



ANÁLISE PARAMÉTRICA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA HÍBRIDO SOLAR E GEOTÉRMICO

PARAMETRIC ANALYSIS OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A HYBRID SOLAR AND GEOTHERMAL SYSTEM

SOARES, Roberta Mulazzani Doleys¹,
MOHAMAD, Gihad²,
CURVAL, Carolina Ferrari³

Resumo

A presente pesquisa tem como objeto de estudo um sistema híbrido solar e geotérmico composto de brises-placas solares, um módulo térmico e dutos enterrados. Estes subsistemas operam em conjunto visando o aquecimento da água de consumo e a climatização de ambientes. O foco do estudo foi realizar uma análise paramétrica da eficiência energética dos brises-placas, denominados Subsistema de Captação Solar (SCS), quando posicionados em distintas orientações solares. O sistema híbrido foi inserido em um caso base localizado na Zona Bioclimática Brasileira 2, sendo realizadas simulações computacionais com o software EnergyPlus. Os resultados revelaram que a alternância da orientação solar do SCS resultou em uma economia de energia significativa para o chuveiro elétrico, variando entre 78% e 97%. Além disso, comparando o sistema híbrido com uma situação convencional de Split e chuveiro elétrico, verificou-se uma redução de 62% a 80% no consumo energético. Em todas as orientações solares, o sistema híbrido com bomba de calor apresentou-se como uma alternativa mais eficiente energeticamente que uma condição de utilização de Split e chuveiro elétrico.

Palavras-chave: sistema híbrido; eficiência energética; simulações computacionais.

Abstract

The present research aims to study a hybrid solar and geothermal system composed of solar brises-plates, a thermal module and buried ducts. These subsystems operate together with heat consumption water and air-condition environments. The focus of the study was to carry out a parametric analysis of the energy efficiency of the brise-plates, called Solar Capture Subsystem (SCS), when positioned in different solar orientations. The hybrid system was inserted into a base case located in the Brazilian Bioclimatic Zone 2, with computational simulations being carried out using the EnergyPlus software. The results revealed that alternating the solar orientation of the SCS resulted in significant energy savings for the electric shower, ranging between 78% and 97%. Furthermore, comparing the hybrid system with a conventional Split and electric shower situation, there was a reduction of 62% to 80% in energy consumption. In all solar orientations, the hybrid system with heat pump presented itself as a more energy efficient alternative than a split and electric shower.

Keywords: hybrid system; energy efficiency; computer simulations.

¹ Docente na FAUrb - Universidade Federal de Pelotas, soares.roberta@ufpel.edu.br

² Docente no DECC - Universidade Federal de Santa Maria, gihad.civil@gmail.com

³ Graduanda na FAUrb - Universidade Federal de Pelotas, carolfcurval@gmail.com

1 Introdução

Os sistemas híbridos são importantes soluções para substituir equipamentos convencionais. Dessa forma, esta pesquisa, parte de uma tese de doutorado sobre um sistema híbrido solar e geotérmico para aquecimento de água e climatização de ambientes (Soares, 2021), visa avaliar o desempenho energético de um sistema híbrido em diferentes orientações solares, comparando-o com o consumo de energia de equipamentos convencionais.

Quanto ao estado da arte em nível internacional, considerando o tema e a aplicação residencial, há o trabalho de Liu et al. (2018) que investigou um sistema híbrido com coletores solares, bomba de calor, boiler e piso radiante em uma residência na China, destacando uma significativa redução no consumo de energia. Seyam, Dincer e Agelin-Chaab (2019) estudaram um sistema híbrido no Canadá, que combinava painéis solares térmicos fotovoltaicos, energia geotérmica e uma bateria térmica, com a necessidade de aquecimento auxiliar no inverno. Nouri, Noorollahi e Yousefi (2019) desenvolveram um sistema híbrido com coletor e bomba de calor subterrânea no Irã, atingindo alta eficiência. Liang (2020) e Li, Liu e Zhang (2021) avaliaram sistemas na China, verificando que o controle por temperatura interna e umidade gerou significativo conforto e eficiência energética. Posteriormente, Assareh et al. (2022) constataram que a geotermia resultou em maior eficiência em um sistema no Irã, enquanto Smaisim, Abed e Shamel (2023) e Niaki, Pourfallah e Ghadi (2023) confirmaram a expressiva eficiência energética ao otimizar os parâmetros operacionais.

No Brasil, ao analisar sistemas híbridos que integram coletores solares no período de 2019 a 2023, destacam-se o sistema híbrido solar térmico integrado à unidade de recuperação energética de Kami (2019) e o sistema híbrido solar-diesel de Costa Júnior e Oliveira (2023). Esses estudos ressaltam a necessidade de mais investigações sobre o tema.

Neste contexto, as pesquisas evidenciam a viabilidade e os benefícios dos sistemas híbridos em diferentes climas. É importante explorar suas potencialidades nas condições sul do Brasil para avançar nos conhecimentos da área e contribuir para o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis.

