



ISSN: 2230-9926

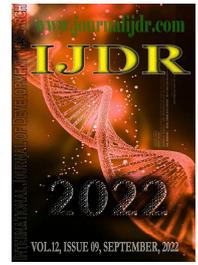
Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 12, Issue, 09, pp. 59234-59241, September, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.25398.09.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA EM UM HOSPITAL NO NORDESTE DO BRASIL

Franciele Almeida dos Santos and *Antonio Gabriel Souza Almeida

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, Brasil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 19th August, 2022

Received in revised form

11th August, 2022

Accepted 29th September, 2022

Published online 30th September, 2022

Key Words:

Eficiência Energética, Hospital, Consumo de Energia, energia Renovável, Poligeração.

*Corresponding author:

Antonio Gabriel Souza Almeida

ABSTRACT

Embora a comunidade científica afirme que a energia sustentável possa ser alcançada através de sistemas de energia renovável, um caminho mais prático e mais rápido para alcançar as metas ambientais se baseia na promoção da eficiência energética. O setor terciário desempenha um papel importante neste tema devido ao relevante consumo de energia. O objetivo deste artigo é estimar o perfil de consumo de energia de um hospital de pequeno porte localizado no Nordeste do Brasil. Por meio de uma revisão das técnicas aplicadas na literatura para estimativa dos dados, o consumo de água quente foi obtido através de alguns métodos relatados e normalizados de acordo com o tamanho e a localização do hospital. A demanda de climatização foi obtida pelo *software* de simulação TRNSYS *building* com base nos dados climáticos locais e na planta da instalação. Os resultados estimados mostraram que apenas o ar condicionado é responsável por grande parte do consumo de eletricidade, o que corresponde a 45% do total da energia elétrica usada pelo hospital. Água quente consome 10% e iluminação e equipamentos consomem, juntos, 45% da eletricidade. Os resultados obtidos servirão como base para a implantação de um sistema de poligeração no hospital aqui relatado em uma perspectiva futura.

Copyright © 2022, Franciele Almeida dos Santos and Antonio Gabriel Souza Almeida. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Franciele Almeida dos Santos and Antonio Gabriel Souza Almeida. "Estimativa do consumo de energia em um hospital no nordeste do brasil", *International Journal of Development Research*, 12, (07), 59234-59241.

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico esperado para os próximos anos pode contribuir fortemente para o aumento da demanda energética no mundo. O Relatório de Eficiência Energética de 2019 (Agência Internacional de Energia [IEA], 2019) concluiu que o ritmo de crescimento da eficiência no uso de energia está diminuindo, sendo que o ano de 2018 apresentou a menor taxa de melhoria desde o início da década. Um estudo sobre o impacto das variações das matrizes energéticas de países do G20, mostra que, mesmo com um crescimento econômico, alguns países do grupo conseguiram reduzir o consumo de energia mediante o uso de tecnologias que promovem o melhor uso das suas fontes (Salgado Junior et al., 2017). Desde 1973, quando ocorreu a crise energética, as pesquisas científicas sobre cogeração ou geração combinada de calor e eletricidade (CHP) vem aumentando, apresentando um salto significativo a partir de 2000, inclusive com o uso crescente de fontes renováveis. A preocupação com as emissões de dióxido de carbono e o efeito estufa também promoveram um maior interesse em sistemas CHP (Martinez et al., 2017). A trigerção ou geração combinada de calor, eletricidade e resfriamento (CHCP) é uma extensão da cogeração e outra alternativa para promoção de eficiência energética sendo mais conveniente que o sistema CHP em aplicações que necessitam de eletricidade, arrefecimento e aquecimento

simultaneamente (Mancarella, 2014). A poligeração, que usa várias fontes de energia para gerar vários produtos em uma única planta, apresenta grandes vantagens no uso de fontes renováveis (Jana et al., 2017). Ainda que a eficiência energética possa ser alcançada com uso de energias alternativas, os ciclos combinados mostram que esta eficiência pode ser obtida com o aproveitamento de energias que porventura são perdidas. Em uma termelétrica, por exemplo, o calor dissipado pode ser usado para produzir energia térmica para climatização e água quente, sem a necessidade de fontes renováveis ou combustíveis fósseis. (Calise et al., 2017). O Brasil possui programas eficazes de eficiência. Alguns exemplos são o Programa de Eficiência Energética (PEE), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO). Estas ações evidenciam a situação favorável do país para este mercado, possuindo um imenso potencial a ser explorado. Todavia, o Brasil ainda tem avançado pouco neste âmbito, sendo necessário consolidar e ampliar as iniciativas de eficiência energética (Zurn et al., 2017). O cenário brasileiro de demandas energéticas mostra que o setor terciário obteve o maior aumento do consumo final de energia nas últimas duas décadas devido ao crescimento da população, aumento da renda das famílias e ao crescimento do número de estabelecimentos (Empresa de Pesquisa Energética [EPE], 2018). Um aspecto importante no setor terciário do país é a geração de eletricidade no próprio estabelecimento através de combustíveis. Essa autoprodução é usada como alternativa ao uso da rede elétrica nos horários de pico e

também para evitar eventuais problemas no fornecimento de energia em segmentos críticos como hospitais (EPE, 2019). No Nordeste brasileiro, a geração de energia eólica vem aumentando exponencialmente e a energia solar também está emergindo, desde 2014, como opção promissora em municípios que apresentam grande potencial solar (Hunt. et al., 2018). Neste contexto, o semiárido brasileiro se destaca por ser uma região de recursos hídricos escassos e pobreza. Por outro lado, possui o maior potencial de geração eólica e solar do país. Desse modo, é importante estabelecer um equilíbrio no uso destes recursos. O potencial de expansão hidrelétrica para a região está praticamente esgotado, sendo 10 GW de capacidade instalada, representando 10% da geração hidrelétrica nacional. A energia solar fotovoltaica possui 1,53 GW, correspondendo a 73% da geração nacional, e ainda tem um grande potencial a ser explorado. Quanto à energia eólica, existem 12,2 GW instalados no semiárido, que corresponde a 81% da capacidade nacional, sendo que o potencial esperado para a região ainda não atingiu 50% (Pereira et al., 2020). Os hospitais usam energia de forma intensa e dependente, mas podem economizar este recurso de várias maneiras. O uso de sistemas de recuperação de calor, armazenamento térmico e fontes renováveis em condições climáticas favoráveis vem trazendo economias substanciais. Além disso, é importante ressaltar que a natureza crítica do ambiente hospitalar requer planejamento e projeto cuidadoso (ASHRAE, 2019). Como os hospitais têm uma demanda constante de calor e eletricidade durante toda a semana por 24 horas, eles são particularmente adequados para os sistemas CHP. Este setor apresenta uma relação térmica/elétrica favorável para aplicação desta tecnologia devido ao uso elevado de eletricidade, necessidade de climatização de ambientes e consumo de água quente sanitária (ASHRAE, 2015). Em um estudo sobre o potencial de integração da geração distribuída em edifícios na Califórnia, foi concluído que os hospitais representam as instalações mais compatíveis com a geração distribuída devido a demanda por cargas elétricas e térmicas planas e simultâneas (Medrano et al., 2008).

