior consumo de eletricidade provê de áreas e serviços de uso comum, tais como: elevadores, sistemas de iluminação e condicionamento de ar, e de áreas privativas com equipamentos de escritórios, iluminação e equipamentos internos às salas comerciais.

3 Metodologia

Nesta seção, será apresentada a caracterização da pesquisa quanto simulação e modelagem do sistema fotovoltaico, e na sequência, serão descritos a viabilidade econômica seguido com as etapas consideradas para que o objetivo geral desse trabalho.

3.1 Simulação e modelagem

Para medidas de redução de consumo e de incentivo de implantação de sistemas fotovoltaicos no setor comercial, existem ferramentas de computacionais de fácil aprendizado que possibilitam desenvolver simulações de sistemas teóricos com entendimento de atuais situações que ocorrem em edificações.

Para definição de simulação segundo Pegden, Shannon, & Sadowski (1995) é o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir a experimentos com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação, isto é, introdução de conceitos básicos de modelagem e várias metodologias de simula-

ção, por exemplo, aplicações práticas da linguagem de simulação SIMAN em sistemas em problemas de operações e engenharia.

Na opinião de Schriber (1974), essa definição esta associada à simulação de sistemas que implica na modelagem de um processo ou sistema, tal forma que o modelo “imite” as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo.

O modelo de simulação e análise de implantação de sistemas renováveis possibilita prever efeitos, alterações e/ou emprego de métodos de operação no comportamento do modelo simulado semelhante ao sistema real. Tem como vantagens a facilidade de compreensão, análise e resultados a partir dos testes (simulações) do modelo visando à economia de tempo e recursos com qualidade, a partir de interfaces amigáveis, uso de plataformas de animação dos sistemas que estão sendo simulados.

No contexto de simulação, uma das principais etapas consiste na modelagem do sistema sob estudo. Esta etapa procura “imitar” e criar uma história artificial da atuação e desempenho do sistema real, o que implica na realização de um procedimento experimental (via simulação computacional), posterior à etapa de modelagem (Freitas Filho, 2001).

Com base nas constatações mencionadas, a modelagem pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta numa série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do sistema real. Esta descrição toma a forma de relações matemáticas ou lógicas que, no seu conjunto, constituem o que se denomina de modelos.

3.2 Viabilidade econômica

A implantação de um SF integrado à edificação e interligado a rede elétrica de distribuição de energia em prédios comerciais é um grande desa-

fio para o desenvolvimento sustentável, uma vez que o custo inicial de implantação é alto e retorno-benefício é ao longo prazo.

Para o estudo do consumo energético e análises econômicas em um prédio comercial formam considerados bases reais de parâmetros em dias útil e não útil para demonstrar as análises de relação custo *versus* benefício, e posteriormente as vantagens econômicas no uso e aproveitamento eficiente da energia solar nas edificações comerciais. Abaixo as bases reais de parâmetros considerados para o estudo proposto.

3.3 Área disponível

Foi considerada a área no superior da edificação, adequada e sem a necessidade de modificações na estrutura do telhado para a instalação do SF, correspondendo uma área de aproveitamento de 260 m² (20 x 13m²). A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas do SF para o estudo proposto.

Tabela 2: Especificações técnicas do sistema fotovoltaico

Especificações Técnicas do SF
Painel fotovoltaico monocristalino
Potência = 230W
Quantidades de PF's = 154 unidades
Valor estimado dos PF's em R\$ = 154 x 1.500 = 231.000,00
Rendimento nominal = 35,42 KW
Corrente do inversor = 4600A
Quantidade de inversores = 7 unidades
Valor dos inversores em R\$ = 7 x 6.900 = 48.300,00
Valor total inicial de investimento em R\$ = 280.000,00

Fonte: Autores.

3.4 Equipamentos e consumo

A edificação é composta por 8 andares divididos em hall de espera, escritórios, banheiros, anfiteatros, praça de alimentação e garagem. Abaixo, a Tabela 3 descreve os equipamentos eletrônicos utilizados e seus respectivos consumos de

energia (W/h) ao longo do dia e o comportamento da curva de carga por hora da edificação comercial (Figura 3).