2 Metodologia

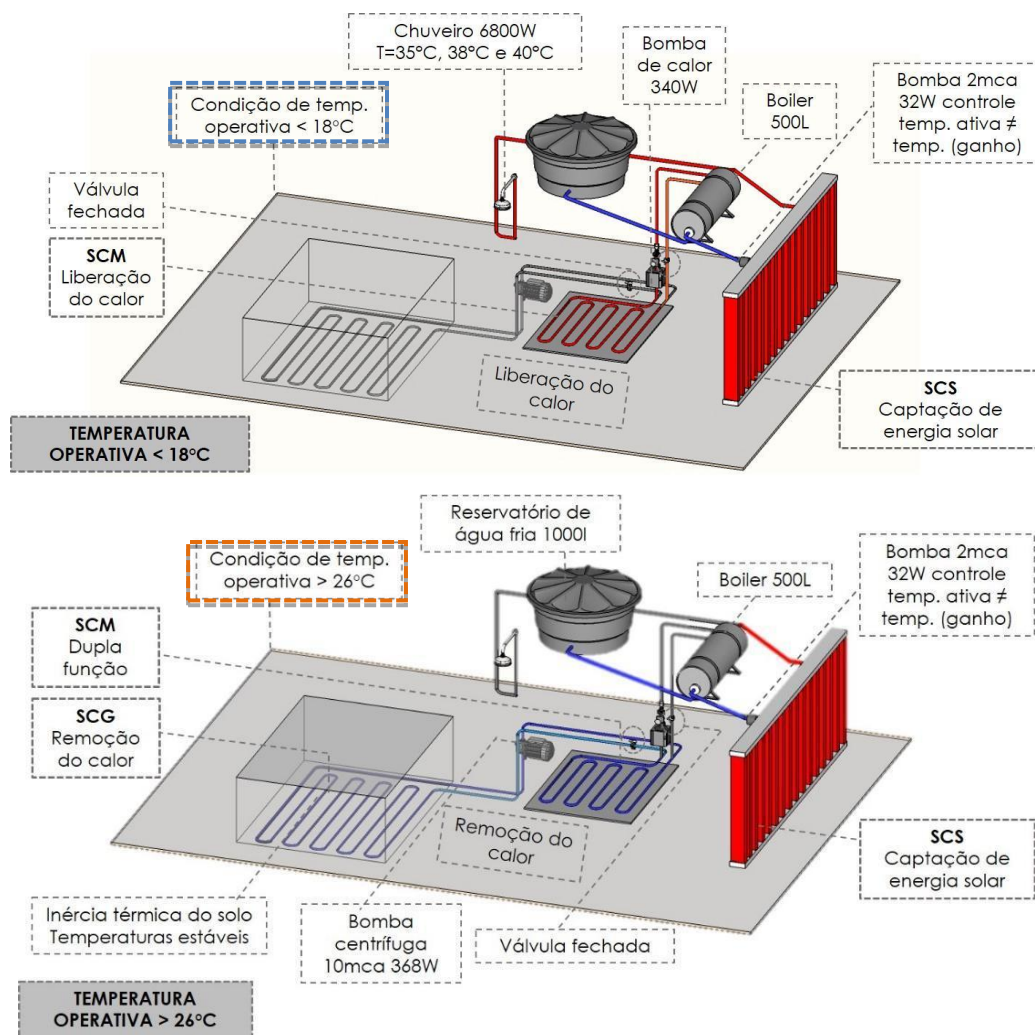
A metodologia da pesquisa foi organizada em duas etapas: Apresentação do sistema híbrido e simulações computacionais.

2.1 Apresentação do sistema híbrido

O sistema híbrido solar e geotérmico (Figura 1) integra o Subsistema de Captação Solar (SCS), implantado externamente na edificação na forma de brises-placas solares; o

Subsistema de Climatização Módulo Térmico (SCM), situado no interior do espaço; e o Subsistema de Climatização Geotérmica (SCG), composto por tubulações horizontais enterradas no solo. Há também o reservatório de água fria e o reservatório de água quente (boiler). É importante observar que esta representação não considera detalhes hidráulicos ou mecânicos, mas visa descrever a operação e os diferentes subsistemas relacionados ao aquecimento da água e à climatização do espaço.

Figura 1 – Funcionamento do sistema híbrido



Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

A caixa d'água abastece o boiler com água fria, que por sua vez passa pelo SCS para aquecimento, isso somente ocorre quando há ganho útil de calor no SCS. O SCS capta energia térmica e a transfere para a água. O fluido aquecido direciona-se para o boiler, que distribui água quente para o chuveiro e para o SCM, a fim de que ele opere a calefação.

A estrutura do SCM também permite a circulação da água fria proveniente do SCG, cuja temperatura é influenciada pelo solo, arrefecendo-a, pois o fluido percorre dutos enterrados horizontalmente. Quando a T_o está abaixo de 18°C, o SCM, apoiado por uma

bomba de calor, aquece o ambiente e quando a T_o está acima de 26°C , a bomba do SCG é ativada para resfriar a água nos dutos e permitir que o SCM remova o calor do ambiente.