Os geradores de emergência, requeridos por lei em hospitais, comumente apresentam falhas inesperadas em momentos de falta de energia da rede elétrica. Neste caso, os sistemas de cogeração oferecem vantagens sobre os geradores de backup porque são alternativas mais seguras e ecológicas, podendo operar em paralelo com a rede ou separadamente em caso de falha. Além disso, geradores de backup fornecem apenas eletricidade, enquanto que os sistemas cogeração fornecem cargas térmicas e eletricidade. É importante ressaltar que estes sistemas não substituem os geradores de emergência em setores como os hospitais, embora possam reduzir sua capacidade e número (ICF International, 2013). Portanto, a produção própria de uma quantidade significativa da energia elétrica através ciclos combinados adequadamente configurados e dimensionados, melhora a qualidade e a confiabilidade da energia elétrica de hospitais em caso de interrupções na rede. Além disso, reduzir a carga elétrica das redes de distribuição de áreas afastadas da unidade geradora, permite liberar capacidade de atendimento a outros consumidores, o que pode trazer menores perdas e melhor infraestrutura de transmissão e distribuição. Um dos passos mais importantes ao projetar um sistema CHP ou CHCP, é a seleção dos componentes, seus tipos e tamanhos. Nesta etapa, a demanda da instalação é um parâmetro fundamental pois influencia fortemente na escolha adequada destes componentes. Além disso, deve-se garantir as necessidades energéticas e evitar desperdícios elaborando o projeto para atender completamente as cargas térmicas e elétricas, realizando recuperação ou armazenamento de calor residual, comprando eletricidade deficiente da rede ou vendendo o excesso de eletricidade, dentre outras estratégias (Al Moussawi et al., 2016). O objetivo deste artigo é estimar o consumo de energia de um hospital de pequeno porte, que também é maternidade, localizado na cidade de Buritirama, estado da Bahia, no Nordeste do Brasil. Com base nos dados mensais de consumo total de eletricidade, este estudo se propõe em analisar as três principais demandas da instalação que são: iluminação e equipamentos, água quente sanitária (chuveiro elétrico) e ar condicionado. Para climatização, o consumo foi estimado no *software* TRNSYS. Os resultados obtidos visam embasar a implantação de projetos de poligeração com energias renováveis. Em cidades

pequenas e mais isoladas do país, estes projetos se apresentam como alternativas promissoras que garantem maior segurança no fornecimento de energia para serviços críticos como o hospitalar e menores impactos ambientais.

Revisão bibliográfica

A implementação de projetos de eficiência energética em edifícios requer análises econômicas, políticas, sociais, estudos sobre as tecnologias apropriadas, condições climáticas e avaliação dos ganhos dos projetos. Estimar e mensurar os consumos e demandas de energia também é indispensável (Allouhi et al., 2015), uma vez que a descrição quantitativa do consumo permite uma melhor definição das tecnologias e suas possíveis conexões que formarão a superestrutura do projeto de poligeração (Wakui & Yokoyama, 2015). Calise et al. (2016) fizeram uma análise numérica de um sistema de trigeração em um hospital. A demanda de energia elétrica foi medida e as demandas de aquecimento e arrefecimento foram estimadas no TRNSYS, com base no modelo de construção 3D do hospital projetado no programa Google SketchUP. Para o sistema de trigeração, uma simulação dinâmica foi desenvolvida também no TRNSYS, incluindo equipamentos como motores de combustão interna, trocadores de calor e chiller de absorção. Os resultados permitiram comparar a estratégia de operação convencional com duas estratégias alternativas, considerando aspectos econômicos e energéticos como economia de energia primária e período de retorno do investimento. Utilizando um sistema de poligeração com tecnologias como o coletor solar térmico fotovoltaico concentrado, Buonmano et al. (2014) fizeram um retrofit de um sistema de trigeração de um hospital universitário localizado em Nápoles (Itália). Neste estudo, os dados de demandas elétricas e térmicas foram medidos durante o ano de 2012 com intervalos de uma hora. A produção e o consumo de eletricidade e o consumo de calor e refrigeração foram todos medidos, ao passo que o aquecimento do ambiente é calculado como uma diferença entre o consumo de calor total monitorado e aquele calculado para água quente sanitária, em função das necessidades do hospital. O sistema foi projetado e simulado no software TRNSYS e mostrou o quanto os sistemas de poligeração em hospitais podem ter alta viabilidade técnica e econômica devido a fatores como demandas praticamente constantes. Espirito Santo (2014) utilizou um sistema de aquisição de dados ou CLP (Controlador Lógico Programável) para obter os valores de demandas de eletricidade (incluindo a demanda elétrica do chiller), água quente sanitária e vapor de um hospital universitário brasileiro. Estes dados de demanda foram obtidos com uma hora de intervalo durante o ano de 2006 e agrupados em dias de semana e finais de semana/feriados correspondentes a cada estação do ano. O autor utilizou o software Cogeração com Motores de Combustão Interna (COGMCI) para simulação de um sistema de trigeração que atende aos perfis de demanda de energia cujos valores foram armazenados em um banco de dados permitindo, portanto, que diferentes configurações e parâmetros de projeto fossem relacionados a fim de obter sistemas de trigeração capazes de operar com alta eficiência. Ainda no mesmo hospital universitário brasileiro do estudo anterior, Pina et al. (2018) desenvolveram um artigo utilizando os dados reais de demanda de energia apresentados por Espirito Santo (2014) para projetar um sistema de poligeração com fontes de energia renováveis e armazenamento térmico. Três sistemas foram avaliados no software LINGO: convencional, convencional termicamente integrado e sistema de poligeração. Os dados de demanda de energia elétrica e térmica foram usados para estabelecer trocas de calor entre os fluxos quentes produzidos pelas tecnologias de geração (caldeiras, coletores solares térmicos) e os fluxos de frio associados a tecnologias que produzem serviços de energia (por exemplo, chiller de absorção). Isso permitiu que o modelo de otimização do sistema de poligeração integrasse idealmente o suprimento e a demanda de calor avaliados com base na temperatura e na potência produzida, criando assim viabilidades técnicas e econômicas para a recuperação de calor. Pagliarini et al. (2012) realizaram um estudo sobre a implementação de um sistema de trigeração em um hospital localizado em Parma, no norte da Itália. A energia elétrica fornecida ao hospital é registrada a cada hora e inclui também a energia necessária para atender à carga de resfriamento. No entanto, para este estudo, a carga de resfriamento é desconsiderada do uso de eletricidade, devido à adoção de um

