

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO (2025.1)

**ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO
NA SALA 16 DO BLOCO DE AULAS VII DA UFERSA, CAMPUS MOSSORÓ:
PROPOSTAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Osayr Moraes Dantas (Aluno)

Idalmir de Souza Queiroz Júnior (Orientador)

RESUMO: Esta pesquisa terá como propósito analisar o consumo energético do sistema de ar-condicionado na Sala 16 do Bloco de Aulas VII da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Mossoró, com o objetivo de propor medidas para otimizar o uso e reduzir os custos sem comprometer o conforto térmico. Diante do aumento das temperaturas no semiárido, o uso intensivo desses equipamentos eleva os gastos energéticos da universidade. O estudo avalia o desempenho atual dos aparelhos para identificar fatores que impactam o consumo, como subutilização, falta de manutenção ou configurações inadequadas. A metodologia adotada combina medições diretas de consumo com a análise de dados fornecidos pela instituição, em uma abordagem quantitativa e qualitativa. Com base nessa análise, o projeto propõe estratégias como ajuste de temperaturas padrão, selos de eficiência energética e conscientização de usuários. A relevância do trabalho justifica-se pela necessidade de reduzir custos e alinhar as operações da UFERSA a práticas ambientais responsáveis. Os resultados obtidos na Sala 16 podem servir como um modelo para outras dependências do campus, contribuindo para a sustentabilidade institucional. O estudo reforça a importância da gestão energética em edifícios públicos, especialmente em regiões de clima extremo.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Ar-Condicionado, Sustentabilidade.

1INTRODUÇÃO

O alto consumo de energia em edifícios, especialmente em regiões de clima extremo, tem se tornado um desafio financeiro e ambiental significativo. Em ambientes acadêmicos situados em regiões de clima semiárido, como o nordeste brasileiro, a necessidade de refrigeração para garantir o conforto térmico é um fator que contribui para o aumento substancial dos custos energéticos das instituições. O uso de equipamentos de ar-condicionado é intensivo, o que demanda a busca por soluções sustentáveis para a gestão energética (Cosmo, 2021).

O estudo busca avaliar o desempenho atual dos aparelhos, identificando fatores como subutilização, falta de manutenção ou configurações inadequadas que impactam o consumo. Com base nisso, propõe estratégias como ajuste de temperaturas padrão, selos de eficiência energética e conscientização de usuários, visando otimizar o uso. Além da redução de custos, a pesquisa busca alinhar as operações da UFERSA a práticas ambientais responsáveis, contribuindo para metas institucionais de sustentabilidade. Os resultados podem servir como modelo para outras salas, ampliando o impacto positivo no campus. A abordagem combina análise quantitativa de dados energéticos com avaliações qualitativas de conforto, garantindo que as soluções sejam técnicas e viáveis.

Nesse contexto, o trabalho posto em tela investiga o consumo energético do sistema de ar-condicionado na Sala 16 do Bloco de Aulas VII da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Campus Mossoró, visando propor medidas de eficiência energética que não comprometam o conforto térmico dos usuários. O problema reside no elevado gasto com energia elétrica, e o estudo busca identificar fatores como a subutilização, falta de manutenção e configurações inadequadas que impactam o consumo. A relevância deste estudo é justificada pela possibilidade de que a Sala 16 possa servir como um modelo para outras áreas do campus.

A relevância científica deste estudo reside na análise de uma problemática específica e contextualizada na UFERSA, com o objetivo de fornecer dados concretos que possam ser extrapolados para outras edificações em contextos climáticos similares. A pesquisa alinha-se a discussões acadêmicas sobre a gestão de recursos em edifícios públicos e a necessidade de práticas mais eficientes e sustentáveis endossando sua relevância no ambiente universitário. A busca por uma solução para o alto consumo de energia reforça o papel da universidade como uma instituição comprometida com a responsabilidade socioambiental. A presente pesquisa, portanto, contribuirá para a geração de dados e para a conscientização sobre o uso eficiente de energia e a importância do conforto térmico em ambientes de ensino.

A busca por sustentabilidade e eficiência em edifícios públicos não se limita apenas à redução do consumo elétrico. A água, um recurso natural essencial, tem sua distribuição irregular e seu consumo acelerado, o que tem levado à adoção de fontes alternativas para usos não potáveis. Estudos têm demonstrado a viabilidade e segurança da reutilização da água proveniente de sistemas de ar-condicionado, que é derivada da umidade do ar. Um estudo que Cosmo (2021) realiza na Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Crateús, constatou que a água condensada era de qualidade adequada para irrigação e limpeza, podendo gerar uma economia anual e ser uma alternativa segura para fins não potáveis. Sua pesquisa, que dimensionou sistemas de coleta e armazenamento do tipo SPANP-C, reforça o potencial de benefícios não apenas financeiros, mas também socioambientais.

A otimização do uso dos equipamentos de ar-condicionado também está intrinsecamente ligada ao conceito de conforto térmico, um "estado da mente que expressa satisfação térmica com o ambiente" (Sousa, 2018, p. 13). Sousa (2018) analisou as sensações, percepções e preferências de pessoas com históricos térmicos distintos em ambientes climatizados e naturalmente ventilados, no semiárido paraibano. Sua pesquisa demonstra que a percepção, a preferência térmica e o método de resfriamento são influenciados pela exposição a ambientes condicionados artificialmente e a espaços externos. A autora concluiu que a preferência por ambientes frios em cidades quentes é uma tendência, opondo-se à ideia de que a neutralidade térmica é sempre necessária.

A partir da análise do consumo energético na Sala 16 e das propostas para eficiência energética, este trabalho de conclusão de curso busca contribuir para a sustentabilidade da UFERSA, com resultados que podem servir de base para projetos futuros. Este estudo se alinha à crescente necessidade de gerenciar o consumo de energia em edifícios públicos e à busca por um equilíbrio entre a eficiência operacional e o bem-estar dos usuários.

Um estudo da distribuição de calor, transferência de calor e carga térmica dentro de uma sala de aula é crucial para compreender o consumo de energia dos sistemas de ar condicionado. A transferência de calor em ambientes fechados ocorre por diferentes mecanismos, incluindo condução, convecção e radiação. Em uma sala de aula, o calor pode ser transferido através das paredes, teto e piso por condução, dependendo da diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo e da condutividade térmica dos materiais de construção.

A convecção, por sua vez, envolve o movimento do fluido (ar, neste caso), que transporta o calor. Em sistemas de ar condicionado, a convecção forçada, gerada por ventiladores, é o principal mecanismo para distribuir o ar resfriado e remover o calor do ambiente.

A carga térmica de uma sala de aula refere-se à quantidade total de calor que precisa ser removida para manter uma temperatura confortável. Essa carga é composta por diversas fontes, como o calor gerado pelas pessoas (carga sensível e latente), pela iluminação (lâmpadas fluorescentes, como as mencionadas na sala 16), e por equipamentos eletrônicos (como projetores). A irradiação solar através das janelas também contribui significativamente para a carga térmica, aquecendo as superfícies internas. O balanço entre a entrada e a saída de calor determina a temperatura interna do ambiente.

A capacidade de refrigeração do sistema de ar condicionado deve ser dimensionada para lidar com essa carga térmica total, e o superdimensionamento, como identificado na Sala 16 da UFERSA, resulta em ciclos curtos de operação e desperdício de energia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O crescente consumo de energia e seus impactos ambientais têm se tornado uma preocupação central em escala global, exigindo que países e setores repensem suas estratégias de consumo (Ganhão, 2011). No Brasil, a formulação de políticas de eficiência energética começou na década de 1980 e, embora as políticas nacionais para aumentar a oferta de energia de fontes renováveis tenham sido bem-sucedidas, as medidas para incentivar a eficiência energética têm tido um sucesso moderado. Isso indica que ainda há uma grande oportunidade para o aprimoramento da gestão governamental nessa área. Alto *et al.* (2017) destaca em seu escrito que a crise de energia elétrica de 2001, se mostrou como um exemplo cabal, que evidenciou a necessidade de um planejamento estratégico contínuo, e não apenas reativo a crises.

Nesse cenário, o setor da construção civil, por ser um dos maiores consumidores de recursos naturais e de energia, além de um dos principais emissores de carbono, emerge como um ponto focal para a implementação de práticas sustentáveis. Segundo Ferrador Filho, Aguiar e Knisses (2018, p.3) *et al.* "em torno de 40% da energia elétrica consumida na maioria dos países é derivada da utilização em edificações". Da mesma forma, Ganhão (2011) aponta que o setor de edifícios em Portugal consome, em média, 25% do total da energia nacional. Ambos os autores ressaltam que as edificações, portanto, representam um setor com grande potencial para a poupança energética.