As bombas do sistema foram dimensionadas com base em vários parâmetros, incluindo altura, perdas de carga e vazão. Uma bomba de calor de 340W foi adicionada ao sistema para auxiliar no aquecimento da água e na circulação do fluido.

O Quadro 1 detalha o SCS, SCM e SCG. As propriedades termofísicas dos materiais desses subsistemas foram obtidas na NBR 15220 (ABNT, 2005).

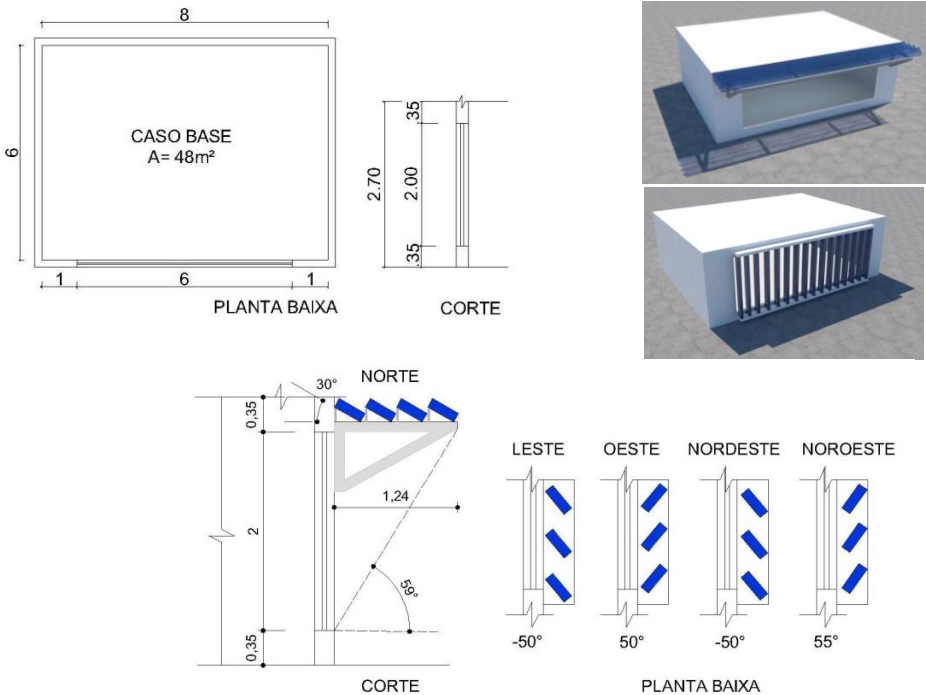
Quadro 1 – Características dos Subsistemas

Subsistema	Características
SCS	Fator de eficiência óptica de 0,77; Coeficiente global de perdas de 4,27; Vazão de 35l/h; Cobertura de vidro; Dimensão do coletor na condição Norte: 0,30mx8,0m; área unitária de 2,4m²; área total de 9,6m²; Dimensão do coletor na condição Leste, Oeste, Nordeste e Noroeste: 0,30mx2,2m; área unitária de 0,66m²; área total de 10,56m².
SCM	Revestimento cerâmico: 5mm; Argamassa de assentamento: 5mm; Tubulação de cobre diâmetro 22mm, 11,7m lineares (área de 2m²) e 0,15m de espaçamento; Argamassa de contrapiso: 60mm; Poliestireno expandido: 20mm; Laje de concreto: 100mm. Vazão de $2 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$.
SCG	Tubulação de cobre com diâmetro de 22mm, comprimento de 20m e profundidade de 4,5m. Vazão de $2 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$.

Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

As simulações foram realizadas considerando o sistema híbrido implantado em um caso base (Figura 2). Este ambiente padrão foi fundamentado no *Case 600* da norma *ASHRAE Standard 140* (ASHRAE, 2017), os materiais aplicados nesse modelo e as propriedades termofísicas estão apresentados na Tabela 1.

Figura 2 – Caso base e brises-placas



Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

Tabela 1 – Materiais e propriedades termofísicas do caso base

Componente da Edificação	Materiais Utilizados	Características Termofísicas		
		Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/(m ² .K)	Cor/Absortância solar
Paredes Externas	Argamassa externa (2,5cm), bloco de concreto 2 furos (9x19x39cm), EPS (4cm), argamassa interna (2,5cm).	0,74	209	Branco 15,8
Cobertura	Telha metálica 0,1cm, poliestireno (isopor) 4,0cm, telha metálica 0,1cm, câmara de ar (>5,0cm) e laje maciça 10cm	0,68	229	Branco 15,8
Janela	Vidro de controle solar (6mm) + ar seco (12mm) + Vidro Laminado incolor (6mm). Esquadria de PVC com vedação - fluxo de ar de 1x10 ⁻⁴ kg/s.m	2,8	-	-