resfriamento por absorção. O perfil de demanda elétrica é substancialmente inalterado durante a semana, o que já é esperado em hospitais (Medrano et al., 2008). A necessidade média diária de cargas térmicas de água quente e vapor foi estimada a partir do consumo anual assumindo-se uma distribuição uniforme das 6h às 20h e, portanto, sem armazenamento diário. O aquecimento e as cargas de resfriamento foram estimados de hora em hora pelo software TRNSYS, versão 16. A partir da estimativa da demanda, os autores analisaram a situação atual do hospital, o sistema de cogeração e o sistema de trigerção. Silva et al. (2019) simularam um sistema de cogeração para um prédio (reitoria) de um campus universitário na Paraíba, no Nordeste do Brasil. O consumo total de eletricidade da universidade foi medido, sendo que a reitoria consome 6% deste total. Para separar a energia térmica da energia elétrica, assumiu-se que todo a demanda de eletricidade poderia ser dividida em três partes: ar condicionado, iluminação e equipamentos. Conhecendo-se a capacidade de iluminação e as características de funcionamento do edifício, os autores obtiveram o consumo mensal para iluminação e equipamentos. Para a carga ar condicionado, foram levantadas as seguintes características: tipos de aparelhos usados no edifício (ar condicionado de janela e split) e o Coeficiente de Performance (COP) destes aparelhos e do chiller de absorção a ser usado no sistema de cogeração. Para a simulação foi utilizado o software TRNEdit que é sustentado pelas ferramentas do TRNSYS. Diversos testes foram feitos e envolveram equipamentos como caldeira, motor alternativo, chiller de absorção, tanque de termoacumulação, dentre outros. Foram avaliados os aspectos econômicos, técnicos e ambientais. As referências apresentadas aqui mostram o quão fundamental é monitorar, medir ou estimar as demandas e os consumos energéticos das instalações estudadas para a elaboração de sistemas de cogeração, trigerção ou poligerção. Então, é esperado que um projeto de sistemas de suprimento de energia exija, como uma das primeiras etapas, um elevado conhecimento do perfil de uso de energia da instalação em estudo, a fim de obter um planejamento econômico e estrutural das tecnologias evitando subdimensionar ou superdimensionar o projeto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme apresentado na revisão bibliográfica, estimar o consumo ou as demandas consiste na primeira etapa de projetos de poligerção. Sendo assim, este estudo se concentra na estimativa do consumo de energia de um hospital que também funciona como maternidade. Por questões de brevidade, o edifício será referido apenas como hospital ao longo do artigo.

Estudo de caso: O hospital em estudo está localizado na cidade de Buritirama, estado da Bahia, no Nordeste do Brasil, como mostra a Figura 1. É classificado como de pequeno porte, possui uma área de construção total de aproximadamente 783 m², com cerca de 15 leitos e 1 sala de parto. O hospital funciona 24 horas durante toda a semana, possui 17 colaboradores e recebe cerca de 15 pacientes por dia. O hospital utiliza eletricidade da rede de distribuição, que é usada para chuveiros elétricos, climatização, iluminação e equipamentos diversos que podem ser médicos, de escritório e itens de cozinha.

Com base em uma consulta no histórico de consumo, a administração do hospital forneceu os dados mensais de uso da energia elétrica durante um ano, entre 2018 e 2019, como está apresentado na Tabela 1. O consumo total anual consiste em 82.911 kWh, o que equivale a uma média mensal de 6.909,25 kWh e um valor de pico de 8.891 kWh. A Tabela 1 também mostra que existe um gasto maior nas estações mais quentes (de setembro a março), as quais requerem um uso mais intenso dos aparelhos de ar condicionado. Como o uso total de eletricidade inclui todas as necessidades de energia do hospital, neste estudo foram estimados, separadamente, os consumos mensais de água quente sanitária, ar condicionado e iluminação e equipamentos.



Fonte - Google Maps.

Figure 3. Localização da cidade de Buritirama na Bahia, Brasil

Tabela 1. Consumo de eletricidade por mês

MÊS	CONSUMO (KWH)
ABRIL 2018	6.056
MAIO 2018	5.380
JUNHO 2018	5.200
JULHO 2018	4.596
AGOSTO 2018	5.496
SETEMBRO 2018	6.784
OUTUBRO 2018	8.845
NOVEMBRO 2018	8.584
DEZEMBRO 2018	6.934
JANEIRO 2019	7.597
FEVEREIRO 2019	8.548
MARÇO 2019	8.891

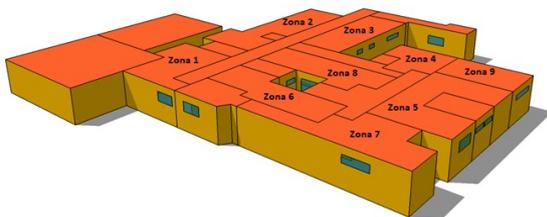
Consumo de água quente sanitária: O consumo de água quente em hospitais possui um perfil típico como mostra o estudo feito por Bujak (2010), que realizou testes sobre o uso de calor para produção de água quente sanitária durante quatro anos em dois hospitais de grande porte. O estudo proporcionou as seguintes conclusões: o consumo de calor para aquecimento da água é constante ao longo do ano; a média diária de consumo de calor é sempre maior em dias de semana do que nos finais de semana; o consumo de calor de hora em hora para aquecimento da água durante um dia possui uma considerável irregularidade. Diante disso e com base no perfil do hospital e na baixa variabilidade climática da cidade, o consumo de energia para chuveiros elétricos foi estimado mensal e diariamente. Para este cálculo foram considerados os seguintes dados: resistência de 4.600 W (Catálogo Lorenzetti, 2020) para chuveiro elétrico que é usada durante todo o ano (tendo em vista a baixa variação de temperatura), tempo aproximado para cada banho (10 minutos) e quantidade de banhos por dia (em média 30 banhos). Com estes dados, foi obtido um consumo médio de 23 kWh por dia que permanece constante ao longo do ano, variando um pouco apenas com a quantidade de dias por mês. Por outro lado, conforme estudo de Bujak (2010) e metodologias reportadas na literatura (Pina et al., 2018; Espírito Santo, 2014) este consumo possui uma elevada variação durante a semana, sendo mais baixo aos sábados e domingos. Deste modo, tais metodologias foram usadas para obtenção da proporção de uso de energia elétrica para água quente sanitária para banhos de segunda a sexta e no final de semana. A Tabela 2 mostra o perfil estimado de consumo com base no número de dias de semana e dias de finais de semana por mês para os anos de 2018 e 2019.