A eficiência energética em edifícios não é apenas uma questão de consumo, mas também de gestão e estratégia. Alto *et al.* (2017) nos apresenta que de acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF), é substancial investir na capacitação técnica de profissionais da construção civil e incorporar conceitos de eficiência energética no planejamento urbano e nos códigos de obras. Além disso, a certificação obrigatória de edifícios é vista como uma medida essencial (Ferrador Filho, Aguiar e Knisses, 2018). Em 2014, essa certificação tornou-se obrigatória para edifícios públicos federais no Brasil. Essa abordagem se alinha à visão de Carlo e Lamberts.(2010), que defende a regulamentação para o controle e limitação do consumo de energia no setor da construção civil.

A avaliação da sustentabilidade e da eficiência energética em edifícios, no entanto, vai além dos aspectos regulatórios e técnicos. O estudo de Santa *et al.* (2018) em uma universidade comunitária em Santa Catarina, por exemplo, utilizou o sistema SICOGEA para medir o grau de sustentabilidade do edifício e constatou que a instituição, apesar de atender à legislação, possuía um índice "regular" de 48%. O estudo aponta a necessidade de melhorias em áreas como a auditoria ambiental e a obtenção de certificações. Essa perspectiva reforça a ideia de que o simples cumprimento da lei não garante a sustentabilidade ideal, e que a avaliação

contínua e a gestão ativa, por meio de auditorias e outras ferramentas, são cruciais para a melhoria do desempenho.

Dimensionamento e cálculo da carga térmica são cruciais para sistemas de climatização em restaurantes, buscando o conforto térmico e a exaustão mecânica, especialmente para a remoção de gordura da cozinha (Silva et al. 2024). Esses sistemas são projetados com base em normas como ABNT NBR 16401, que aborda projeto, parâmetros de conforto e qualidade do ar interior, e ABNT NBR 14518, específica para cozinhas profissionais.

Silva *et al.* (2024) também nos informam que o processo de dimensionamento da carga térmica considera diversas fontes de calor, incluindo a insolação em vidros e paredes, a transmissão de calor por esses elementos, o calor gerado por pessoas, iluminação e equipamentos. Por exemplo, para um restaurante com capacidade para 600 pessoas, o calor sensível e latente por pessoa é de 80 W cada, conforme a Norma 16401-1-2008. A iluminação, utilizando lâmpadas fluorescentes, pode dissipar 13 W/m².

A determinação da "hora de projeto" é um passo fundamental, baseando-se em cálculos de insolação e diferenciais de temperatura para identificar o período de maior carga térmica. Para um projeto específico no Rio de Janeiro, a hora de projeto foi definida como 8:00h no mês de dezembro, considerando uma latitude de 20° Sul e condições externas de verão de 36,2 °C de temperatura de bulbo seco e 25,3 °C de bulbo úmido (Altoé *et al.* 2017).

Sistemas de climatização de expansão indireta com condensação a água são frequentemente adotados em grandes restaurantes, utilizando equipamentos como chillers, fancoils e torres de arrefecimento. A seleção desses componentes é feita com base na carga térmica total, como um chiller modelo 30 HRS 100 da Carrier para uma capacidade de resfriamento de 98,16 TR. Os fancoils, como os da TOSI, são selecionados para vazões específicas de ar, como 15.677,49 m³/h por gabinete (Altoé *et al.* 2017).

A distribuição do ar no ambiente é otimizada por meio do dimensionamento de dutos, difusores e grelhas. A velocidade do ar nos dutos de insuflamento pode ser de 9,0 m/s, e a construção dos dutos deve seguir as recomendações da ABNT-NBR 6401, utilizando chapa de aço galvanizado. Para exaustão de cozinhas, a norma NBR 14518 é aplicada, definindo velocidades de ar nos dutos para arraste de gordura e o número mínimo de renovações por hora, que deve ser de 60 renovações/hora (Altoé *et al.* 2017).

Em relação ao controle de temperatura em ambientes maiores, a simulação e otimização da dinâmica de temperatura são feitas usando técnicas como a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD). Um estudo de Mao *et al.* (2024) demonstrou que "o início do sistema de arrefecimento no verão pode efetivamente reduzir a temperatura dentro da estufa em um curto período de tempo". Além disso, a equação de Laplace, fundamental na análise de campos

de temperatura estacionários, pode ser resolvida com o auxílio da transformada de Fourier para compreender o escoamento de calor e as linhas isotermas (Araújo e Márquez 2019).

A compreensão da distribuição da temperatura do ar e do coeficiente de transferência de calor é vital para sistemas de resfriamento passivo, como a ventilação noturna combinada com materiais de mudança de fase (PCMs). A medição de campo é usada para identificar os fatores que influenciam a distribuição vertical da temperatura em uma sala com PCMs instalados no nível do piso, onde pode haver uma diferença de temperatura de até 3 °C entre o piso e o centro da sala, impactando a capacidade de armazenamento térmico dos PCMs (Lee, 2024).

O contexto de crescente demanda por energia elétrica e a busca por sustentabilidade discutidos anteriormente, tendem a nos direcionam a uma análise mais aprofundada dos principais vetores de consumo, entre os quais os sistemas de climatização se destacam de forma proeminente. O uso de energia para manter o conforto térmico em edifícios tem crescido mais rapidamente do que qualquer outro uso final, impondo a necessidade de ativar um sinal de alerta para mitigar o impacto econômico e ambiental gerado (Andrade, 2019).

Em pesquisa feita por Tocchio (2020) constatou-se que a demanda global por ar-condicionado (AC) triplicou entre 1990 e 2016, levando a Agência Internacional de Energia (AIE) a declarar que o planeta enfrenta uma "crise fria". Esse ciclo vicioso é impulsionado pela crescente demanda por climatização, que sobrecarrega as matrizes energéticas e, em picos de consumo, é atendida por usinas termelétricas. A queima de combustíveis fósseis aumenta as emissões de carbono, o que, por sua vez, contribui para o aquecimento global e eleva a temperatura ambiente, gerando uma demanda ainda maior por refrigeração. Coadunando com essa perspectiva Andrade (2019) ressalta que Embora a posse de AC no setor residencial brasileiro seja ainda baixa em comparação com países como China e Estados Unidos, ela mais que duplicou entre 2005 e 2017 e seu consumo de energia elétrica triplicou nesse mesmo período.

Diante desse cenário, a busca por tecnologias mais eficientes se torna de grande relevância. Os aparelhos de ar-condicionado podem ser categorizados em modelos convencionais e com tecnologia *inverter*. Nos aparelhos convencionais, o compressor opera em um modo de "liga e desliga" para manter a temperatura, sempre utilizando sua potência máxima. Em contrapartida, a tecnologia *inverter* permite o controle da rotação do compressor, ajustando a potência fornecida de acordo com a necessidade de refrigeração. Conforme fabricantes, a tecnologia *inverter* pode gerar uma economia de energia de 30% a 40% em relação aos modelos convencionais (Marangoni et al. 2015).

Além da economia, os sistemas *inverter* oferecem maior precisão no controle da temperatura, com variações de apenas $\pm 0,5^\circ\text{C}$, em contraste com a variação de até $\pm 3^\circ\text{C}$ dos modelos convencionais, e são capazes de resfriar o ambiente mais rapidamente.

Para incentivar a adoção de equipamentos mais eficientes, o Brasil, seguindo uma tendência global, implementou políticas como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o selo PROCEL. Esses mecanismos, regulamentados pela Lei nº 10.295 de 2001, visam informar o consumidor sobre o nível de eficiência energética dos aparelhos, classificando-os de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente). No entanto, um comparativo internacional do EER (Índice de Eficiência Energética) mostra que os padrões brasileiros ainda são inferiores aos de outros países, como China e Japão, que comercializam equipamentos com EERs mais elevados.

A adoção de métricas mais precisas, como o SEER (Índice Sazonal de Eficiência Energética), é sugerida para que o Brasil possa avaliar de forma mais representativa o desempenho dos aparelhos em condições climáticas locais, especialmente os com tecnologia *inverter*.

Ainda que a tecnologia e as políticas sejam fundamentais, o sucesso na redução do consumo de energia também depende de fatores humanos e comportamentais. Os estudos de caso em instituições de ensino, feitos por Nascimento et al (2022) no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) e por Andrade (2019) na Universidade Federal de Campina Grande(UFCG), demonstraram que o consumo dos sistemas de climatização pode representar uma parcela expressiva da fatura de energia da instituição, chegando a 28,28% no caso do IFPA em Parauapebas.