Fonte: Liddament, Martin (1986), Weber et al., (2017) e Dornelles, Kellen. (2008)

Os brises-placas do SCS foram selecionados com base na orientação solar: um brise horizontal com 9,6 m² de área coletora foi instalado na posição Norte, enquanto brises verticais com 10,56 m² de área coletora foram implantados nas direções Leste, Oeste, Nordeste (NE) e Noroeste (NO). Os ângulos dos brises-placas foram determinados após simulações computacionais, considerando a eficácia e o impacto nos graus-hora de aquecimento devido às variações da radiação solar incidente. Os ângulos escolhidos foram: 30° para o Norte, -50° para o Leste, 50° para o Oeste, -50° para o NE e 55° para o NO.

2.2 Simulações computacionais

Para as simulações computacionais, foi utilizado o software EnergyPlus 8.9.0, em conjunto com o SketchUp 17 Make e o plugin Euclid 0.9.3 para a interface gráfica. Os dados climáticos de Santa Maria-RS, localizada na Zona Bioclimática Brasileira 2, com clima temperado e variações diárias de temperatura de até 10°C (FLORES, 2014), foram obtidos do *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA). O caso base foi simulado sem a presença de usuários, equipamentos ou iluminação, para evitar interferências nos resultados. O ambiente padrão com o sistema híbrido foi orientado para o Norte, Leste, Oeste, NE e NO, para analisar o impacto do sistema nas diferentes orientações solares. Para avaliar o consumo de energia elétrica, foi realizada uma simulação anual, onde o consumo do Split foi modelado no modo automático, com parâmetros do HVAC Template:ZonePTHP e termostatos semelhantes aos do sistema híbrido.

2.3 Parâmetros de simulação do Subsistema de Captação Solar (SCS)

A modelagem dos brises-placas foi realizada utilizando a ferramenta *Shading*. Os coletores foram configurados nos objetos *SolarCollector:FlatPlate:Water* e *SolarCollectorPerformance:FlatPlate*. No *SolarCollectorPerformance:FlatPlate*, foram inseridos dados como a área do coletor, vazão de 35l/h (HELIOTEK, 2014), além das características térmicas e ópticas do coletor de acordo com o INMETRO (2020). Os dados

referentes à bomba foram incluídos no objeto *Pump:VariableSpeed*. Sua operação é ativada quando há um ganho de calor útil, por meio do objeto *AvailabilityManager:DifferentialThermostat* para garantir que o sistema funcione apenas quando houver aquecimento no coletor. Este sistema é controlado por sensores localizados no coletor e no boiler, os quais controlam o acionamento da bomba do SCS. No objeto *WaterHeater:Mixed*, foi configurado o reservatório térmico de 500L, instalado sobre a cobertura.

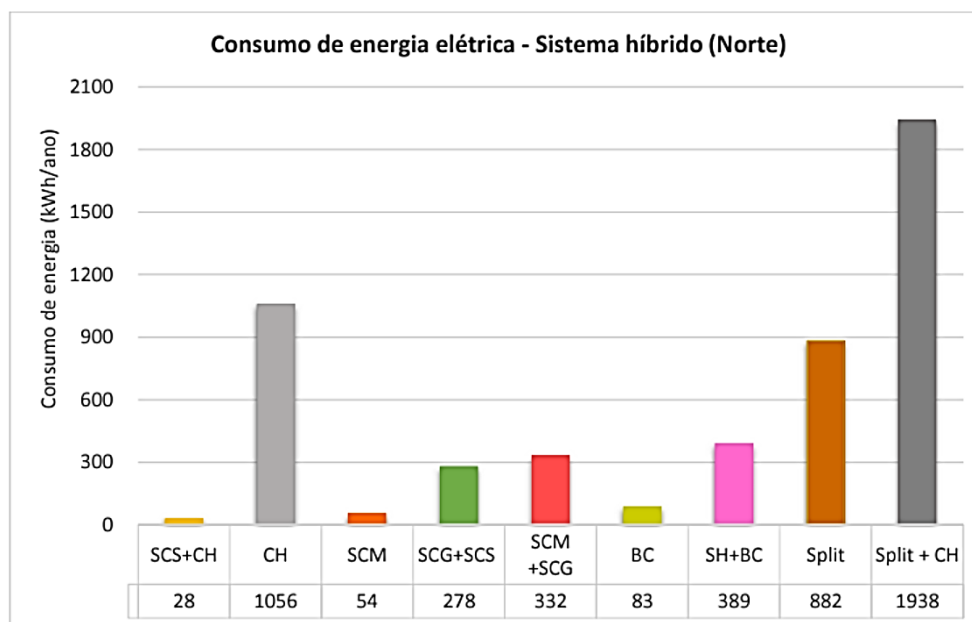
2.4 Parâmetros de simulação dos Subsistemas de Climatização: Módulo Térmico (SCM) e Geotérmica (SCG)