Tabela 2. Consumo estimado de energia para chuveiro elétrico.

	Consumo mensal (kWh/mês)	Segunda a sexta (kWh/dia)	Sábado e domingo (kWh/dia)
Janeiro	713,00	24,80	18,60
Fevereiro	644,00	24,77	18,58
Março	713,00	25,44	19,93
Abril	690,00	26,14	15,68
Mai	713,00	26,41	15,84
Junho	690,00	26,14	15,68
Julho	713,00	26,02	15,61
Agosto	713,00	25,65	15,39
Setembro	690,00	26,95	16,17
Outubro	713,00	26,28	14,98
Novembro	690,00	26,85	15,30
Dezembro	713,00	27,14	15,47

Consumo de ar condicionado: A estimativa do consumo de ar condicionado foi realizada no TRNSYS (TRAnSient SYstem Simulation), versão 17. O TRNSYS é um programa que pode simular o comportamento transitório de sistemas de energia térmica, incluindo edifícios com várias zonas. O projeto do edifício em 3D é feito no Google SketchUp e, posteriormente, é importado no TRNSYS building, onde seus parâmetros são definidos para enfim ser simulado dinamicamente com outros componentes chamados Types no ambiente Simulation Studio (TRNSYS, 2014). Tais parâmetros são dados de entrada usados em equações matemáticas. O cálculo da demanda de energia é baseado nos dados meteorológicos e de construção do edifício (paredes, teto, piso, janela), ganhos de calor internos (iluminação, pessoas, equipamentos), localização e orientação dos ambientes, dados de uso e ocupação, dentre outros.

Definição de parâmetros: Para a simulação do comportamento térmico do hospital, foram adotados dados fornecidos por sua administração. Outros dados foram estimados com base nas normas brasileiras vigentes, catálogos e manuais. A seguir é feita uma descrição dos parâmetros adotados na simulação. O projeto do edifício em 3D feito no Google SketchUp com base na planta baixa do hospital, como mostra a Figura 2, é formado por 21 zonas térmicas. Deste total, 9 zonas são climatizadas e envolvem ambientes como leitos, laboratório, sala de parto, observação de bebês, CME (Central de Material Esterilizado), dentre outros. A Tabela 3 lista as salas que fazem parte de cada uma destas 9 zonas. As salas foram agrupadas pela proximidade e por compartilharem as mesmas características térmicas, a fim de obter um modelo simples e preciso do edifício. As demais zonas correspondem a ambientes não climatizados que são os banheiros, corredores, depósito e SAMU. Os corredores foram divididos e projetados em 4 zonas, no entanto, as paredes adjacentes entre eles foram configuradas como superfícies virtuais que são eliminadas ao serem importadas no TRNSYS building, permitindo o acoplamento dessas 4 zonas térmicas durante a simulação. Após a importação do edifício 3D no TRNSYS building, foram definidos os parâmetros para simulação. As transmitâncias foram calculadas com base nos elementos construtivos (paredes externas e adjacentes, teto, piso, janelas) selecionados na biblioteca padrão do software e verificados em catálogos nacionais (INMETRO, 2017). Para as janelas, é apresentado o valor da transmitância do conjunto formado por vidro e moldura. As portas são de madeira e foram modeladas como parede externa. O uso do ar condicionado no hospital em estudo ocorre durante todo o ano.

**Figura 2. Planta 3D do hospital projetada no SketchUp com indicação das zonas climatizadas**

A Norma Regulamentadora Brasileira (NBR) 7265/2005 (ABNT, 2005) apresenta as faixas de temperaturas que devem ser consideradas como parâmetros de projeto para cada tipo de ambiente hospitalar. Para os ambientes climatizados presentes no hospital em estudo, a norma prevê uma faixa de temperatura de 21 a 24 °C. A única exceção é a sala de parto que é o ambiente mais crítico e, portanto, a norma estabelece uma faixa de temperatura de 18 a 22°C. Como o objetivo desta etapa é conhecer o atual consumo de energia elétrica para o ar condicionado, foram admitidas como temperaturas de uso 22° C para a sala de parto e 24°C para os demais ambientes, isto é, os valores máximos permitidos pela norma. Os cálculos de infiltração de ar foram realizados com base em metodologias reportadas na literatura (Carrier Air Conditioning, 2017). Para este cálculo, foi verificada a velocidade média do vento para a cidade de Curitiba que corresponde a uma média anual de 7,17 km/h, conforme resultados obtidos no TRNSYS através dos dados meteorológicos. Além disso, são consideradas as áreas das portas e janelas de acordo com o projeto arquitetônico do hospital. A infiltração varia entre os valores mínimo e máximo de 0,05 e 0,95 renovações por hora para sala de parto (zona 9) e recepção (zona 7), respectivamente. Este estudo não envolveu parâmetros de ventilação mecânica, pois o hospital não possui sistemas ou equipamentos com esta finalidade. A ventilação natural em edifícios comerciais, através do uso descontrolado de janelas, por exemplo, pode não ser desejável do ponto de vista da conservação de energia, conforto, segurança ou controle de outros poluentes (ASHRAE, 2017). Portanto, a ventilação natural também não foi abordada neste estudo, pois admite-se que portas e janelas ou basculantes permanecem fechados no hospital. As taxas de calor sensível e latente liberadas por pessoas foram verificados na norma NBR 16401-1/2008 que trata de instalações de ar condicionado (ABNT, 2008). Os dados usados foram obtidos no TRNSYS building, que fazem referência a ISO 7730, e correspondem, aproximadamente, aos valores consultados na referida norma brasileira. A ocupação total do hospital, cerca de 32 pessoas, é distribuída pelas zonas climatizadas. Além disso essa ocupação varia ao longo do dia. Para iluminação artificial, foram consultadas as normas NBR 5413/1992 que aborda iluminação de interiores (ABNT, 1992) e a norma NBR 16401-1/2008 (ABNT, 2008), já mencionada. Os equipamentos também são importantes fontes de carga térmica. Diante disso e tendo em vista o perfil do hospital, foram considerados equipamentos hospitalares e equipamentos de escritório e seus ganhos térmicos por convecção e radiação (Hosni et al. [s.d.]). Para iluminação e equipamentos foram configurados perfis de uso diferenciados conforme hora do dia, ocupação, dia da semana e porte do hospital. Todos os parâmetros descritos estão resumidos nas Tabelas 3 e 4.