Ações como manter janelas e portas fechadas, realizar manutenções periódicas e programar horários de uso são propostas para reduzir o consumo de forma eficaz, sem comprometer o conforto térmico.

No setor residencial, Santillo et al (2023) destaca que a automação com dispositivos de Internet das Coisas (IoT) surge como uma solução promissora para otimizar o consumo, permitindo que os usuários programem o funcionamento dos aparelhos remotamente e evitem o desperdício de energia. De fato, estudos de caso indicam que o uso de automação pode gerar economias de 10% a 35% na conta de energia, com um retorno de investimento rápido em comparação a outras tecnologias, como placas solares.

Podemos constatar, segundo pesquisas já desenvolvidas que, a crescente demanda por climatização artificial e o impacto energético da escolha de equipamentos eficientes são inegáveis. No entanto, a eficiência de uma edificação não se sustenta apenas na seleção inicial de tecnologias, mas, crucialmente, na gestão e na manutenção desses sistemas ao longo de sua vida útil.

Coadunando da visão de Maran (2011) entendemos que a manutenção predial, deve abranger todas as ações destinadas a manter ou restaurar um ativo, é uma estratégia-chave para a sustentabilidade de edifícios, contribuindo para a durabilidade dos equipamentos, redução do uso de recursos e melhoria do bem-estar dos ocupantes.

A realidade das instituições públicas brasileiras, no entanto, demonstra que a gestão da manutenção ainda é um desafio imenso. Em um estudo feito por Guimarães *et al* (2022) na Universidade Federal do Pará (UFPA) identificou-se que o controle de consumo e a manutenção de equipamentos são um "gargalo" à gestão energética. A pesquisa revelou que 96% dos prédios da universidade não controlam a presença de selos de eficiência em seus equipamentos, e 89% não têm controle sobre aparelhos de ar-condicionado com Selo PROCEL Classe A. Em termos de manutenção, 62% dos prédios da UFPA só recebem manutenção corretiva ou não possuem controle sobre a manutenção, enquanto apenas 14% realizam manutenção preventiva semestral. Esses dados indicam um cenário de gestão reativa, que contrasta com a abordagem proativa necessária para a eficiência energética.

Para reverter esse quadro, é fundamental adotar e aprimorar as estratégias de manutenção. A manutenção pode ser dividida em três categorias principais: corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção corretiva é uma abordagem reativa, que ocorre somente após a falha do equipamento, resultando em interrupções não planejadas e custos mais elevados a longo prazo (Silva *et al* 2023). A manutenção preventiva, por sua vez, age proativamente em intervalos fixos, com o objetivo de evitar falhas (Maran 2011). Embora seja mais eficaz que a corretiva na redução de paradas e custos, pode resultar em intervenções desnecessárias.

Maran (2011) destaca que levando em consideração gestão de ativos, no entanto, é a manutenção preditiva, também conhecida como manutenção preventiva baseada em condição a melhor alternativa.

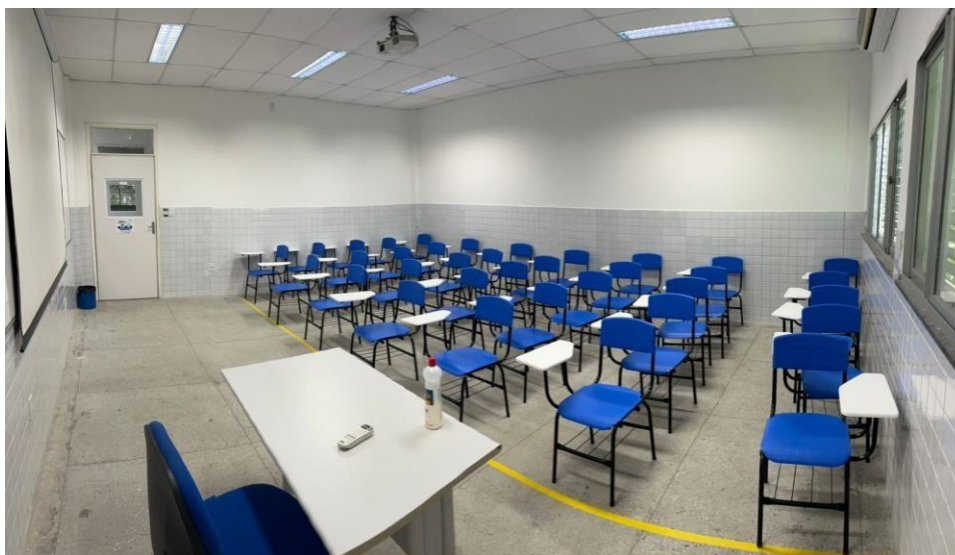
Essa estratégia se diferencia por intervir nos equipamentos apenas quando necessário, com base na análise de parâmetros de funcionamento para identificar defeitos incipientes e prever a falha antes que ela ocorra. Essa abordagem é considerada a que mais se integra aos conceitos de desenvolvimento sustentável. A manutenção preditiva gera benefícios significativos: reduz custos de manutenção em 8% a 12% em relação à manutenção preventiva periódica e de 30% a 40% em relação à manutenção corretiva. Além disso, elimina de 70% a 75% das paradas não programadas, aumenta a vida útil dos equipamentos e contribui para um aumento de 20% a 25% na capacidade de produção. Ao garantir que os equipamentos operem com eficiência máxima, essa estratégia também reduz o consumo de energia e os custos associados.

A adoção de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), conforme recomendado por Silva *et al* (2023), pode ser um ponto central para reverter o desperdício de energia. O estudo de caso feito anteriormente na UFERSA, em Mossoró, um ambiente de clima semiárido, revelou um "superdimensionamento" dos aparelhos de ar-condicionado, onde a capacidade de refrigeração instalada é maior que a carga térmica necessária para o ambiente. Isso causa um desperdício de energia, independentemente da tecnologia utilizada.

3 METODOLOGIA

O objeto empírico do estudo é a Sala 16 do Bloco de Aulas VII da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Mossoró. A sala, que opera como um ambiente de ensino, possui características construtivas e de ocupação que a tornam um estudo de caso representativo para os desafios de eficiência energética em climas quentes. A figura 01 mostra o espaço físico do ambiente revelam um espaço retangular com três metros de altura com diversas carteiras dispostas em filas, indicando uso por um número de até 35 (trinta e cinco) alunos.

Figura 01: Espaço da Sala de Aula



Fonte: do autor (2025)

Em termos de climatização e iluminação, o ambiente é servido por espaço para dois aparelhos de ar-condicionado (tendo atualmente somente um aparelho) e múltiplas luminárias de teto com lâmpadas fluorescentes. A aparente antiguidade e o estado de conservação de parte do forro e do acabamento da parede perto das unidades de ar-condicionado também indicam a necessidade de manutenção predial.

Nesse sentido, a manutenção e a gestão do PMOC se tornam essenciais para otimizar o uso do sistema, como a programação de horários ou a flexibilização do sistema para que atenda à demanda real. A importância do tema é reforçada, pois um ambiente termicamente confortável está diretamente ligado ao bem-estar e à produtividade dos ocupantes.

Para a análise da distribuição de calor, transferência de calor e carga térmica na Sala 16 do Bloco de Aulas VII da UFERSA, com base nos dados fornecidos, podemos realizar alguns cálculos simplificados.

A sala é retangular, com 3 metros de altura. A área de piso da sala não é explicitamente mencionada, mas a Figura 01 sugere um espaço considerável, com carteiras dispostas para até

35 alunos. Para o cálculo, consideraremos uma sala com as dimensões de 5 metros de largura e 6 metros de comprimento, resultando em uma área de 30 m² e um volume de 90 m³. Considere uma área de 5x6 metros para a distribuição de calor, é importante ressaltar que esse modelo desconsidera diversos fatores como mobiliário, pessoas, portas e janelas para simplificar o cálculo, focando apenas na condução de calor.