Tabela 3: Equipamentos eletrônicos e seus respectivos consumos de energia diária

Equipamentos eletrônicos	Consumo (W/h)	Tempo (h)	Carga diária (MWh)
Bebedouros	7200	24	0,1728
Freezers	600	24	0,0144
Estufas	1000	24	0,0240
Condicionadores de ar da recepção	1950	24	0,0468
Lâmpadas dos banheiros	240	13	0,0062
Lâmpadas da cantina	480	13	0,0031
Impressoras, xerox e scanner	1550	13	0,0202
Computadores da recepção	500	13	0,0065
Lâmpadas de recepção	480	13	0,0062
Elevadores	17320	13	0,2252
Forno elétrico	2000	12	0,0240
Suggares	200	12	0,0024
Condicionadores dos escritórios	93600	12	1,1232
Cafeteiras elétricas	750	10	0,0075
Televisores da recepção	400	10	0,0040
Computadores dos escritórios	18000	9	0,1620
Lâmpadas dos escritórios	5760	9	0,0518
Lâmpadas do anfiteatro	3880	9	0,0349
Lâmpadas das garagens	3200	3	0,0096
Consumo diário total			1,9449 MWh

Fonte: Autores.

A Figura 3 apresenta a curva de carga em cada intervalo de hora na edificação e o respectivo consumo de energia.

Considerando o consumo mensal e a tarifa cobrada MW para o local, temos o valor mensal em relação à energia elétrica (R\$/MW) antes da instalação do SF:

$$\begin{aligned} \text{Valor mensal} &= \text{Consumo diários} \times 30 \text{ dias} \times \text{Tarifa} \\ &= 1,9449 \text{ MW} \times 30 \text{ dias} \times \text{R\$ } 300/\text{MW} \\ &= \text{R\$ } 17.504,10 \end{aligned}$$

Portanto o valor anual é de R\$ 210.049,20 (em torno de duzentos e dez mil reais).

3.4.1 Insolação

A edificação é composta por 8 andares divididos em hall de espera, escritórios, banheiros, anfiteatros, praça de alimentação e garagem. Abaixo, a Figura 4 descreve os respectivos consumos de energia (W/h) ao longo do dia e o comportamento da curva de carga por hora da edificação comercial.

3.4.2 Condição climática

Categoria climática em função do número de ocorrência mensal nos últimos 12 anos e ao nível de insolação no dia, conforme Tabela 4.

3.4.3 Tarifas

Para realização dos cenários propostos, comparações e análises com o cenário atual, serão consideradas: tarifa de energia elétrica básica (R\$ 300,00/KW) do Setor Comercial, tarifas de energia elétrica quanto à sazonalidade (zona azul e zona verde), horário de consumo (horário de ponta e horário fora de ponta) e o reajuste bianual. Abaixo, a Tabela 5 demonstra as tarifas de energia elétrica estimadas pela distribuidora local em R\$/MW durante os próximos anos.

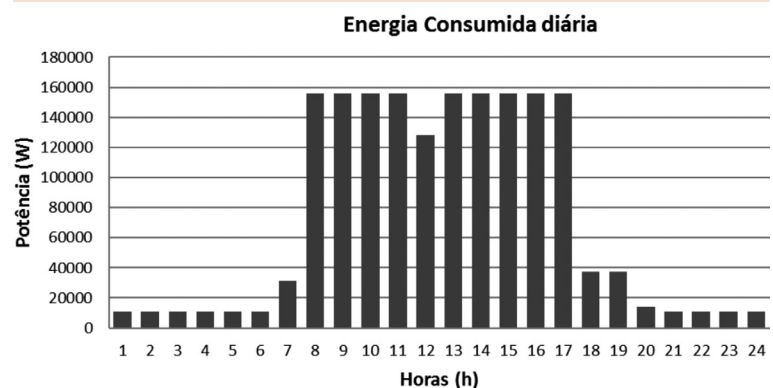


Figura 3: Curva de carga em cada intervalo de hora
Fonte: Autores.