Modelo de simulação: Após a definição dos parâmetros no TRNSYS building, foi feita a simulação dinâmica do sistema durante um ano com intervalo de uma hora. Para executar o projeto de simulação dinâmica, são criadas conexões entre os componentes encontrados na biblioteca do TRNSYS. Os principais componentes usados neste artigo foram o Type 56 (edifício), o Type 15 (dados climáticos) e o Type 77 (temperatura do solo).

Tabela 3. Ambientes climatizados e parâmetros por zona térmica

Zona	Ambientes climatizados	Área (m ²)	Infiltração (ren/h)
1	Laboratório e sala de leitos	38,95	0,39
2	Sala de leitos masculinos, lavagem, CME simplificada, esterilização, guarda de material esterilizado. Mais 2 ambientes não identificados.	59,02	0,27
3	Posto de medicamentos e enfermagem, câmara escura, câmara clara, sala de raio-x, sala de comando, farmácia	46,03	0,12
4	Sala de pré-parto, cuidados do bebê, escovação	24,19	0,20
5	Sala de leitos pós-parto, posto de enfermagem, sala de leitos pediátricos	46,59	0,39
6	Salas de paramentação, isolamento, gesso e sutura	36,42	0,48
7	Recepção e área de acolhimento	38,11	0,95
8	Sala de leitos femininos clínicos e sala de observação de bebês	39,20	0,30
9	Sala de parto	24,28	0,05

Tabela 4. Parâmetros gerais do hospital

Parâmetros	Dados
Transmitâncias (W/m²K)	Parede externa: 2,021 Parede adjacente: 2,021 Teto externo: 1,909 Piso: 2,084 Janela: 5,325
Temperaturas (°C)	Zonas 1-8: 24 Zona 9: 22
Ocupação geral	17 colaboradores 15 pacientes por dia (em média)
Ocupação em porcentagem conforme horário	Dia de semana: 7 h às 18 h: 100% e 18 h às 7h: 50% Final de semana 7 h às 18 h: 70% e 18 h às 7 h: 50%
Iluminação em porcentagem conforme horário	Dia de semana 7 h às 18 h: 100% e 18 h às 7 h: 80% Final de semana 7 h às 18 h: 80% e 18 h às 7 h: 60%
Ganhos por pessoas (W/pessoa)	Zonas 1-9 (exceto zona 7) Calor latente: 95 Calor sensível: 90 Zona 7 (recepção) Calor latente: 75 Calor sensível: 75
Ganhos por iluminação (W/m²)	Corredores e zonas climatizadas: 10 Banheiros: 5
Ganhos por equipamentos (W radiação + convecção)	58,5-1350

O componente Type 56 modela o comportamento térmico do edifício. Devido à complexidade de uma construção com várias zonas térmicas, os parâmetros do Type 56 são definidos no TRNSYS building. Em seguida, o TRNSYS building gera arquivos que serão usados pelo componente Type 56 na simulação. O modelo de construção deste componente consiste em um balanço energético dos fluxos de calor que ocorrem por convecção, radiação e condução, cuja abordagem será mostrada a seguir de forma breve.

O modelo de convecção é representado pela equação (1):

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{sup,i} + \dot{Q}_{inf,i} + \dot{Q}_{vent,i} + \dot{Q}_{gc,i} + \dot{Q}_{zona,i} + \dot{Q}_{solar,i} + \dot{Q}_{abs,i} \quad (1)$$

Onde $\dot{Q}_{sup,i}$ é o ganho convectivo das superfícies; $\dot{Q}_{inf,i}$ é o ganho por infiltração; $\dot{Q}_{vent,i}$ é o ganho por ventilação; $\dot{Q}_{gc,i}$ são os ganhos internos convectivos por pessoas, equipamentos, iluminação, dentre outras fontes; $\dot{Q}_{zona,i}$ é o ganho devido ao fluxo de ar das zonas adjacentes; $\dot{Q}_{solar,i}$ é a fração de radiação solar que entra na zona através de janelas externas e $\dot{Q}_{abs,i}$ é a radiação solar absorvida por todos os dispositivos internos da zona. Para estes dois últimos termos da equação, a radiação solar absorvida é transferida como um ganho convectivo para o ar interno (TRNSYS, 2014).

O fluxo de energia radiativa considerando a superfícies de uma parede pode ser descrita pela equação (2):

$$\dot{Q}_{rad,p_i} = \dot{Q}_{gri,p_i} + \dot{Q}_{sol,p_i} + \dot{Q}_{longa,p_i} + \dot{Q}_{ganho,p} \quad (2)$$

Onde \dot{Q}_{rad,p_i} é o ganho radiativo para o “nó” de temperatura da superfície da parede; \dot{Q}_{gri,p_i} é o ganho radiativo interno (por iluminação e equipamentos, por exemplo) recebido pela parede; \dot{Q}_{sol,p_i} são os ganhos solares recebidos pelas paredes através das janelas da zona; \dot{Q}_{longa,p_i} é a troca de radiação de ondas longas entre essa parede e todas as outras paredes e janelas; $\dot{Q}_{ganho,p}$ é o fluxo de calor especificado pelo usuário para a superfície da parede ou janela (TRNSYS, 2014).

Para qualquer parede, a condução de calor nas superfícies é definida pelas equações (3) e (4):

$$\dot{q}_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{bs}} b_s^k T_{s,e}^k - \sum_{k=0}^{n_{cs}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{ds}} d_s^k \dot{q}_{s,i}^k \quad (3)$$

$$\dot{q}_{s,e} = \sum_{k=0}^{n_{as}} a_s^k T_{s,e}^k - \sum_{k=0}^{n_{bs}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{ds}} d_s^k \dot{q}_{s,e}^k \quad (4)$$

Essas equações de série temporal em termos de temperaturas de superfície e fluxos de calor são avaliadas em intervalos de tempo iguais. O sobrescrito k refere-se ao termo na série temporal. A hora atual é k = 0, a hora anterior é k = 1. Os coeficientes das séries temporais (a, b, c, d) são determinados no programa TRNSYS building. Nas equações (4) e (5), $\dot{q}_{s,i}$ é o fluxo de calor por condução de dentro da parede para a superfície interna; $\dot{q}_{s,e}$ é o fluxo de calor por condução da superfície externa para dentro da parede; $T_{s,i}$ e $T_{s,e}$ são as temperaturas da superfície interna e externa, respectivamente. A transmissão de calor por condução nas paredes e janelas, dadas as temperaturas da superfície interna e externa, envolve os fluxos de calor por radiação e o fluxo de calor por convecção da superfície interna para o ar interno e do ambiente externo para a superfície externa (TRNSYS, 2014). Os dados climáticos foram processados pelo Type 15. Este componente lê e interpreta os dados climáticos disponíveis em uma série de formatos padronizados (TRNSYS, 17). Neste estudo, a base de dados meteorológicos usada foi a do Energy Plus, pois contém arquivos para a cidade de Buritirama. Além disso, este componente gera vários indicadores, como os usados neste estudo: temperatura máxima, mínima e média (mensais e anuais), irradiação solar, velocidade do vento, dentre outros. O perfil simples de temperatura do solo é determinado pelo Type 77. Este componente modela a distribuição vertical de temperatura do solo. Para isso, são considerados dados como a temperatura média da superfície, a amplitude da temperatura da superfície, o dia do ano correspondente à temperatura mínima da superfície e a difusividade térmica do solo (TRNSYS, 17).