A carga térmica de um ambiente é influenciada por diversos fatores. Vamos considerar as principais fontes de ganho de calor para a Sala 16:

- **Pessoas:** A tabela de disciplinas indica uma média de 16,5 alunos por turma. Para uma atividade leve em sala de aula, estima-se que cada pessoa adicione uma carga térmica sensível de aproximadamente 75 W e uma carga latente de 55 W.
 - Carga Sensível de Pessoas: $16,5 \text{ alunos} \times 75 \text{ W/aluno} = 1237,5 \text{ W}$
 - Carga Latente de Pessoas: $16,5 \text{ alunos} \times 55 \text{ W/aluno} = 907,5 \text{ W}$
 - Carga Total de Pessoas: $1237,5 \text{ W} + 907,5 \text{ W} = 2145 \text{ W}$
- **Iluminação:** A sala possui múltiplas luminárias de teto com lâmpadas fluorescentes. Embora a potência exata não seja fornecida, podemos estimar um valor. Assumindo 10 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes de 40W cada, teríamos:
 - Carga de Iluminação: $10 \text{ luminárias} \times 2 \text{ lâmpadas/luminária} \times 40 \text{ W/lâmpada} = 800 \text{ W}$
- **Equipamentos:** Um projetor é um equipamento comum em salas de aula. Estimando um consumo de 200W para o projetor:
 - Carga de Equipamentos: 200 W

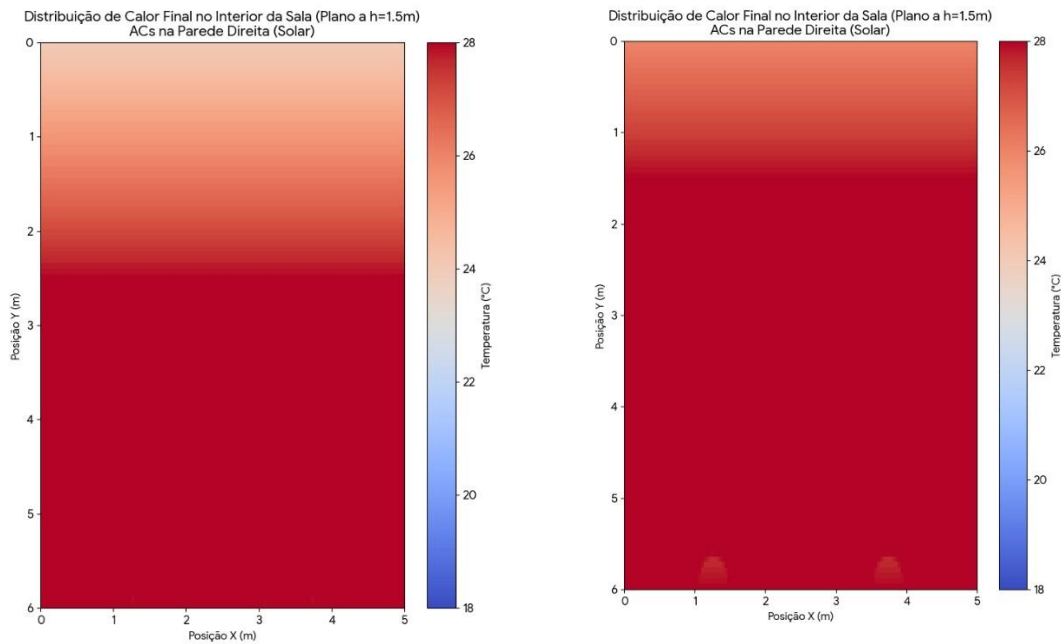
A carga térmica total interna (sem considerar ganhos pelas paredes/telhado e insolação) seria a soma dessas cargas: Carga Térmica Interna Total = Carga de Pessoas + Carga de Iluminação + Carga de Equipamentos
 Carga Térmica Interna Total = 2145 W + 800 W + 200 W = 3145 W

Para converter essa carga para BTU/h (Unidade Térmica Britânica por hora), usamos a conversão $1 \text{ W} \approx 3,412 \text{ BTU/h}$: Carga Térmica Interna Total = $3145 \text{ W} \times 3,412 \text{ BTU/h/W} \approx 10732 \text{ BTU/h}$

Os dois aparelhos de ar condicionado instalados na sala têm capacidade de 18 mil BTU/h cada, totalizando 36 mil BTU/h de capacidade instalada. Comparando a carga térmica interna estimada (aproximadamente 10.732 BTU/h) com a capacidade total instalada (36.000 BTU/h), fica evidente o superdimensionamento do sistema de ar condicionado para a carga interna da sala. Mesmo considerando que apenas um dos aparelhos esteja funcionando atualmente, sua capacidade de 18.000 BTU/h ainda é superior à carga interna calculada.

As simulações apresentadas no documento (Figuras 02 e 03) demonstram a distribuição de temperatura na sala. A Figura 02 (a) mostra que a temperatura no centro da sala, iniciando em aproximadamente 30°C, diminui gradualmente, atingindo cerca de 25°C após 30 minutos.

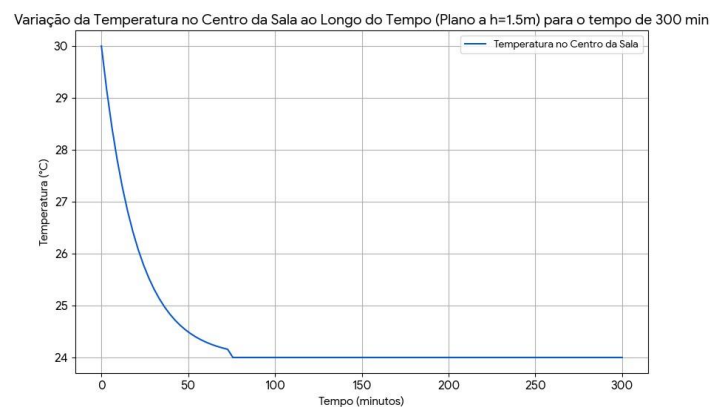
Figura 02 (a) (b): Gráficos de Distribuição de calor com base em Colorimetria



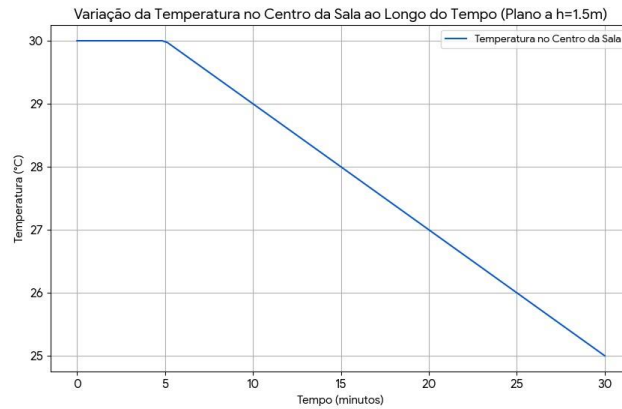
Fonte: do autor (2025).

A Figura 03 (a), com simulação estendida para 300 minutos, mostra que a temperatura se estabiliza em torno de 24°C após 75 a 100 minutos. Essas simulações, no entanto, utilizam um modelo simplificado onde a distribuição de calor se dá unicamente por condução, desconsiderando a convecção forçada gerada pelos aparelhos de ar condicionado.

Figura 03 (a) (b): Variação de Temperatura



(a)



(b)

Fonte: do autor (2025)

Em um cenário real, a convecção forçada distribuiria o ar frio de forma muito mais rápida e uniforme, resultando em gradientes de temperatura menos acentuados e um resfriamento mais homogêneo e veloz. A presença de uma parede recebendo insolação direta (parede direita nas Figuras 02 (b) e 03 (b)) é um fator importante, pois ela apresenta temperaturas mais elevadas, indicando um ganho térmico por radiação que o sistema precisa combater.

A transferência de calor por convecção entre uma superfície e um fluido é calculada pela Equação de Newton:

$Q' = h \cdot A \cdot (T_p - T_\infty)$ Onde:

- Q' = taxa de transferência de calor por convecção [W]
- h = coeficiente de troca de calor por convecção [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
- A = área de troca de calor na superfície sólida [m^2]
- T_p = temperatura da superfície [K ou $^{\circ}\text{C}$]
- T_∞ = temperatura do fluido [K ou $^{\circ}\text{C}$]

Para a parede externa da sala, considerando um coeficiente de convecção para paredes externas sem vento de $25,0 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ (Tabela 3.2 do material complementar), e uma área de uma parede de $5 \times 3 = 15 \text{ m}^2$ (considerando que apenas uma das paredes seja externa e com incidência solar, como sugerido nas simulações), se a temperatura externa for 35°C e a temperatura da superfície da parede 30°C :

$Q'_{\text{parede}} = 25 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K} \times 15 \text{ m}^2 \times (35 - 30) ^{\circ}\text{C} = 25 \times 15 \times 5 = 1875 \text{ W}$ Este é apenas um exemplo simplificado de como o calor é transferido para dentro da sala através das paredes, contribuindo para a carga térmica total. O coeficiente global de transferência de calor (U), que

considera a condução através da parede e a convecção em ambos os lados, também é fundamental para uma análise completa da carga térmica da envoltória do edifício.