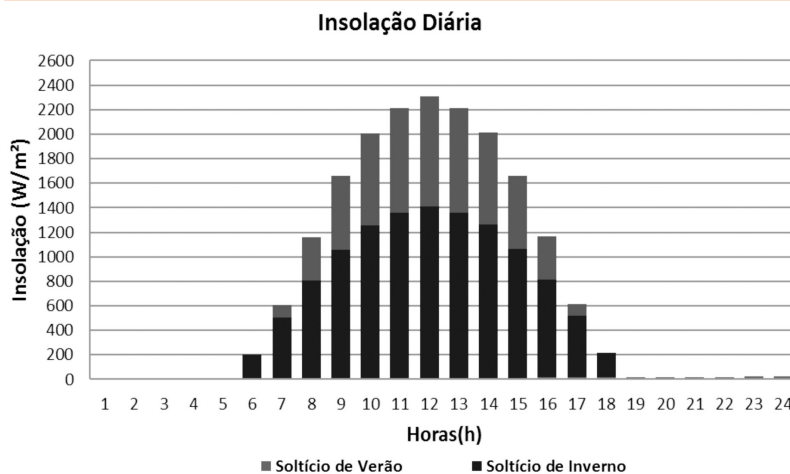


Figura 4: Curvas de níveis de máxima e mínima insolação por hora em Florianópolis/SC a partir de dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017)

Fonte: Autores.

Tabela 4: Distribuição de probabilidade de ocorrências mensais (%) durante 12 anos

Insolação (W/m ²)	Categoria/ Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
600 – 1000	Céu limpo	54	58	58	57	54	51	50	52	46	42	51	54
400 – 600	Parcialmente limpo	12	13	15	11	15	13	10	10	7	12	13	12
200 – 400	Nublado	16	11	10	8	6	8	10	8	13	11	10	8
0 – 200	Instabilidade	17	19	18	23	25	28	31	30	34	36	26	25

Fonte: Autores.

Tabela 5: Tarifas de energia elétrica da distribuidora local em R\$/MW

Mês	4, 5, 6, 7, 8, 9	10, 11, 12, 1, 2, 3	Reajuste Bianual
Tarifa	3%	4%	2%
Ano	Taxa Hora de Pico – Úmido	Taxa Hora de Pico – Seco	Taxa Hora Fora de Pico
2015	309,00	312,00	300,00
2016	309,00	312,00	300,00
2017	315,18	318,24	306,00
2018	315,18	318,24	306,00
2019	321,48	324,60	312,12
2020	321,48	324,60	312,12
2021	327,91	331,10	318,36
2022	327,91	331,10	318,36
2023	334,47	337,72	324,73
2024	334,47	337,72	324,73
2025	341,16	344,47	331,22
2026	341,16	344,47	331,22
2027	347,98	351,36	337,85

Fonte: Autores.

A estimação das tarifas de energia elétrica cobrada pela distribuidora local permite avaliar a viabilidade da instalação do SF, assim como, apresentar simulações e resultados viáveis a partir de diferentes cenários.

4 Resultados e discussões

A primeira etapa dessa seção apresenta a análise econômica do SF. A partir dos métodos de simulação e métodos de análise a partir de ferramentas e metodologias estatísticas busca avaliar a viabilidade da instalação do SF no local.

4.1 Análise econômica

Para as análises da instalação do SF na cidade de Florianópolis/SC foi montada planilhas no *Microsoft Excel 2010* que são capazes de calcular, simular, estipular e apresentar resultados viáveis de diferentes cenários proposto no trabalho.

Inicialmente, para a instalação dos módulos fotovoltaicos no telhado da edificação foi utilizado o PF do tipo monocristalino, por apresentar uma eficiência elevada entre 16 a 20% maior em relação aos demais tipos existentes no mercado, apesar do seu alto custo de produção e tecnologia no seu processo de fabricação.

Para quantificar o estudo da viabilidade econômica foi considerado o valor de investimento para instalação do SF, tarifas de ener-

gia elétrica de acordo com a sazonalidade, horário de demanda, e sua evolução de juros ao ano, para determinar o cálculo de economia e a previsão de retorno do investimento aplicado na edificação.