Os algoritmos *ConductionTransferFunction* e *ConductionFiniteDifference* foram usados na simulação para modelar a transferência de calor em superfícies. A superfície térmica foi configurada no objeto *Construction:InternalSource*, do grupo *Surface Construction Elements*, com especificações dos materiais conforme o Quadro 1. No objeto *ZoneHVAC:LowTemperatureRadiant:ConstantFlow*, foi configurado o módulo térmico, incluindo campos para a bomba de calor. Os algoritmos *SurfaceConvectionAlgorithm:Inside* e *SurfaceConvectionAlgorithm:Outside* foram adicionados para modelar a transferência de calor por convecção em superfícies internas e externas, utilizando modos padrões do programa. O objeto *HeatBalanceAlgorithm*, juntamente com o *ConductionTransferFunction*, tratou da transmissão de calor por condução, considerando apenas o calor sensível (Ginjeira, 2010). O objeto *GroundHeatExchanger:HorizontalTrench* foi escolhido como fonte de água arrefecida, integrando o SCG com tubulações horizontais, cujas propriedades termofísicas foram baseadas na NBR 15220 (ABNT, 2005). As informações do solo foram aplicadas no objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed*, e as temperaturas médias mensais do solo a 4,5m de profundidade foram incluídas no objeto *Site:GroundTemperature:Deep*, conforme Longo (2014). Usando o programa *CalcSoilSurfTemp*, os dados do solo foram calculados, considerando solo pesado e úmido, caracterizado por sua argilosidade e capacidade de retenção de umidade (Reinert et al., 2007), além de solo descoberto e úmido (Camargo, 2017).

3 Análise dos Resultados e Discussões

Nesta seção, são apresentados (Figuras de 3 a 7) os dados de consumo de energia elétrica do SCS, SCM, SCG, bomba de calor (BC), chuveiro elétrico (CH), SCS com o apoio de chuveiro elétrico (SCS+CH), sistema híbrido com bomba de calor (SH+BC), apenas o chuveiro elétrico (CH) e, também, o consumo de um Split, para fins comparativos, caso esse modelo de ar condicionado fosse instalado em substituição ao sistema proposto.

Figura 3 – Consumo anual de energia elétrica do sistema híbrido a Norte



Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

Observa-se na Figura 3 que a presença do SCS permite uma expressiva economia de energia, alcançando 97% em comparação com a situação em que apenas se utiliza o chuveiro elétrico. Este valor mostra o potencial do pré-aquecimento da água realizado pelo subsistema, quando posicionado nesta orientação solar, reduzindo significativamente o uso do chuveiro.

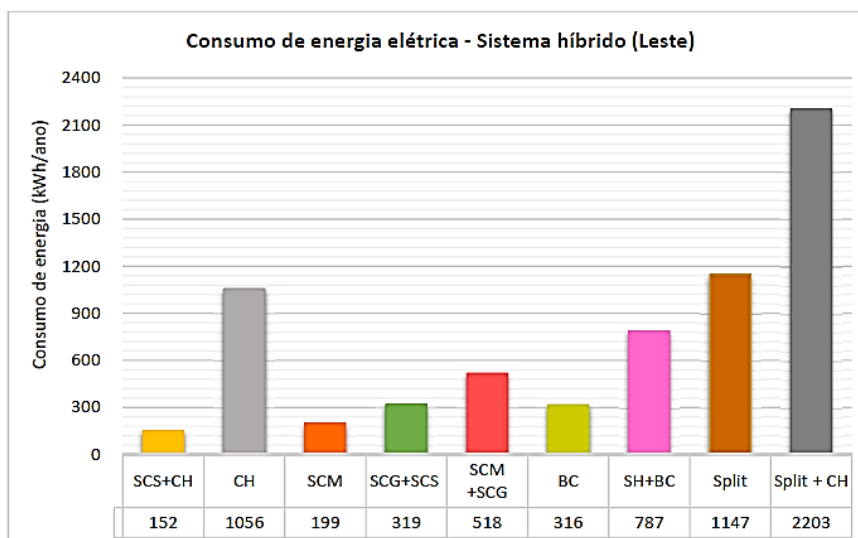
O SCM representa 16% do consumo total em relação ao SCG, que representa 84% do consumo. O consumo elevado do SCG se deve à necessidade de uma bomba de circulação de água com maior potência para operar esse subsistema.

A bomba de calor corresponde a 21% do consumo total de energia do sistema híbrido, o que é relativamente baixo devido às condições internas favoráveis do caso base nesta orientação, além de um alto potencial de aquecimento da água. Esses aspectos resultam em menor necessidade de energia adicional.

O consumo total de energia elétrica do sistema híbrido é calculado somando o consumo do SCS+CH, bomba de calor do SCM e do SCG+SCS, pois a presença do SCS reduz a demanda do SCG, refletindo o consumo real. Comparando a instalação do sistema híbrido com bomba de calor em vez de um Split e chuveiro elétrico, ocasiona uma economia de 80%.

