



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia

Estudo de caso de construção de linha de base de consumo de uma edificação via metodologia C do PIMVP

Autor: Gabriel Batista dos Santos Sousa
Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Brasília, DF
2021



Gabriel Batista dos Santos Sousa

**Estudo de caso de construção de linha de base de
consumo de uma edificação via metodologia C do PIMVP**

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia de Energia da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
de Energia .

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Brasília, DF

2021

Gabriel Batista dos Santos Sousa

Estudo de caso de construção de linha de base de consumo de uma edificação via metodologia C do PIMVP/ Gabriel Batista dos Santos Sousa. – Brasília, DF, 2021-

35 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2021.

1. Eficiência Energética. 2. Medição e Verificação. I. Prof. Dr. Alex Reis.
II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Estudo de caso de construção de linha de base de consumo de uma edificação via metodologia C do PIMVP

CDU

Gabriel Batista dos Santos Sousa

Estudo de caso de construção de linha de base de consumo de uma edificação via metodologia C do PIMVP

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia .

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 12 de agosto 2021:

Prof. Dr. Alex Reis
Orientador

Prof. Dr. Loana Nunes Velasco -
FGA/UnB
Convidado 1

M.e Thiago de Sousa Tavares
Convidado 2

Brasília, DF
2021

*Dedico esse trabalho aos meus pais que,
tudo me proporcionaram para que ele acontecesse.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus e a espiritualidade pela vida e saúde minha e todas as pessoas que me são queridas nesse momento conturbado e caótico de pandemia que vivemos.

Agradeço à minha família que todo o suporte me deu ao longo dessa jornada me motivando a seguir em frente e nunca desistir. Em especial meus pais por nada me deixarem faltar e minha gêmea Gabriele por todo apoio incondicional que me deu nos meus momentos de maior dificuldade na faculdade. À minha querida madrinha que também motivou a nunca desistir.

Aos grandes amigos e amigas que a UnB me proporcionou, que do meu lado estiveram por toda graduação me dando força, ajuda e alegria em tudo que vivemos juntos. As minhas queridas amigas Luana e Iara com quem sempre pude contar ao longo desses anos.

Agradeço ao meu orientador, professor Alex que todo o suporte e atenção que me proporcionou ao longo desse trabalho, de forma que ele pudesse ser concluído.

*O dever cumprido é a melhor maneira,
de fazer da própria consciência o mais alto local de repouso.*

Emmanuel

Resumo

O setor de edificações é responsável por 55% do consumo global de energia elétrica e, no Brasil, este valor foi calculado em de 51,8% no ano de 2019. Estima-se que esse consumo possa ser reduzido em 30% até o ano de 2050. Nesse contexto, com o intuito de aumentar a eficiência energética do setor, surgiram metodologias de avaliação de desempenho de edificações, as quais utilizam, dentre outras ações, medição e monitoramento para verificação de performance. Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi construir as curvas típicas de carga de uma edificação em diferentes meses de operação. A metodologia tem como referência os passos elencados na opção C do protocolo internacional de medição e verificação de performance. Sendo utilizados, para o estudo de caso no prédio da STI, dados históricos de medições de consumo em medidores próprios instalados na edificação. As curvas construídas puderam demonstrar um padrão de consumo energético típico para os meses em análise e por isso grandes variações no consumo também puderam ser observadas de forma clara. Conclui-se o trabalho com os possíveis próximos passos e análises que podem ser feitos, uma vez que já estão construídas as curvas de carga.

Palavras-chaves: Eficiência Energética. Medição e Verificação. Curvas de Carga. Edificações.

Abstract

The building sector is responsible for 55% of the global consumption of electric energy and, in Brazil, this value was estimated at 51.8% in the year of 2019. It is estimated that this consumption can be reduced by 30% by the year of 2050. In this context, in order to increase the energy efficiency of the sector, methodologies for evaluating the performance of buildings have emerged, which use, among other actions, measurement and monitoring to verify performance. Based on this, the objective of this work was to build the typical load curves of a building in different months of operation. The methodology is based on the steps listed in option C of the international measurement and performance verification protocol. Being used, for the case study, historical data of measurements of consumption in own meters installed in the building. The curves built demonstrate a typical energy consumption pattern for the months under analysis and, therefore, large variations in consumption could also be clearly observed. The work is concluded with the possible next steps and analyzes that can be done, since the load curves are already built.