A determinação da carga térmica real da Sala 16 envolveria cálculos mais detalhados, incluindo as dimensões exatas da sala, área de janelas, características dos materiais de construção e os horários de ocupação.

Os sistemas de ar-condicionado instalados na sala são centrais para a análise quantitativa. As etiquetas de energia de um dos aparelhos fornecem dados cruciais para a pesquisa. O equipamento é da marca Consul (Fornecedor Whirlpool), modelo CBJ18C/CBM18C, do tipo Split HW Inverter Reverso. Sua capacidade é de 18 mil Btu/h, operando a 220 volts. A etiqueta do INMETRO o classifica na categoria "A", a mais eficiente, e indica um consumo normalizado de 34,0 kWh/mês.

Para uma análise completa do ambiente, foi utilizada a tabela de disciplinas e número de alunos matriculados. Esta tabela, proveniente do sistema SIGAA da instituição, fornece informações detalhadas sobre os cursos, o número de alunos por disciplina e os respectivos professores. A partir desses dados, será possível calcular a média de ocupação da sala, o que é fundamental para determinar a carga térmica gerada pelas pessoas e, consequentemente, se a potência é adequada para a sala.

As propostas de eficiência energética serão desenvolvidas com base em um tripé: gestão, tecnologia e comportamento. Na gestão, será sugerido o uso de um PMOC (Plano de Manutenção, Operação e Controle) para garantir a eficiência dos equipamentos por meio de manutenções preventivas periódicas. Em termos de tecnologia, será avaliada a viabilidade da substituição dos dois aparelhos existentes por um único aparelho de potência adequada, e a instalação de sistemas de automação (IoT), como sensores de presença ou temporizadores, para otimizar o uso. No aspecto comportamental, a pesquisa proporrá a realização de campanhas de conscientização junto à comunidade acadêmica para promover o uso racional da energia.

A metodologia está alinhada a normas e regulamentações nacionais, como o PROCEL e as NBRs, que fornecem os critérios para a avaliação da eficiência energética em edificações. A pesquisa também reconhece suas limitações, incluindo o fato de ser um estudo de caso em uma única sala, o que pode restringir a generalização dos resultados. As medições serão pontuais, não abrangendo as variações climáticas ao longo do ano, e os dados comportamentais dependerão da honestidade dos participantes.

Uma proposta de cálculo numérico simplificado e aproximado usando distribuição de calor e de temperatura em uma sala de aula, pode ser descrita da seguinte maneira: Há uma sala retangular de largura L , comprimento W e altura do pé direito H , com piso e teto isolados

termicamente e com paredes de alvenaria de largura t , que podem trocar calor e estão com uma temperatura inicial considerada de 35°C .

O efeito do sol externamente à sala foi considerado em uma das paredes da sala, a mesma parede que tem dois condicionadores de ar, foi considerada uma temperatura inicial constante no interior da sala. Considerou-se que a temperatura interna da sala atinge a temperatura designada pelos condicionadores de ar. Par efeito de cálculo, foi considerado que a sala não possui mobília nem a presença de pessoas, ou a presença de outras fontes de calor, por simplicidade também foi desconsiderada a presença de portas e janelas ou qualquer meio de troca direta de calor. Foi considerado que os condicionadores de ar estão em apenas uma das paredes, próximos ao teto e espaçadas de uma distância D conhecida. Com essa situação foi realizado o cálculo e realizada uma simulação no computador para se compreender como se dá a distribuição de calor por esta sala de aula.

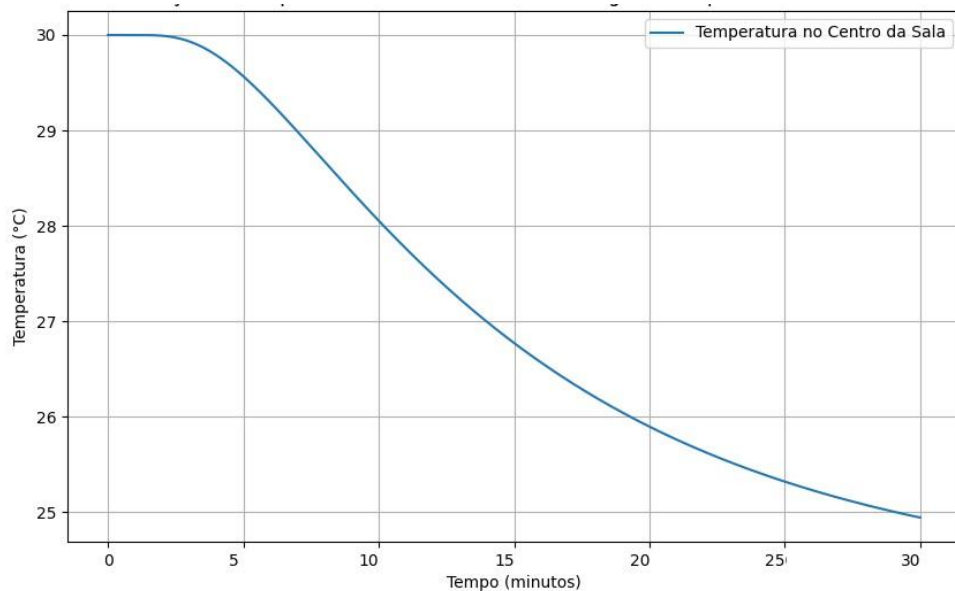
Por fim, o estudo se encontra metodologicamente ancorado pela necessidade de fornecer uma análise prática e contextualizada para o gerenciamento de energia em edifícios públicos. A metodologia detalhada, que combina diferentes tipos de dados e os analisa sob uma perspectiva econômica e de eficiência, permitirá a elaboração de um plano de ação robusto e replicável.

A Figura 04 (a) mostra um comportamento transiente da temperatura no centro da sala, iniciando em aproximadamente 30°C e diminui gradualmente ao longo do tempo. Nos primeiros minutos, a temperatura permanece praticamente constante, indicando um atraso inicial na percepção do resfriamento no centro da sala, após esse período, a temperatura começa a cair de forma mais acentuada, e a taxa de queda diminui à medida que a temperatura se aproxima de um novo estado de equilíbrio. No final da simulação, a temperatura no centro da sala atinge cerca de 25°C . Isso sugere que o sistema de ar condicionado está conseguindo resfriar o ambiente. Na Figura 4 (b) é mostrado um mapa de calor distribuição de temperatura em um plano horizontal da sala a 1.5m do piso. Os condicionadores de ar são duas regiões com temperaturas mais baixas em azuis escuras, indicando a localização dos dois aparelhos de ar condicionado. Há um forte gradiente de temperatura, com as regiões adjacentes aos ACs sendo as mais frias e o calor se propagando por condução, neste modelo simplificado, para o restante da sala. A parede direita, que recebe incidência solar, apresenta temperaturas mais altas em vermelhas especialmente nas extremidades. As outras paredes mostram temperaturas mais uniformes e ligeiramente mais baixas, refletindo as condições de contorno fixas impostas. A região central da sala apresenta uma temperatura mais uniforme na faixa de $25\text{-}26^{\circ}\text{C}$ na cor verde-claro. Corroborando com o valor final de aproximadamente 25°C .