RESULTADOS

Análise do consumo energético do hospital: A Figura 6 mostra a estimativa da potência térmica de ar condicionado durante um ano para o hospital de Buritirama. Na Figura 6 (a) é possível visualizar a potência térmica obtida de hora em hora. A Figura 6 (b) mostra os resultados horários integrados por mês. O consumo de ar condicionado é menor nos meses mais frios (abril a agosto), nos quais há uma leve diminuição da temperatura. Para uma melhor compreensão do comportamento energético do hospital, foram selecionados dois dias típicos, no verão e no inverno.

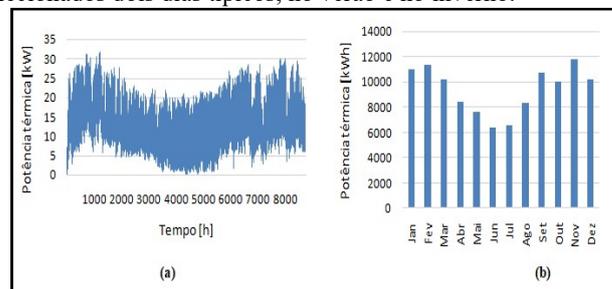


Figura 6. Potência térmica do ar condicionado para 1 ano - a) hora em hora; b) mensal.

A Figura 7 mostra as potências térmicas para o uso de ar condicionado para um dia típico de verão, em 21 de fevereiro, e para um dia típico de inverno, em 21 de julho. Em ambos os dias, o perfil de consumo é semelhante. A demanda da potência térmica para climatização dos ambientes começa a crescer às 7 horas, horário que coincide com o início da ocupação máxima que permanece até às 18 horas. No intervalo de 11 horas até as 16 horas o crescimento continua, mas de uma forma menos acelerada.

Tabela 5. Consumo de energia elétrica (comparação com o consumo mensal do hospital)

Mês	Ar condicionado (kWh)	Ar condicionado (%)	Chuveiro elétrico (kWh)	Chuveiro elétrico (%)	Iluminação e equipamentos (kWh)	Iluminação e equipamentos (%)
Janeiro	3655,88	48,12	713,00	9,39	3259,12	42,49
Fevereiro	3773,33	44,14	644,00	7,53	4158,67	48,32
Março	3404,15	38,29	713,00	8,02	4804,85	53,69
Abril	2792,27	46,11	690,00	11,39	2603,73	42,50
Mai	2526,09	46,95	713,00	13,25	2171,91	39,79
Junho	2128,59	40,93	690,00	13,27	2411,41	45,80
Julho	2179,40	47,42	713,00	15,51	1734,60	37,07
Agosto	2788,89	50,74	713,00	12,97	2025,11	36,28
Setembro	3583,66	52,83	690,00	10,17	2540,34	37,00
Outubro	3348,07	37,85	713,00	8,06	4814,93	54,09
Novembro	3930,95	45,79	690,00	8,04	3993,05	46,17
Dezembro	3391,31	48,91	713,00	10,28	2860,69	40,81

O pico de consumo acontece às 16 horas e a partir deste horário começa a diminuir atingindo os valores mínimos entre 1 hora e 7 horas. Essa diminuição da potência térmica que se inicia a noite e continua até as 7 horas acontece devido as menores temperaturas ambientes atingidas neste horário, bem como devido a menor ocupação de colaboradores e pacientes no hospital.

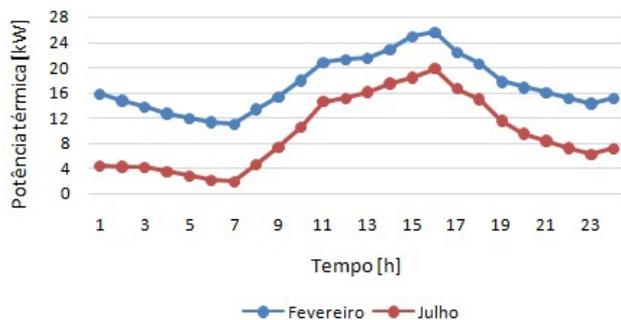


Figura 7. Potência térmica para um dia típico de verão (fevereiro) e um dia típico de inverno (julho)

A Figura 8 mostra a razão entre as potências térmicas do dia típico de verão e do dia típico de inverno. Observa-se que de 11 horas até as 18 horas o consumo no verão é cerca de 30 a 40 % maior que no inverno. A partir das 18 horas o consumo no verão em comparação ao inverno aumenta significativamente, atingindo a maior razão às 7 horas, quando é cerca de 6 vezes maior que no inverno.

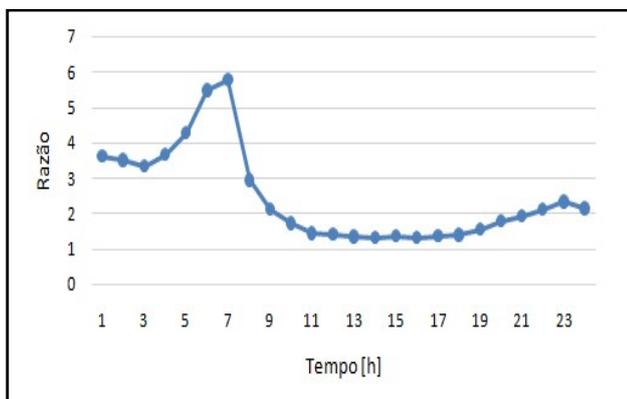


Figura 8. Razão entre as potências térmicas do dia típico de verão e do dia típico de inverno

O hospital é climatizado com aparelhos de ar-condicionado do tipo split. Segundo o mais recente selo PROCEL de economia de energia atualizado em 2018 (INMETRO, 2018), os aparelhos do tipo split de classe A devem possuir um COP maior que 3,23; para a classe B este coeficiente deve ficar entre 3,02 e 3,23; para classe C o COP deve estar entre 2,81 e 3,02; para a classe D deve ficar entre 2,60 e 2,81.