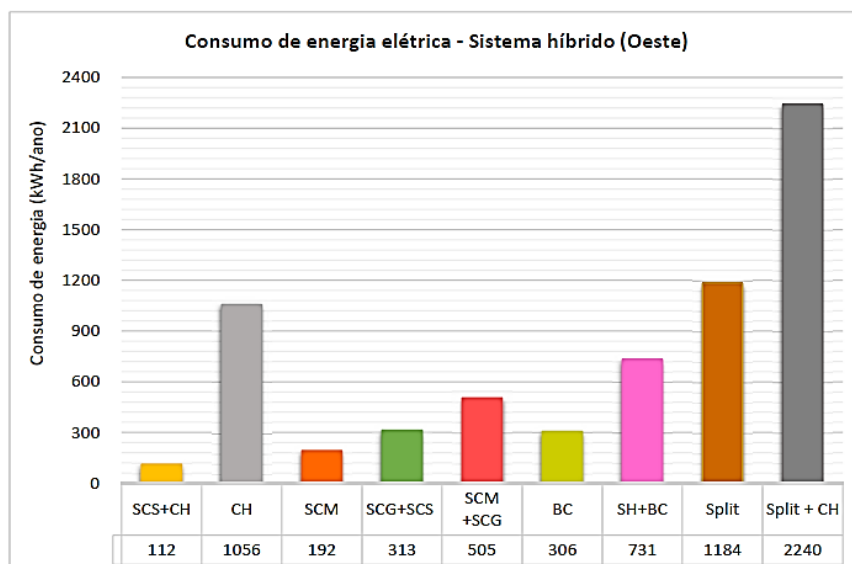
As Figuras 4 e 5 ilustram o consumo de energia elétrica do sistema híbrido posicionado nas orientações Leste e Oeste, respectivamente. Mostrando que, na orientação Leste, o SCS proporciona uma economia de 86% no consumo de energia, enquanto na orientação Oeste essa economia resulta em 89%. Isso ocorre devido à redução na necessidade de energia complementar do chuveiro elétrico proporcionada pelo SCS.

Figura 4 – Consumo anual de energia elétrica do sistema híbrido a Leste



Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

Figura 5 – Consumo anual de energia elétrica do sistema híbrido a Oeste



Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

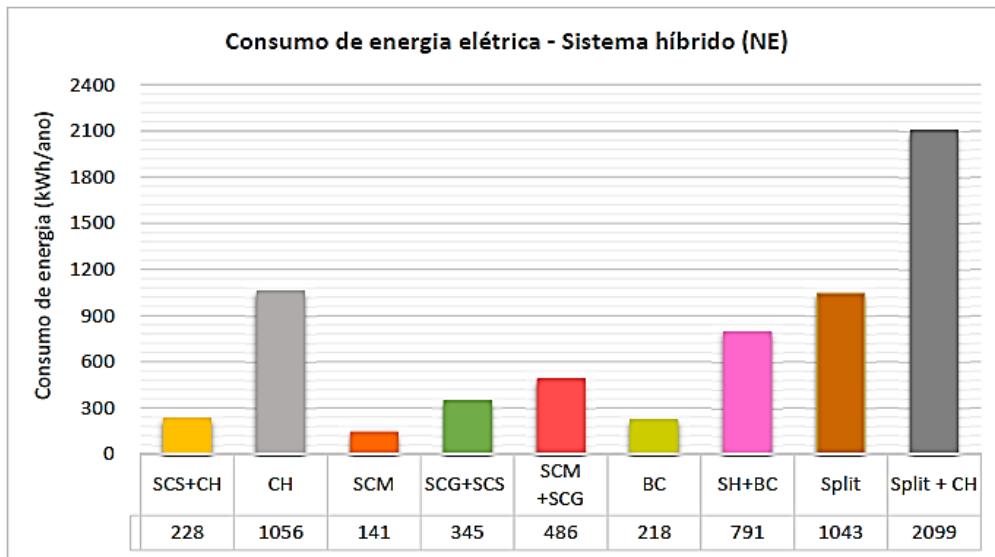
A bomba de calor contribui com 40% do consumo total do sistema híbrido na orientação Leste e 43% na orientação Oeste. Esses valores mais altos refletem condições térmicas menos favoráveis nessas orientações, resultando em uma maior operação da bomba de calor para manter termicamente favoráveis as condições internas do caso base.

Ao considerar o consumo total de SCM e SCG, o SCM representa 38% do consumo de energia, enquanto o SCG corresponde a 62%. Esses percentuais foram verificados tanto na orientação Leste quanto na orientação Oeste, indicando uma demanda semelhante de climatização para mitigar desconforto térmico em períodos de calor e frio.

Optar pelo sistema híbrido com bomba de calor em vez de um Split e chuveiro elétrico nessas orientações resulta em uma economia de energia de 64% na orientação Leste e 69% na orientação Oeste.