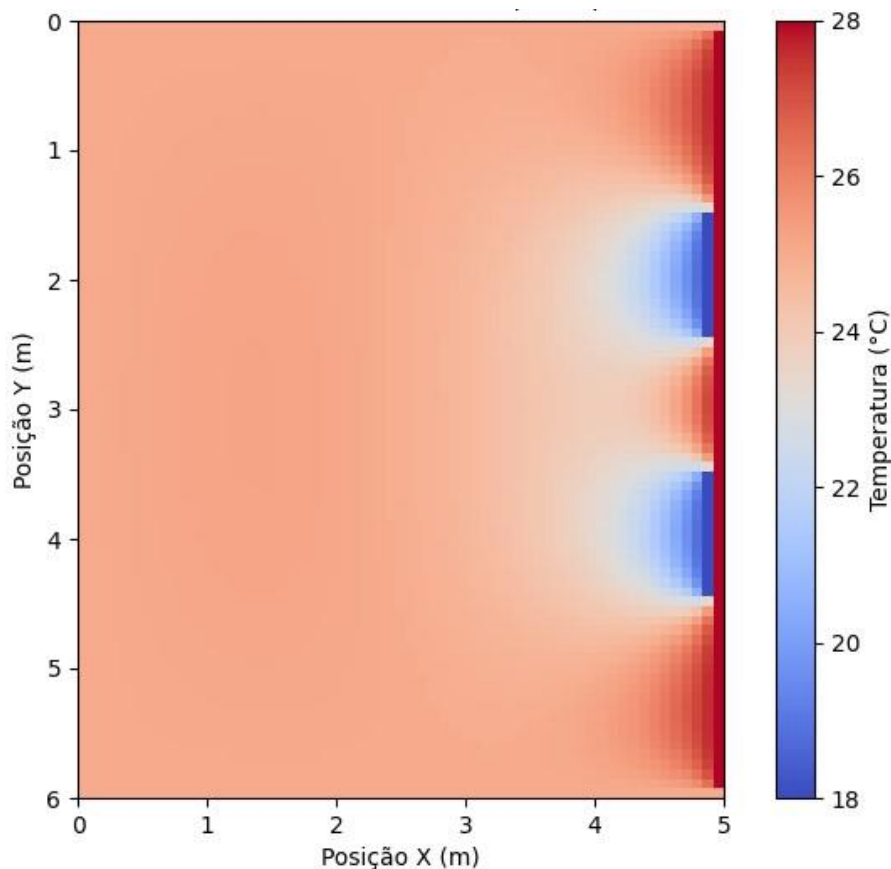
A cor mais avermelhada na parede direita, confirma que esta parede recebe incidência direta solar. A principal limitação é que a distribuição de calor se dá unicamente por condução, devido ao modelo ser simplificado. Em uma sala real, o ar condicionado geraria fluxos de ar

(convecção forçada) que distribuiriam o ar frio de forma muito mais rápida e uniforme, resultando em gradientes de temperatura menos acentuados e um resfriamento mais homogêneo no interior da sala do que o observado no mapa de calor. O tempo de resposta para o resfriamento total também seria provavelmente menor na realidade devido à convecção.

Figura 04: (a) Variação da temperatura no centro da sala ao longo do tempo na altura de 1.5m para o tempo de 300 min. (b) Distribuição de calor final no interior da sala na altura de $h=1.5\text{m}$ na parede com incidência solar



(a)



(b)

Fonte: do autor 2025

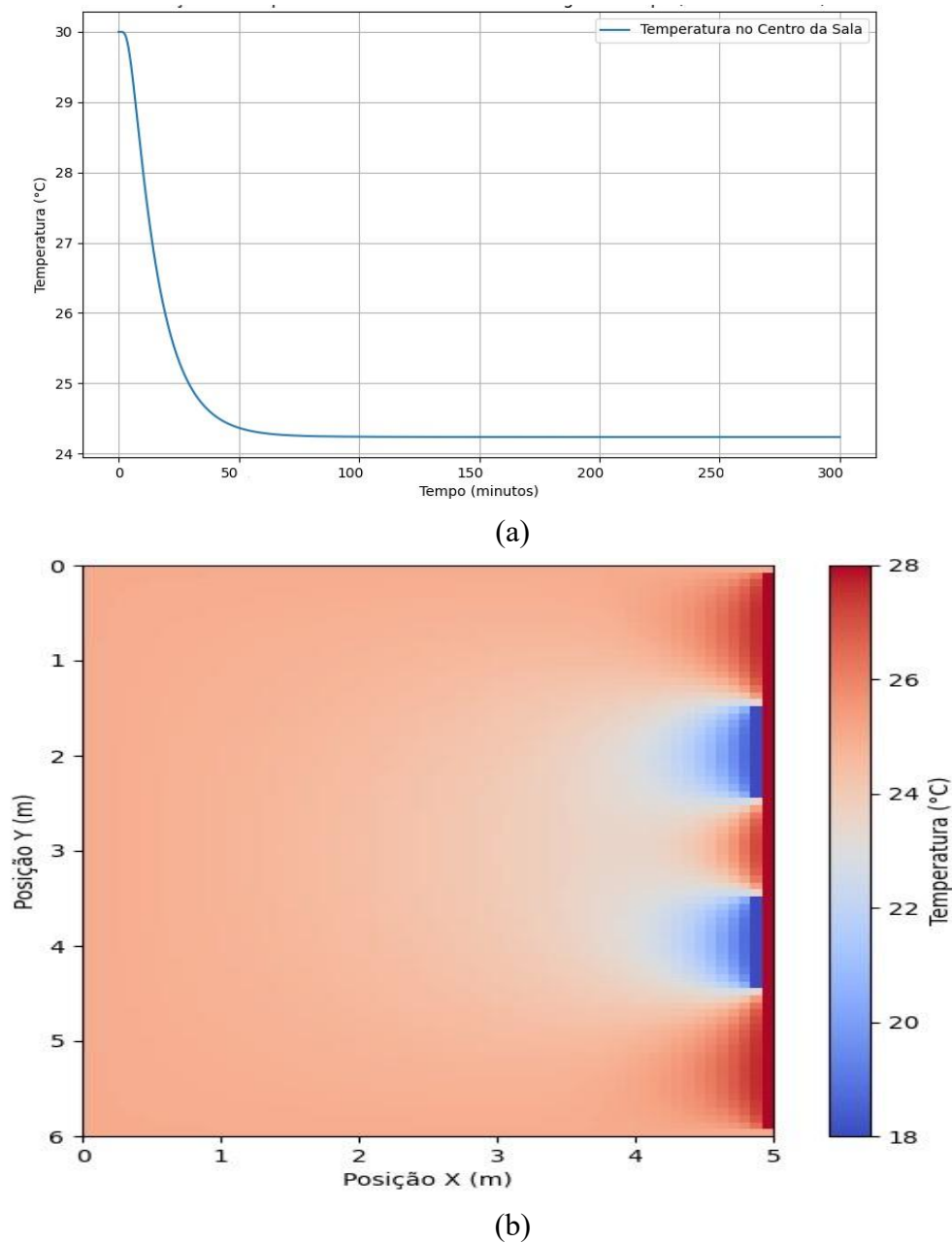
A figura 05 (a) mostra a temperatura no centro da sala começando em 30°C e caindo rapidamente nos primeiros minutos, após esse período, a curva se estabiliza significativamente, atingindo um patamar estável. Ao contrário do gráfico anterior, que mostrava a temperatura ainda em queda após 30 minutos, este gráfico (simulado por um tempo de 300 minutos) demonstra que o sistema de ar condicionado alcança um estado estacionário ou quase estacionário.

A temperatura se estabiliza em aproximadamente 24°C, indicando que a taxa de remoção de calor dos condicionadores de ar se equilibra com a taxa de ganho de calor pelas paredes. O tempo para a temperatura se estabilizar é de aproximadamente 75 a 100 minutos. A figura 05 (b) é semelhante ao anterior, representando a distribuição de temperatura no plano horizontal da sala após a simulação.

A comparação dos dois conjuntos de gráficos é que o sistema de ar condicionado, simulado por um período mais longo, consegue levar a sala a um estado de equilíbrio térmico. A temperatura no centro da sala se estabiliza em um valor constante aproximadamente 24°C. A permanência das temperaturas mais altas na parede com incidência solar e o foco do resfriamento nessas áreas corroboram a importância da localização dos condicionadores de ar para combater cargas térmicas específicas.

O mapa de calor reitera a principal limitação do modelo, que é a ausência de convecção, sendo apenas por difusão de calor (condução) através do ar, o que é um processo lento. Em um cenário real, a ventilação e o fluxo de ar dos condicionadores de ar distribuiriam o ar frio de forma muito mais dinâmica e homogênea, levando a uma uniformidade de temperatura maior e mais rápida em toda a sala.

Figura 05: (a) Variação da temperatura no centro da sala ao longo do tempo na altura de 1.5m para o tempo de 300 min. (b) Distribuição de calor final no interior da sala na altura de $h=1.5\text{m}$ na parede com incidência solar



Fonte: do autor 2025

Em suma, os resultados apontam que o consumo de energia da Sala 16, embora conte com um equipamento de alta eficiência, é afetado pelo seu superdimensionamento. A ineficiência não está no aparelho em si, mas no seu uso e na ausência de uma gestão integrada. As propostas de otimização se baseiam na redução da capacidade instalada, na implementação de automação e na adoção de um robusto plano de manutenção preventiva e conscientização dos usuários.