No entanto, neste estudo, para o cálculo da energia elétrica consumida pelos equipamentos de ar-condicionado, foi adotado o selo PROCEL de 2014 (INMETRO, 2014), uma vez que os equipamentos instalados no hospital são antigos, o que diminui sua eficiência. Sendo assim, o valor do COP adotado foi de 3,0 que se enquadra na classe B do selo PROCEL de 2014. Diante da potência térmica obtida na simulação para a climatização do hospital e do COP, foi calculado o consumo de energia elétrica cujos resultados estão apresentados, mês a mês, na Tabela 5, assim como o consumo para chuveiro elétrico estimado no item 3.2 deste artigo. Com estes dados e conhecendo-se o gasto total do hospital, foram encontrados os resultados para iluminação e equipamentos que também estão na Tabela 5. Além disso, são apresentadas as porcentagens equivalentes ao consumo de cada item. Os resultados deste estudo mostram que, no hospital de Buritirama, 45% do consumo de energia elétrica da concessionária se destina para climatização, 10% é para chuveiros elétricos e 45% é para iluminação e equipamentos. Tais resultados são corroborados por alguns estudos como o realizado por Shen et al. (2019) que analisa o perfil de consumo de um hospital localizado numa cidade com verão quente e inverno frio. Neste edifício, é usado cerca de 40% da energia total para climatização do ambiente e 7% para água quente sanitária. Outros balanços de energia em hospitais mostram que as demandas de aquecimento e arrefecimento podem corresponder a 48% do consumo total (Çongradac et al., 2012).

Perspectiva para o sistema de poligeração: Conhecendo-se as características climáticas da cidade e o perfil de consumo do edifício, já é possível realizar uma breve análise sobre a viabilidade de aplicação de tecnologias em um futuro sistema de poligeração com energias alternativas no hospital em estudo. Buritirama está localizada no semiárido brasileiro, na mesorregião do Vale do São Francisco, onde se encontram as temperaturas mais elevadas do estado da Bahia. O clima na cidade se caracteriza por altas temperaturas com baixa amplitude térmica e uma média anual de 26,3 °C. A irradiação global horizontal também sofre pouca variação apresentando uma média de 2.151 kWh/m²/ano. A média anual da velocidade do vento é de 1,9 m/s que permanece praticamente constante ao longo do ano. O semiárido nordestino se destaca ainda pela baixa nebulosidade e elevada insolação direta o que favorece o uso da energia solar (Atlas Solar da Bahia, 2018). No hospital, os gastos com aquecimento de água apenas para banho chegam a 10% do total de energia elétrica consumida. A tecnologia para conversão de energia solar em energia térmica é simples e tem a aplicação mais difundida no país, principalmente em substituição a sistemas de aquecimento elétrico com chuveiros ou a gás (Atlas brasileiro de energia solar, 2017). O consumo de ar condicionado que corresponde a 45% do total de energia elétrica é outra demanda que pode ser atendida por energia térmica solar. Neste caso, destacam-se os sistemas resfriadores por absorção. Como observado na Figura 7, a maior demanda de potência térmica do ar condicionado ocorre no horário comercial, isto é, existe uma coincidência entre os picos de demanda de energia de sistemas de condicionamento de ar e a intensidade de irradiação solar. A partir das 16 horas o consumo começa a diminuir, mas ainda é

significativo, visto que o hospital funciona por 24 horas. Além disso, a razão entre as potências térmicas dos dias típicos de verão e inverno (Figura 8) mostra que o consumo de ar condicionado a partir das 18 horas no dia típico de verão é consideravelmente maior do que no dia típico de inverno. Diante deste cenário, outra vantagem da refrigeração solar é a possibilidade de armazenar a energia térmica tanto na forma de calor para uso posterior no sistema de absorção, como na forma de água gelada que pode ser usado diretamente nos sistemas de distribuição de ar

(Atlas brasileiro de energia solar, 2017). A geração solar fotovoltaica também é uma alternativa promissora que pode atender as demandas de iluminação e equipamentos, cujos resultados apontam um consumo de 45% da energia elétrica total. Além de estar em um local com uma constante e alta irradiação solar, o hospital possui somente pavimento térreo, o que certamente favorece a instalação de painéis fotovoltaicos e coletores solares térmicos. Existe ainda uma possível complementaridade entre a produção de energia a partir de fontes solar e eólica. A geração simultânea com o uso das duas tecnologias pode reduzir a variação no fornecimento de energia (Atlas solar da Bahia, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo estimou o consumo de energia de um hospital e maternidade localizado na região Nordeste do Brasil, na cidade de Buritirama. O consumo de água quente foi calculado, mensalmente, e equivale a 10% do gasto total de eletricidade. Para estimar a carga de climatização foi realizada uma simulação de hora em hora no TRNSYS com base no projeto arquitetônico do edifício. Para a definição dos parâmetros da simulação foram utilizados dados fornecidos pelo hospital, catálogos e normas aplicáveis a ambientes hospitalares, de modo a configurar o perfil mais próximo do consumo real, cujo resultado correspondeu a 45% do total. Por fim, com estes dois resultados e consumo total, foi encontrado o consumo para iluminação e equipamentos que também é responsável por 45% do uso de energia elétrica. Tais resultados mostram que apenas o sistema de ar condicionado utilizado no hospital é responsável pela maior parte do consumo de eletricidade.

O sistema de climatização em estabelecimentos de saúde é fundamental para o controle de infecções e para propiciar condições específicas para operação de equipamentos clínicos. Diante disso, o presente estudo mostrou a importância da busca por alternativas que atendam às necessidades de climatização dentro das emergentes necessidades de eficiência energética e de acordo com os critérios e requisitos estipulados em normas. Este trabalho foi uma pré-análise para verificar a viabilidade de implementação de sistemas de poligeração e concentrou-se na primeira etapa do projeto que é a estimativa de consumo. Os perfis encontrados permitem visualizar o comportamento energético do hospital e servem como base para futuros estudos que visam integrar e explorar o uso de diferentes tecnologias como coletores solares térmicos, painéis fotovoltaicos, *chiller* de absorção, tanques de termoacumulação, dentre outros. Os sistemas de poligeração são altamente aplicáveis em hospitais e se tratando deste estudo de caso, o clima local possui diversos aspectos favoráveis, principalmente para o uso de fontes renováveis. Pretende-se analisar nos próximos trabalhos a demanda por ambiente, coletando maior quantidade de dados reais e medindo o consumo quando possível.