As Figuras 6 e 7 apresentam o consumo de energia elétrica do sistema híbrido nas orientações NE e NO.

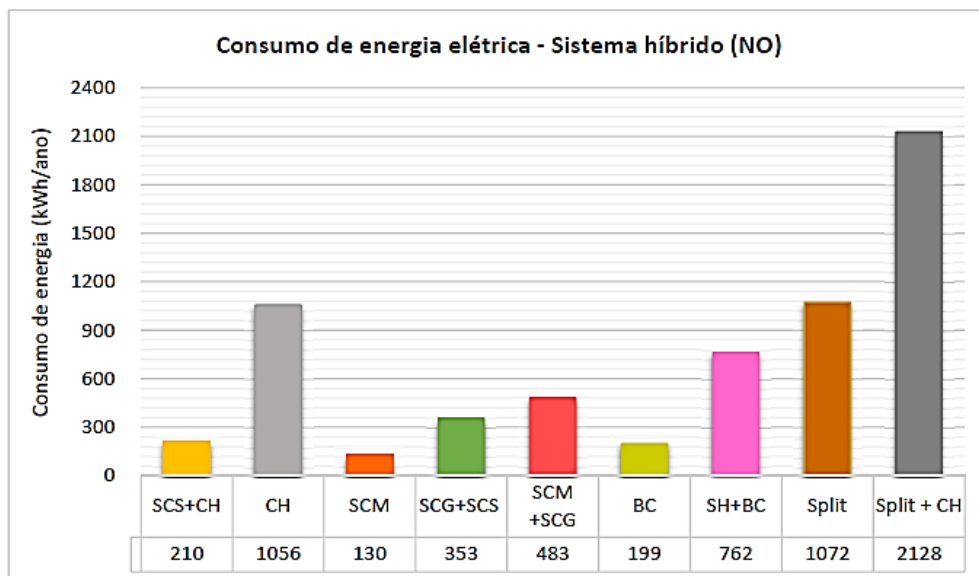
Figura 6 – Consumo anual de energia elétrica do sistema híbrido a NE



Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

Analisando as Figuras 6 e 7, constata-se que a presença do SCS para aquecimento da água resulta em uma redução significativa de 78% no consumo de energia elétrica na orientação NE e de 80% na orientação NO.

Figura 7 – Consumo anual de energia elétrica do sistema híbrido a NO



Fonte: Soares, Roberta M. D. (2021)

No que diz respeito ao consumo final do sistema híbrido, verifica-se que, na orientação NE, o SCM representa 29% do consumo de energia, enquanto o SCG responde por 71%. Na orientação NO, esses valores são de 27% para o SCM e 73% para o SCG. Esses valores elevados do SCG são devido ao desconforto considerável nos períodos quentes, exigindo

um funcionamento significativo do SCG nessas orientações, o que requer uma bomba de maior potência e, conseqüentemente, aumenta o consumo.

A parcela de consumo de energia da bomba de calor corresponde a 28% do consumo total do sistema híbrido na orientação NE e 26% na orientação NO, representando uma participação relativamente baixa no consumo total do sistema.

No que se refere a comparação do sistema híbrido com bomba de calor com a condição de um Split e chuveiro elétrico, observa-se uma economia significativa de energia, sendo de 62% na orientação NE e de 64% na orientação NO.

Sendo assim, os resultados revelaram a superioridade do sistema híbrido em termos de eficiência energética em todos os casos avaliados em relação à situação com Split e chuveiro elétrico.

4 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema híbrido solar e geotérmico com ênfase no parâmetro de eficiência energética, a partir da variação da orientação solar dos brises-placas, intitulados Subsistema de Captação Solar (SCS).

Os estudos revelaram que, independentemente da orientação solar do SCS, há uma significativa redução no consumo de energia elétrica em comparação com os cenários de apenas a operação de um chuveiro elétrico ou um sistema Split e chuveiro.

O sistema híbrido integra subsistemas que aproveitam da abundante energia solar, como também das propriedades do solo, ou seja, trata-se de um sistema que utiliza recursos naturais para o aquecimento da água de consumo e a climatização de ambientes.

Portanto, essa tecnologia apresentou um desempenho satisfatório ao contribuir para o fornecimento eficiente da energia térmica, além de incentivar o desenvolvimento de equipamentos mais sustentáveis.

Referências

- ASSAREH, Ehsanolah et al. **Optimization of geothermal- and solar-driven clean electricity and hydrogen production multi-generation systems to address the energy nexus**. Energy Nexus, v.5, p.100043, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427122000067>. Acesso em: 3 de set. de 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2017.
- CAMARGO, Mariela. **Análise do Desempenho de Dutos Enterrados para Arrefecimento de uma Habitação na Zona Bioclimática 2**. Dissertação de mestrado. Santa Maria, UFSM, 2017.