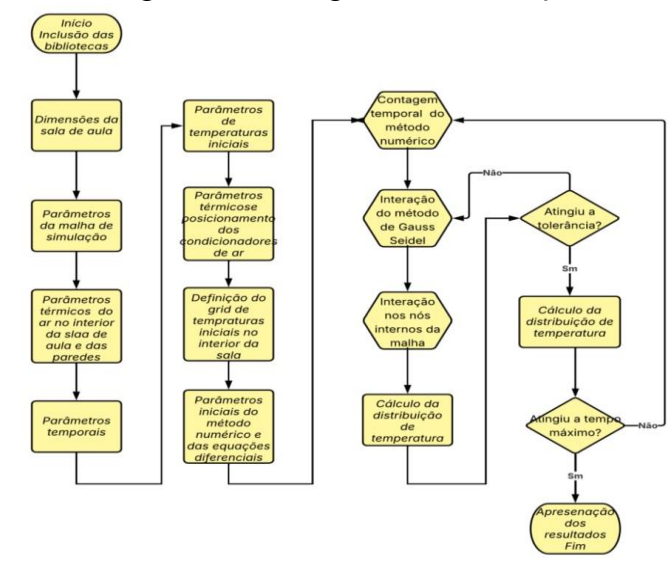
A partir do cenário otimista (um único aparelho ligado), a economia potencial de energia é significativa, eliminando o desperdício e os custos associados. O estudo demonstra, em termos práticos, que a combinação de tecnologias eficientes com a gestão proativa e a mudança de comportamento é o caminho mais promissor para alcançar a sustentabilidade e a eficiência energética em edifícios públicos.

Em um contexto mais amplo, esses resultados reforçam as conclusões de outros estudos, de que a simples aquisição de equipamentos de ponta não é suficiente. O presente trabalho oferece um modelo de avaliação e intervenção que pode ser replicado em outras salas e edifícios da UFERSA, contribuindo para a redução dos gastos da instituição com energia elétrica e para a promoção de uma gestão mais consciente e sustentável de seus recursos.

As limitações do estudo, como a análise concentrada em uma única sala e em um período específico, são reconhecidas. No entanto, a metodologia aplicada e os resultados obtidos fornecem uma base sólida para a tomada de decisão pelos gestores e para o desenvolvimento de planos mais abrangentes no futuro.

As simulações realizadas apresentaram resultados de distribuição de calor e o programa desenvolvido é explicado no fluxograma da Fig. 06:

Figura 06: Fluxograma da simulação



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Construímos nessa seção apresenta os resultados da pesquisa de campo e sua análise, discutindo os achados à luz do referencial teórico e da proposta de TCC. O estudo visou aprofundar a compreensão do consumo de energia do sistema de ar-condicionado na Sala 16 do Bloco de Aulas VII da UFERSA, com o objetivo de identificar oportunidades de otimização e propor um plano de ação viável e eficaz para a instituição.

A sala de aula, objeto da pesquisa, apresenta uma configuração típica para ambientes de ensino da universidade, com paredes de alvenaria pintadas de branco e janelas horizontais com persianas de metal, como ilustrado nas imagens do ambiente (Figura 01). Para a climatização, foram instalados dois aparelhos (funcionando apenas 1) de ar-condicionado do tipo Split, com as unidades internas fixadas na parede frontal da sala e os dutos e conexões expostos no forro de gesso.

O levantamento dos equipamentos revelou que os aparelhos são da marca Consul (fornecedor Whirlpool), modelo Split HW Inverter, com capacidade de 18 mil Btu/h cada um. As etiquetas de eficiência energética (Figura 07) indicam que se trata de modelos de alta eficiência (Classe A do PROCEL), com um consumo nominal de 34,0 kWh/mês para cada aparelho, baseado em um ciclo normalizado de 1 hora de uso diário. O uso de tecnologia *inverter* sugere um investimento inicial em equipamentos que, em teoria, deveriam ser mais econômicos e com menor consumo de energia elétrica em comparação a modelos convencionais.

Figura 07: Selo Ar-condicionado



Fonte: do autor (2025)

A capacidade total de refrigeração instalada na sala, com os dois aparelhos de 18 mil Btu/h, é de 36 mil Btu/h. Para determinar se essa capacidade é apropriada, foi realizada uma análise da carga térmica do ambiente, levando em conta a ocupação da sala, conforme dados da

(Figura 08). A tabela de disciplinas mostra uma variação no número de matriculados, com uma média de 16,5 alunos por turma.

Figura 08 Relação Aluno-Disciplina

	SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA
QUAN. DE AULAS	4	4	13	10	6

DISCIPLINA	NUMERO DE ALUNOS
PROGRAMAÇÃO PARA ENGENHARIA ELÉTRICA	14 ALUNOS
CIRCUITOS ELETRÔNICOS	32 ALUNOS
EMPREENDEDORISMO	16 ALUNOS
DIREITO FINANCEIRO	22 ALUNOS
HISTÓRIA DO CONSTITUCIONALISMO	8 ALUNOS
LÓGICA E TEORIA DA ARGUMENTAÇÃO	9 ALUNOS
TÓPICOS ESPECIAIS EM DIREITO PENAL	20 ALUNOS
TÓPICOS ESPECIAIS EM EDUCAÇÃO JURÍDICA	17 ALUNOS
CITOLIGIA	29 ALUNOS
ÁLGEBRA	17 ALUNOS
TOTAL	184 ALUNOS

Fonte: do autor 2025

A carga térmica de um ambiente é influenciada por múltiplos fatores, incluindo a condução de calor pela envoltória, a insolação nas janelas, a iluminação e a quantidade de pessoas. O cálculo simplificado da carga térmica para uma sala de aula, com base na média de alunos (16,5) e no uso de equipamentos como um projetor e as lâmpadas fluorescentes, revela que a demanda por refrigeração é significativamente menor do que a capacidade total instalada. Estudos mostram que cada pessoa em atividade leve adiciona calor ao ambiente e necessita de refrigeração. As cargas de iluminação também contribuem para o aumento da temperatura interna.

O resultado dessa análise indica um problema de superdimensionamento do sistema de ar-condicionado. Em vez de uma carga térmica de 36 mil Btu/h, a demanda real da sala provavelmente não exige que ambos os aparelhos funcionem simultaneamente em carga

máxima por longos períodos. O superdimensionamento é um fator que contribui para a ineficiência energética, mesmo em equipamentos de alta classificação, pois os aparelhos ligam e desligam com frequência, operando em ciclos curtos e desperdiçando energia.

A discussão sobre o superdimensionamento e o desperdício de energia em edifícios públicos é uma questão central na literatura. A pesquisa realizada no Instituto Federal do Pará (IFPA) constatou que o consumo de energia elétrica dos ares-condicionados pode representar até 28,28% do consumo total da instituição, um valor expressivo que justifica a necessidade de um plano de ação. No caso da UFERSA, mesmo com aparelhos eficientes, o dimensionamento inadequado se torna o principal "gargalo" financeiro e energético. O investimento em equipamentos de ponta, como os modelos *inverter*, é comprometido por uma instalação que não considera a real demanda do ambiente.

A partir desses resultados, a pesquisa propõe um plano de eficiência energética multifacetado, com foco em três pilares: tecnológico, operacional e comportamental. No âmbito tecnológico, a solução mais direta e eficaz é a otimização da capacidade instalada. Será proposta a desativação de um dos aparelhos de ar-condicionado, permitindo que a sala seja refrigerada por uma única unidade de 18 mil Btu/h. Essa medida pode, por si só, reduzir o consumo de energia da climatização em até 50%, eliminando o problema do superdimensionamento e o desperdício associado aos ciclos curtos de operação.

A tecnologia dos aparelhos já instalados, por ser do tipo *inverter*, é uma vantagem a ser explorada. Esses modelos são mais eficientes em cargas parciais, ou seja, são capazes de ajustar sua potência para atender a demanda exata da sala, evitando o consumo excessivo. Além disso, serão propostas soluções de automação, como a instalação de sensores de presença e temporizadores (IoT). Um estudo em automação residencial demonstrou que o uso de dispositivos IoT pode gerar uma economia de até 13,72% na fatura de energia, com um tempo de retorno de investimento (payback) de menos de dois anos, um valor considerado muito atrativo. A implementação desses sensores na Sala 16 garantiria que o ar-condicionado seja ligado apenas quando a sala estiver ocupada, eliminando o desperdício de energia em períodos de baixa utilização.