Os métodos usados para quantificar e estratificar os indicadores para uma mensuração precisa é considerados o método de simulação e o método de análise estatística.

4.2 Método de simulação

Uso de ferramentas computacionais para simulações teóricas de consumo energético, comparações com modelos reais, avaliação das edificações na fase de projeto e de auxílio na especificação de materiais, eficiência de equipamentos e sistemas. Na Tabela 6, demonstra as variáveis em estudo e os parâmetros para o setor comercial considerado para o estudo.

Tabela 6: Variáveis e parâmetros do setor comercial para o estudo proposto

Variáveis em estudo	Parâmetros para o Setor Comercial
Dia, mês, ano	Estimação de resultados a partir de 01/01/2015
Útil ou Fim de Semana	Calendário comercial de funcionamento do setor comercial
Cargas	Variação do consumo de energia elétrica por hora
Tarifa básica	Preço da unidade de energia elétrica (R\$/MWh)
Horário de ponta	Período consecutivo de 3 horas a qual o consumo de energia tende ser maior
Horário fora de ponta	Período a qual o consumo de energia tende ser menor
Tarifa azul	De acordo com o período de utilização de energia no dia (das 8h às 18h)
Tarifa verde	De acordo com período de utilização de energia no dia e mês.
Condição climática	Categoria climática de acordo com nível de insolação
Nível de insolação	Nível de insolação de acordo com o horário e mês

Fonte: Autores.

Para a simulação dos diferentes cenários, não foram considerados custos de mão de obra, manutenção e o ângulo de inclinação, direção e sentido dos PF's, devido aos dados históricos serem reais e que já os considera para a determinada região.

Abaixo, a Tabela 7 demonstra os diferentes cenários a partir do gerenciamento das cargas no horário comercial das 8h às 18 horas, considerando como fontes aleatórias a insolação por hora, mês e condição climática, assim como o dia (útil e não útil) para determinar o melhor aproveitamento e geração de energia elétrica do prédio.

A avaliação dos cenários considerou a eficiência energética de todo o sistema no máximo consumo de energia diário, a eficiência energética do sistema de iluminação, a eficiência energética do sistema de condicionamento interno e a eficiência energética de todo o sistema com variação aleatória das cargas instaladas na edificação (valores fixos). Na Tabela 7 é possível observar os cenários propostos (1 a 4) para o setor comercial.

Tabela 7: Cenários propostos para o setor comercial

Cenários	Descrição	Sistema
1	Plena carga (sem variação das cargas)	Carga Média Máxima diária
2	Variação da carga considerando o mês e hora	Condicionamento de ar condicionado
3	Variação da carga considerando o mês e hora	Iluminação
4	Variação de todas as cargas considerando o mês hora	Consumo aleatório

Fonte: Autores.

4.3 Método de análise estatística

Aplicação de ferramentas com base em dados reais de consumo da edificação, assim como metodologias de avaliação estatística que utilizam informações de consumo real em edificações similares visando melhorias no desempenho energético e redução de custos operacionais com uso de energia nas edificações.

A seguir, a Tabela 8 descreve as informações referentes ao cenário real-pessimista, dados fundamentais utilizados atualmente para obtenção dos resultados das análises, dimensionamento e geração de energia elétrica pelo SF na cidade de Florianópolis/SC.

Tabela 8: Cenário real (pessimista) para o local

Cenário Real	Informações Gerais
Consumo diário de energia elétrica da rede	1,9449 MW
Tarifa da energia elétrica para o setor comercial	R\$ 300,00/MW
Mínima média de insolação por hora no ano	450 W/m ²
Rendimento anual pelo SF	57,38 MW
Valor anual gerado pelo SF	R\$ 17.240,00
Tempo Médio (anos)	17,26

Fonte: Autores.

A partir destas informações determinou-se a economia entre o valor anual pago pelo uso da energia elétrica após a instalação do SF em torno de R\$ 17.240,00 anuais, sendo que, o tempo médio de retorno do investimento inicial é de 17,26 anos.