REFERÊNCIAS

Al Moussawi, H., Fardoun, F., & Louahia-Gualous, H. (2016). Review of tri-generation technologies: design evaluation, optimization, decision-making, and selection approach. *Energy*

- Conversion and Management*, 120, 157–196. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.085>
- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2015). *Combined Heat and Power - Design Guide*. Atlanta.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *Handbook of Fundamentals*. Atlanta.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2019). *Handbook of Applications*. Atlanta.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2008). NBR 16401-1/2/3: Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). NBR 7256: Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 5413: Iluminação de interiores. Rio de Janeiro.
- Atlas brasileiro de energia solar. (2017). 2ª edição. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- Atlas solar da Bahia. (2018). Elaborado por AWS Truepower, Camargo Schubert Engenheiros Associados, FIEB/SENAI CIMATEC. Curitiba.
- Bujak, J. (2010). Heat consumption for preparing domestic hot water in hospitals. *Energy and Buildings*, 42(7), 1047–1055. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.017>
- Buonomano, A., Calise, F., Ferruzzi, G., & Vanoli, L. (2014). A novel renewable polygeneration system for hospital buildings: Design, simulation and thermo-economic optimization. *Applied Thermal Engineering*, 67 (1–2), 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.03.008>
- Calise, F., d'Accadia, M. D., Libertini, L., Quiriti, E., & Vicidomini, M. (2016). Dynamic Simulation and Optimum Operation Strategy of a Trigeneration System Serving a Hospital. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9 (4), 854–867. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2016.854.867>
- Calise, F., d'Accadia, M. D., Libertini, L., Quiriti, E., & Vicidomini, M. (2017). A novel tool for thermoeconomic analysis and optimization of trigeneration systems: A case study for a hospital building in Italy. *Energy*, 126, 64–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.010>
- Carrier Air Conditioning. (2017). *Handbook of air conditioning system design*. Barcelona: Marcombo.
- Čongradac, V., Prebiračević, B., Jorgovanović, N., & Stanišić, D. (2012). Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals. *Energy and Buildings*, 48, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.022>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2018). Cenários de Demanda para o Plano Nacional de Energia 2050. Recuperado em 02 de março de 2020 de: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2019). Atlas de Eficiência Energética Brasil – Relatório de Indicadores. Recuperado em 02 de março de 2020 de: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2019>
- Energy Plus. Weather data by region. Recuperado em 13 de fevereiro de 2020 de: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA%20%20
- Hosni, M. H., Jones, B. W., & Xu, H. ([s.d.]). Experimental Results for Heat Gain and Radiant/Convective Split from Equipment in Buildings. 13.
- Hunt, J. D., Stilpen, D., & de Freitas, M. A. V. (2018). A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88, 208–222. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.030>

- ICF International. (2013). Combined Heat and Power: Enabling Resilient Energy Infrastructure for Critical Facilities. Tennessee. Recuperado em 02 de março de 2020 de: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/chp_critical_facilities.pdf
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (2017). Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros - Anexo da Portaria INMETRO Nº 50/ 2013. Recuperado em 18 de abril de 2020 de: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf>
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (2014). ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Selo PROCEL de Economia de Energia. Condicionadores de ar split hi-wall. Recuperado em 07 de julho de 2020 de: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionador_de_ar_split_hi_wall.pdf
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (2018). ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Selo PROCEL de Economia de Energia. Condicionadores de ar split hi-wall. Recuperado em 07 de julho de 2020 de: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionador_de_ar_split_hi_wall.pdf
- International Energy Agency. (2019). Energy Efficiency 2019 - The authoritative tracker of global energy efficiency trends. Paris. Recuperado em 20 de março de 2020 de: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>
- Jana, K., Ray, A., Majoumerd, M. M., Assadi, M., & De, S. (2017). Polygeneration as a future sustainable energy solution – A comprehensive review. *Applied Energy*, 202, 88–111. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.129>
- Lorenzetti. (2020). Catálogo de duchas, chuveiros, torneiras e aquecedores elétricos de água. Recuperado em 03 de julho de 2020 de <https://www.lorenzetti.com.br/docs/default-source/cat%C3%A1logos/ad.pdf>
- Mancarella, P. (2014). MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models. *Energy*, 65, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.041>
- Martinez, S., Michaux, G., Salagnac, P., & Bouvier, J.-L. (2017). Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources. *Energy Conversion and Management*, 154, 262–285. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.035>
- Medrano, M., Brouwer, J., McDonell, V., Mauzey, J., & Samuelsen, S. (2008). Integration of distributed generation systems into generic types of commercial buildings in California. *Energy and Buildings*, 40(4), 537–548. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.005>
- Pagliarini, G., Corradi, C., & Rainieri, S. (2012). Hospital CHP system optimization assisted by TRNSYS building energy simulation tool. *Applied Thermal Engineering*, 44, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.04.001>
- Pereira, M. G., Silva, N. F. da, Galvão, M. L. de M., & Dantas, E. J. de A. (2020). Scarcity and Abundance in the Brazilian Semi-arid: The Strategies for Harnessing the Renewable Energy Potential of the Region (Re)Differentiating the Territory. In *Encyclopedia of the World's Biomes* (p. 209–215). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12099-8>
- Pina, E. A., Lozano, M. A., & Serra, L. M. (2018). Optimal design of polygeneration systems supported with renewable energy sources and energy storage for a Brazilian hospital. 13.
- Salgado Junior, A. P., Pimentel, L. A. dos S., Oliveira, M. M. B. de, & Novi, J. C. (2017). O impacto nas variações das matrizes energéticas e uso da terra: estudo sobre a eficiência ambiental do G20. REAd. *Revista Eletrônica de Administração* (Porto Alegre), 23(2), 306–332. <https://doi.org/10.1590/1413.2311.013.62781>
- Santo, D. B. do E. (2014). An energy and exergy analysis of a high-efficiency engine trigeneration system for a hospital: A case study methodology based on annual energy demand profiles. *Energy and Buildings*, 76, 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.014>
- Shen, C., Zhao, K., Ge, J., & Zhou, Q. (2019). Analysis of Building Energy Consumption in a Hospital in the Hot Summer and Cold Winter Area. *Energy Procedia*, 158, 3735–3740. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.883>
- Silva, H. C. N., Dutra, J. C. C., Costa, J. A. P., Ochoa, A. A. V., dos Santos, C. A. C., & Araújo, M. M. D. (2019). Modeling and simulation of cogeneration systems for buildings on a university campus in Northeast Brazil – A case study. *Energy Conversion and Management*, 186, 334–348. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.02.062>
- TRNSYS 17. (2014). A TRaNsient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin. Madison.
- Zurn, H. H., Tenfen, D., Rolim, J. G., Richter, A., & Hauer, I. (2017). Electrical energy demand efficiency efforts in Brazil, past, lessons learned, present and future: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1081–1086. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.037>