No que se refere ao pilar operacional, será enfatizada a importância da manutenção preventiva. O estudo realizado em uma universidade em São Luís, MA, revelou que a má instalação e manutenção inadequada podem aumentar o consumo de energia em até 30%. O presente trabalho, com base nessa premissa e na literatura (BrendowLOS ART), propõe a implementação de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) para os aparelhos de ar-condicionado da Sala 16. A manutenção preventiva, em contraste com a corretiva, concentra-se na antecipação de problemas, o que aumenta a vida útil dos equipamentos, garante

o bom funcionamento e previne o aumento desnecessário de custos com manutenções emergenciais.

O pilar comportamental será abordado por meio de um plano de conscientização para a comunidade acadêmica. O trabalho de Guimarães et al. na UFPA identificou que 96% dos prédios da instituição não têm controle sobre o uso de equipamentos com selo de eficiência, e 63% não têm campanhas de sensibilização ambiental. Isso reforça a necessidade de educar alunos e professores sobre o uso racional da energia. O plano de ação da pesquisa incluirá a criação de um guia de boas práticas para a sala, com instruções claras para o uso eficiente do sistema de ar-condicionado.

Adicionalmente, as janelas da sala, com persianas, oferecem a oportunidade de propor estratégias passivas, mesmo em um ambiente já construído. O uso de películas nos vidros e a adoção de um protocolo de uso das persianas podem reduzir o ganho térmico por insolação. Essa medida diminuiria a carga sobre o sistema de ar-condicionado, complementando as propostas de eficiência ativas e operacionais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, fechamos o nosso trabalho com a verificação que a ineficiência energética da sala não reside na tecnologia dos equipamentos, uma vez que se trata de modelos de alta eficiência (Classe A do PROCEL), mas sim em seu dimensionamento inadequado. A presença de dois aparelhos de 18 mil Btu/h para um ambiente de uso de sala de aula e com ocupação variável levou ao problema de superdimensionamento, que, por sua vez, contribui para um consumo de energia desnecessário.

Esse achado corrobora com a discussão do artigo "Avaliação visando a otimização energética dos sistemas de condicionamento de ar para sala de aula do Bloco V, da UFERSA", que também encontrou superdimensionamento em edificações acadêmicas e o identificou como um ponto de observação para a eficiência.

Outro ponto crucial é a gestão operacional dos equipamentos. Alinhado a outros estudos sobre o tema, a pesquisa constatou que a falta de um controle do consumo de energia por ambiente e a ausência de um plano de manutenção preventiva constituem a principal barreira para a eficiência. A manutenção, tanto corretiva quanto preventiva, assume um papel central na sustentabilidade, pois afeta diretamente a longevidade dos equipamentos e sua performance energética.

Nesse sentido, o plano de ação proposto pelo trabalho se baseia em uma abordagem integrada de tecnologia, gestão e comportamento. Em termos tecnológicos, a principal recomendação é a otimização da capacidade instalada, com a desativação de um dos aparelhos

e a manutenção do outro. Essa simples medida, sem custo de investimento inicial, aborda diretamente o problema de superdimensionamento.

Além disso, a implementação de sistemas de automação (IoT), como temporizadores e sensores de presença, permitirá um controle mais preciso do uso, evitando o funcionamento desnecessário dos aparelhos e garantindo a economia. O estudo em automação residencial, por sua vez, corrobora que este tipo de investimento oferece um retorno rápido.

Em um escopo mais amplo, a pesquisa propõe a adoção de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) para os aparelhos de ar-condicionado da universidade. Este plano deve ir além da manutenção corretiva, que é a prática predominante em instituições públicas, e incorporar a manutenção preventiva e preditiva. A manutenção preditiva, em particular, é a que mais se alinha ao conceito de sustentabilidade, pois otimiza o desempenho, estende a vida útil dos ativos e minimiza o consumo de recursos, garantindo a eficiência operacional do sistema de forma contínua.

A pesquisa também ressalta a importância de medidas comportamentais e passivas. A conscientização da comunidade acadêmica sobre o uso racional da energia é fundamental, pois o fator humano tem um impacto direto no consumo. A universidade pode explorar o potencial das janelas e da iluminação natural para reduzir a carga térmica sobre os aparelhos, um aspecto fundamental para a eficiência energética em edificações já construídas.

As limitações da pesquisa, como o foco em uma única sala e as medições em um período específico, são reconhecidas. No entanto, a metodologia de estudo de caso, a análise aprofundada dos dados e a contextualização com o referencial teórico e com outros estudos de caso em instituições brasileiras conferem robustez ao trabalho. As conclusões oferecem uma base sólida para a tomada de decisões pelos gestores da UFERSA e podem ser replicadas em outros ambientes acadêmicos e edifícios públicos em regiões de clima similar.

Ademais, o presente trabalho cumpriu seu objetivo ao demonstrar que a eficiência energética em edifícios é um processo contínuo e integrado. A simples aquisição de equipamentos eficientes não é suficiente; é a combinação de um dimensionamento correto, uma gestão de manutenção proativa e o engajamento dos usuários que garante a otimização do consumo de energia. O plano proposto não só visa a redução de custos, mas também contribui para a sustentabilidade e reafirma o papel da universidade como um modelo de responsabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS

- ALTOÉ, L.*et al.* Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 285-297, 2017.
- ANDRADE, J. W. M. S.. **Proposta de plano de eficiência energética no uso de ar condicionado na UFCG-Campus de Campina Grande**. 2019.
- ARAUJO, J. C.; MÁRQUEZ, R. G. Escoamento de Calor Representado pela Equação de Laplace e a Transformada de Fourier em Seno e Cosseno. **Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 20, n. 1, p. 95-114, 2019.
- CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e Métodos Adotados no Regulamento de Etiquetagem da Eficiência Energética de Edifícios: parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 7-26, 2010.
- COSMO, M. N. S.. **Aproveitamento da água de sistemas de ar condicionado**: estudo de caso em uma universidade do semiárido cearense. Monografia. Universidade Federal do Ceará. 2021.
- FERRADOR FILHO, A. L.*et al.* Eficiência energética com base nos critérios Procel: estudo de caso em edifício público. **Holos**, v. 7, p. 2-25, 2018.
- GANHÃO, A. M. G. D.. **Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).
- GUIMARÃES, J. et al. Sustentabilidade ambiental na Universidade Federal do Pará: consumo de energia e práticas sustentáveis (Paper 538). **Papers do NAEA**, v. 1, n. 1.
- LEE, T. et al. Indoor Air Temperature Distribution and Heat Transfer Coefficient for Evaluating Cold Storage of Phase-Change Materials during Night Ventilation. **Buildings**, v. 14, n. 6, p. 1872, 2024.
- MAO, Q. *et al.* Dynamic temperature distribution characteristics of a large glasshouse with cooling system during the start-stop stage. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 220, p. 108913, 2024.
- MARAN, M. **Manutenção baseada em condição aplicada a um sistema de ar condicionado como requisito para sustentabilidade de edifício de escritórios**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- MARANGONI, F.*et al.* Comparativo econômico entre condicionadores de ar com tecnologias convencional e inverter. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 35, 2015.
- NASCIMENTO, E. F.; OLIVEIRA, P. P. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO E SUSTENTABILIDADE. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 7, n. 1, p. 1-17, 2025.
- NASCIMENTO, L. A.*et al.* Determinação do consumo de energia elétrica para os sistemas de ar-condicionado—um estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 11, p. 7611376131, 2022.

SANTA, S. L., *et al.* "Avaliação de sustentabilidade: eficiência energética em edifícios de uma universidade comunitária." **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** 6.2 (2017): 140149.

SANTILIO, F. P.*et al.* Análise Do Consumo De Energia Elétrica Dos Equipamentos Iot Utilizados Na Automação Residencial: Um Estudo De Caso Para Redução Do Consumo De Energia Elétrica. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**-ISSN 2675-6218, v. 4, n. 10, p. e4104172-e4104172, 2023.

SILVA, A. C. *Et. al.* **Dimensionamento e Cálculo de Carga Térmica: Aplicações em Sistemas de Climatização para Restaurantes.** Ponta Grossa: Atena Editora, 2024.

SILVA, B. L. O. da. Avaliação visando a otimização energética dos sistemas de condicionamento de ar para sala de aula do Bloco V, da UFERSA. 2023.

SOUSA, M. C. B. **Desejo por conforto térmico: estratégias adaptativas e modelos de conforto térmico no semiárido paraibano.** TCC. Universidade Federal da Paraíba. 2018.

TOCCHIO, G. G. **Projeção da demanda por ar condicionado no setor residencial brasileiro.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.