Para analisar os 4 (quatro) cenários distintos propostos e comparar com o cenário real-pessimista, utilizamos o SF para o setor comercial atribuindo 30 replicações aleatórias (sorteios) para determinar o prazo a ser pago pelo SF em anos em ambos cenários com o índice de confiança de 0,05% para ambos os cenários. De acordo com a Tabela 9 demonstra os prazos de retorno (em ano) do investimento realizado no SF estipulado para cada cenário proposto e real.

A partir da tipologia da edificação, o estudo da viabilidade de retorno é baseado nas informações de consumo energético total, área útil, carga total dos equipamentos eletrônicos em 24h, e a média mínima de incidência solar anual no local. Nota-se que ao comparar os cenários propostos com o cenário real-pessimista, há uma redução

Tabela 9: Comparativo dos cenários propostos e o cenário real

Replicações Simulação	Prazo a ser pago o SF (Anos)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
1	10,96	10,99	10,96	11,02
2	11,03	11,15	11,04	11,00
3	11,06	10,91	11,00	11,05
4	11,04	11,11	11,10	10,89
5	11,08	11,02	11,06	11,07
6	10,99	11,11	11,09	11,15
7	11,00	11,1	11,00	11,11
8	10,98	11,04	11,07	11,09
9	11,11	10,94	10,98	10,97
10	10,87	11,13	11,96	11,12
11	11,11	10,84	11,01	10,87
12	11,02	11,08	10,95	10,98
13	11,06	11,06	11,04	11,03
14	11,00	11,03	11,09	10,97
15	11,06	11,02	11,22	11,10
16	11,04	10,78	11,01	11,04
17	11,11	11,04	10,99	10,93
18	10,92	11,16	10,98	11,00
19	10,96	11,08	11,28	11,01
20	11,04	10,93	10,99	11,04
21	11,00	11,1	10,95	11,07
22	10,99	11,02	11,01	10,96
23	11,02	11,16	11,10	11,03
24	10,95	11,06	11,04	11,08
25	11,03	10,96	11,05	11,06
26	10,95	11,02	10,99	11,10
27	11,09	11,21	10,95	10,99
28	11,08	11,02	10,99	10,96
29	11,11	11,03	11,15	11,01
30	11,08	10,05	10,96	10,96
Tempo Médio (anos)	11,02	11,01	11,07	11,02
Desvio Padrão	0,0609	0,2034	0,1857	0,0677
Intervalo de Confiança	0,0218	0,0727	0,0664	0,0024

Fonte: Autores.

média de 35% do tempo de retorno do investimento inicial utilizado para a instalação do SF, considerando a variação de insolação por hora, dia e mês; categoria climática; variação da carga total por hora e dias úteis/não úteis; e assim como, a variação apenas do sistema de iluminação e condicionamento de ar por hora e mês.



Após as replicações dos diferentes cenários podemos identificar que o *Cenário 1*, considerando apenas a variação de insolação por hora ao longo do ano e consumo médio máximo diário de energia independente de ser dia útil ou não útil; e o *Cenário 4*, considerando a variação da insolação por hora ao longo do ano e variação no consumo de energia por hora e os dias úteis e não úteis, a projeção média do tempo de retorno do investimento do SF é em torno de 11,02 anos a um índice de significância de inferior a 0,05.

No entanto, em comparação com o cenário real-pessimista, houve uma redução de retorno de 6 anos em ambos os cenários propostos (1 e 4). Com base nas adoções de medidas de dimensionamento adequado de consumo da edificação, podem-se observar os diferentes custos de tarifa elétrica em relação ao horário de maior consumo de eletricidade e os meses de menor insolação, ambos os principais fatores que afetam o tempo de retorno no investimento de implantação de SF. A possibilidade de avaliação utilizando a simulação visa pleitear a redução do tempo de retorno do investimento baseado no dimensionamento dos equipamentos eletrônicos em uso por hora, dias úteis e horário comercial para obter um consumo de energia da rede anual menor do que cenário real-pessimista.