SUN, Chang, et al. **Research on multi-objective optimization of control strategies and equipment parameters for a combined heating system of geothermal and solar energy in cold and arid regions based on TRNSYS**. Case Studies in Thermal Engineering, v.50, p.103441, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X23007475>. Acesso em: 3 de set. de 2024.

COSTA JÚNIOR, Cleonildo Guimarães; OLIVEIRA, Livia da Silva. **Aplicação de sistemas híbridos de energia solar fotovoltaica e combustível fóssil em uma residência rural**. Soluções Sustentáveis para Desafios da Engenharia Contemporânea, v.1, e.1, p.27-45, 2023. Disponível em: <https://www.editoracrv.com.br/produtos/detalhes/36521-solues-sustentveis-para-desafios-da-engenharia-contempornea>. Acesso em: 3 de set. de 2024.

DORNELLES, Kellen Almeida. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex, Acrílica e PVA**. Tese de doutorado. Campinas, UNICAMP, 2008.

FLORES, Michelle Gomes. **Geração da base Climática de Santa Maria-RS para Análise de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações**. 2014. 112 p. Dissertação de mestrado, Santa Maria, UFSM, 2014.

GINJEIRA, Ana Sara Gonçalves. **Simulação e Análise Custo-Benefício de Sistemas Energéticos para uma Habitação Unifamiliar em Clima Português, com Foco em Sistemas Geotérmicos**. Dissertação de mestrado. Lisboa, Universidade de Lisboa, 2010, p. 95.

HELIOTEK. **Reservatório térmico alta e baixa pressão**. 2014. Disponível em: <http://www.heliotek.com.br/para-casa/aquecedor-solar-para-banho/reservatorios-termicos/alta-e-baixa-pressao>. Acesso em: 10 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Coletores Solares Térmicos (Aplicação Banho)**. 2020. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf>. Acesso em: 14 fev.2019.

KAMI, Eduardo Arenas. **Análise termoeconômica de sistema híbrido solar térmico integrado à unidade de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/199000>. Acesso em: 3 de set. de 2024.

LIANG, Hongpu. **Optimization of floor radiant air conditioning heating system in building heating design**. International Journal of Low-Carbon Technologies, v.16, p.205-211, mar. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350429294_Optimization_of_floor_radiant_air_conditioning_heating_system_in_building_heating_design. Acesso em: 3 de set. de 2024.

LIDDAMENT, M. W. **Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide**. Bracknell: Berkshire, 1986. Disponível em:

https://www.aivc.org/sites/default/files/members_areamedias/pdf/Guides/GU02%20AIR%20INFILTRATION%20CALCULATION%20TECHNIQUES.PDF. Acesso em: 20 abr. 2020.

LI, Lingshan; LIU Xiaohua.; ZANGH, Tao. **Performance analysis and instant/delayed characteristics of a solar heating system used in cold regions**. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710220334008#sec3.1>.

Acesso em: 3 de set. de 2024.

LONGO, Adriano José. **Instrumentação Eletrônica para Levantamento do Perfil Geométrico Superficial Visando a Troca Sustentável de Calor**. Dissertação de mestrado. Santa Maria, UFSM, 2014.

LIU, Zhijian et al. **Using Solar House to Alleviate Energy Poverty of Rural Qinghai-Tibet Region, China: A Case Study of a Novel Hybrid Heating System**. *Energy and Buildings*, v.180, e.1, p.1-10. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818317110>. Acesso em: 3 de set. de 2024.

NIAKI, Seyed Omid Daei; POURFALLAH Mohsen; GHADI, Arian Zare. **Feasibility and investigation of residential HVAC system with combined ground source heat pump and solar thermal collectors in different climates of Iran**. *International Journal of Thermofluids*, v.20, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266620272300143X>. Acesso em: 3 de set. de 2024.

NOURI, Giti; NOOROLLAHI, Younes; YOUSEFI, Hossein. **Designing and optimization of solar assisted ground source heat pump system to supply heating, cooling and hot water demands**. *Geothermics*, v.82, p.212-231, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650519301506>. Acesso em: 3 de set. de 2024.

REINERT, Dalvan. et al. **Principais solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul: Guia de Excursão**. 2. ed. 2007.

SEYAM, Sami; DINCER, Ibrahim; AGELIN-CHAAB, Martin. **Thermodynamic analysis of a hybrid energy system using geothermal and solar energy sources with thermal storage in a residential building**. *Energy Storage and Transduction Technologies*, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/est2.103>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SMAISIM, Ghassan. **Investigation and optimization of solar collector and geothermal pump hybrid system for cogeneration of heat and power with exergy-economic approach**. 2023.

SOARES, Roberta Mulazzani Doleys. **Sistema Híbrido Solar e Geotérmico para Aquecimento de Água e Condicionamento Térmico**. Tese de doutorado - Santa Maria, UFSM, 2021.

WEBER, Fernando da Silva et al. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis/SC: [s.n.], 2017. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/714>. Acesso em: 4 jul. 2020.