Já o tempo médio do *Cenário 2*, que considera variação de insolação por hora ao longo do ano e consumo variável do sistema de condicionamento de ar em dias úteis e não úteis; e o *cenário 3*, considera a variação de insolação por hora ao longo do ano e consumo variável do sistema de iluminação em dias úteis e não úteis, a projeção média do tempo de retorno do investimento do SF, é entre 11,01 e 11,07 anos a um índice de significância superior a 0,05.

Os resultados destes cenários (2 e 3) foram tomados como intervalo de tempo de retorno mí-

nimo e máximo, uma vez que ambas as decisões são consideradas em relação às variações ambientais do local, no caso, a variação da insolação ao longo do ano. Chama-se a atenção ao fato que o consumo do sistema de iluminação é maior que o consumo do sistema de condicionamento de ar em edificações comerciais. Para isso, pode ser utilizado o simulador de SF como indicador para avaliar o desempenho de consumo, assim como, analisar as influências arquitetônicas das edificações comerciais em termos de consumo energético. Se observar que em ambas as simulações de análise de cenários, os resultados obtidos usando a ferramenta de cálculo Excel podem ser sugeridos como ferramenta de gerenciamento e avaliação de resultados de cenários reais.

No entanto, a comparação dos tempos médios obtidos nos cenários propostos trazem indicativos que podem ser inclusos para análise no setor de edificações no Brasil. Os dados históricos de categoria climática e insolação do local por hora são de suma importância e necessários para ajuste de correções no consumo energético dos sistemas de condicionamento do ar e de iluminação. O comportamento possibilita uma melhor precisão na comparação entre valores reais, mesmos que estes não são significativos em termos de comparação em relação aos demais cenários propostos (1 e 4).

Além disso, pode-se observar que os níveis de consumo de energia e a sua eficiência energética, os tipos de equipamentos eletrônicos e os tipos de edificações construídas contribuem de forma significativa nas medidas de conservação de energia. A simulação de SF para o setor comercial permite investigar os dados de consumo e avaliar estatisticamente o perfil de uso da edificação através do desempenho de sistemas, tais como, iluminação e condicionamento de ar.

5 Considerações finais

Devido à falta de conhecimento do perfil de consumo de edificações comerciais, o trabalho propõe demonstrar por meio de simulação sob diferentes cenários a viabilidade econômica de investimento e implantação de sistemas fotovoltaicos em edificações comerciais.

A demonstração e simulação do cenário real, através do auxílio da ferramenta de cálculo Microsoft Excel, permitem a modelagem real e a simulação de possíveis cenários. Também pode ser usado com ferramenta de comparação e avaliação de informações em relação à redução de consumo de eletricidade e projeção do tempo de retorno do investimento na implantação de um SF no setor comercial. Este estudo mostra que o método de simulação desenvolvido para o SF permite avaliar, analisar e otimizar o consumo de energia elétrica, os custos de tecnologias de energia renovável e eficiência energética na instalação do sistema conectado a rede de distribuição.

Desta forma, a modelagem e simulação possibilitam investigar as dificuldades como a relação ao desempenho energético, assim como melhorias no aproveitamento das edificações com relação custo-benefício no uso de energia fotovoltaica e o menor tempo de pagamento para a sua aquisição. Ressaltando que a diferença de tempo de retorno do investimento nas instalações de SF comparada com o cenário real-pessimista é maior do que outras centrais renováveis, por exemplo, usinas eólicas.

Para isso, destaca-se que os dados climáticos atuais do local, principalmente a variação de insolação por hora considerando a categoria climática (céu limpo, parcialmente céu limpo, nublado, instabilidade) durante dia e em relação a cada mês do ano, são de suma importância para a simulação de diferentes cenários. Assim como, as influências quanto a quantificar a análise econômica de um

SF instalado na edificação quanto à iluminação e condicionamento do ambiente.

A partir da elaboração do simulador de sistemas fotovoltaico é possível identificar e avaliar os potenciais de redução consumo energético real por comparação com diferentes cenários, já que as variáveis principais e determinantes no estudo são disponibilizadas por centros de pesquisas meteorológicas e de fácil acesso para qualquer usuário.

Para tanto, a metodologia utilizada por meio da ferramenta *Microsoft Excel 2010* garante qualidade das informações e análises estatísticas que correlacionam dados de consumo de eletricidade, tarifas estipuladas pela concessionária, condições climáticas, características operacionais da edificação e teste do modelo em outras edificações local. A ferramenta de auxílio propõe uma avaliação do melhor cenário. A relevância desse estudo é ressaltar a otimização do tempo de retorno de investimento de um SF interligado à rede elétrica e o incentivo ao uso da energia solar como fonte renovável na produção de eletricidade no país. Desta forma, a simulação de sistema fotovoltaico para o setor comercial irá contribuir para o estudo dos diferentes fatores que afetam a implementação de sistemas de energias renováveis e a modelagem dos custos de diferentes alternativas de energia elétrica.

Referências

- Aman, M. M., Solangi, K. H., Hossain, M. S., Badarudin, A., Jasmon, G. B., Mokhlis, H., ... & Kazi, S. N. (2015). A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1190-1204.
- Bahadori, A., & Nwaoha, C. (2013). A review on solar energy utilisation in Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 1-5.
- Brito, S. D. S. (2008). Centro de referência para energia solar e eólica. *CRESESB Informe-Rio de Janeiro*, 12(13), 3.



- CEPEL (2015). Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. *Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas*. Recuperado em 05 julho, 2017, de http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/GUIA+EFIC+ENERG+EDIF+PUBL_1+0_12-02-2015_Compacta.pdf
- Costa, S. D. M. (2014). *Simulação de modelos de remuneração e estudo de mercado para sistemas fotovoltaicos de autoconsumo*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Empresa, D. P. E. (2016). Anuário Estatístico de Energia Elétrica—Ano base 2015. *Rio de Janeiro*.
- Energia, P., & Renováveis, E. (2016). *Vantagens e desvantagens: diferenças dos painéis solares fotovoltaicos*. Recuperado em 04 julho, 2018, de <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-diferencas-dos-paineis-solares-fotovoltaicos/>.
- Freitas Filho, P. J. (2001). *Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena*. Edição Informática. Florianópolis: Visual Books,.
- INMET (2017). Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP—Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Recuperado em 04 julho, 2018, de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.
- Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy policy*, 39(3), 1154-1169.
- Pegden, C. D., Shannon, R. E., & Sadowski, R. P. (1995). *Introduction to simulation using SIMAN* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.
- Rose, A., Stoner, R., & Pérez-Arriaga, I. (2016). Prospects for grid-connected solar PV in Kenya: A systems approach. *Applied Energy*, 161, 583-590.
- Sace, A. (2010). Technical Application Papers No. 10—*Photovoltaic plants. A Division of ABB SpALV Breakers*.
- Schriber, T. J. (1974). *Simulation using GPSS*. New York: John Wiley & Sons.
- Shayani, R. A., OLIVEIRA, M. D., & Camargo, I. D. T. (2006, June). Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In *Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE)*. Brasília (p. 60).
- Silva, H. L. N. (2013). *Benchmarking de Consumo Energético em Edifícios Comerciais Multiusuário de Alto Padrão na Região Metropolitana de São Paulo* (Doctoral dissertation, Dissertação. Universidade Federal do ABC, Santo André—SP, Programa de Pós Graduação em Energia).
- Sindhu, S. P., Nehra, V., & Luthra, S. (2016). Recognition and prioritization of challenges in growth of solar energy using analytical hierarchy process: Indian outlook. *Energy*, 100, 332-348.
- Tozzi Jr, P., & Jo, J. H. (2017). A comparative analysis of renewable energy simulation tools: Performance simulation model vs. system optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 390-398.

Recebido em 7 jul. 2017 / aprovado em 21 ago. 2017

Para referenciar este texto

Paines, A. P., Vignochi, L., & Possamai, O. Simulação de sistema fotovoltaico para o setor comercial. *Exacta*, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 17-30, 2018.