Key-words: Energy Efficiency. Measurement and Verification. Load curves. Buildings.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Etapas Implementação processo de Medição e Verificação.	15
Figura 2 – Exemplo de Linha de Base.	16
Figura 3 – Opções de Medição do PIMVP	18
Figura 4 – Fluxograma de Escolha de Opção do PIMVP	20
Figura 5 – Típicas curvas de carga residenciais normalizadas.	23
Figura 6 – Curva de Carga de Consumidor Comercial.	23
Figura 7 – Curva de Carga do sistema UnB Energia	24
Figura 8 – Variações de consumo energético em diferentes meses.	28
Figura 9 – Curva de Carga Outubro 2020	29
Figura 10 – Curva de Carga Novembro 2020	29
Figura 11 – Curva de Carga Dezembro 2020	30
Figura 12 – Curva de Carga Janeiro 2021	30
Figura 13 – Curva de Carga Fevereiro 2021	31
Figura 14 – Curva de Carga Março 2021	31
Figura 15 – Curva de Carga Abril 2021	32
Figura 16 – Curvas de Carga Mensais STI	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Exemplos de Variáveis de Influência	21
Tabela 2 – Tipos de Variáveis de Influência	22
Tabela 3 – Consumo Mensal STI	27
Tabela 4 – Consumo Horário STI	27

Lista de abreviaturas e siglas

AEE	Ação de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CPD	Centro de Informática da UnB
FGA	Faculdade UnB Gama
M&V	Medição e Verificação
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
STI	Secretaria de Tecnologia da Informação da UnB
UnB	Universidade de Brasília

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivo Geral	14
1.3	Objetivos Específicos	14
1.4	Organização do trabalho	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Medição e Verificação de Performance	15
2.1.1	Processo de Medição e Verificação de Performance	15
2.1.2	Linha de Base	16
2.1.3	Fronteira de Medição	17
2.1.4	Opções de Medição	17
2.1.4.1	Opção A	18
2.1.4.2	Opção B	18
2.1.4.3	Opção C	19
2.1.4.4	Opção D	19
2.1.4.5	Escolha da Opção de M&V	19
2.2	Variáveis Independentes e Fatores Estáticos	21
2.3	Curvas de Carga	22
3	METODOLOGIA	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Plano de Medição e Verificação	26
4.2	Consumo Medido	26
4.3	Curvas de Carga	28
5	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS	35

1 Introdução

O uso de energia no setor de edificações tem aumentado constantemente desde o ano 2000, a uma taxa média anual de 1,1%. Estima-se que atualmente o setor seja responsável por mais de 55% do consumo global de eletricidade (IEA, 2019). No Brasil, em 2009, o setor de edificações, considerando os setores residencial, comercial e público, responderam por 41,7% do consumo de energia elétrica do país, totalizando 178 TWh. Segundo (EPE, 2020), em 2019 esse valor foi de 51,8%, totalizando 250 TWh.

Estima-se que há um potencial de redução de consumo de 30% em edificações existentes e de 50% em novas considerando, ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar condicionado e na envoltória (MEE, 2011). Além disso, de acordo com (IEA, 2019) construções autossuficientes e grandes renovações de energia podem reduzir o consumo do setor em aproximadamente 30% até 2050. Assim, fica claro que há um grande potencial de eficiência a ser explorado no setor.

O uso eficiente de energia elétrica é uma das grandes questões mundiais que implica nas áreas social, ambiental e econômica. Como o consumo de energia tende a crescer proporcionalmente ao PIB países que se dispõem ao desenvolvimento devem fazê-lo de forma eficiente e sustentável (MEE, 2011). Por essa razão há uma demanda crescente por medidas de eficiência energética nos setores com grande consumo energético.

Nesse contexto, surgiram diferentes protocolos e metodologias para avaliar o desempenho das edificações e apresentar oportunidades de melhoria como a *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), entre outras. Comum em todas está a necessidade de processos de monitoramento energético que realizem submedições de energia. Esse princípio é fundamental para a instituição de políticas de eficiência energética duradouras, dado que viabiliza-se o conhecimento das características de consumo da instalação e o desenvolvimento de ações pontuais (ANGARITA et al., 2020).

A partir do monitoramento é possível a gestão de energia, um processo contínuo e estruturado de acompanhamento do consumo de energia de uma instalação qualquer, monitorando variações e oportunidades de implantação de AEEs (ANGARITA et al., 2020). O acompanhamento do consumo requer uma metodologia com validade os dados obtidos, isso pode ser feito por meio de um plano de medição e verificação de performance. Os planos de medição e verificação de performance aumentam a credibilidade do desempenho energético e do resultado obtido em ações de melhoria do desempenho energético da organização (ISO, 2014). Estes resultados confiáveis incentivam a continuidade de melhoria do desempenho energético nas instituições.

Dados confiáveis e informações de qualidade são essenciais para a tomada de decisão e elaboração de planos de ação ou de manutenção desse modo, a utilização de planos de M&V é essencial fornece parte dos recursos necessários para o aumento da eficiência energética no setor de edificações.

1.1 Motivação

Edificações estão sujeitas a variados fatores que podem alterar o consumo, devido as suas diferentes funcionalidades, horários de utilização, sua localização entre outras. Desse modo, o processo de M&V é a ferramenta mais adequada para a gestão energética e estudá-la contribui com o progresso da eficiência energética nesse setor.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é construir curvas típicas de consumo energético de uma edificação, com base em metodologias de medição e verificação de performance.

1.3 Objetivos Específicos

- Estudar metodologias de medição e verificação de performance;
- Determinar o padrão das curvas de carga típicas da edificação;
- Desenvolver um estudo de caso, com base em dados medidos em uma edificação da Universidade de Brasília (UnB).

1.4 Organização do trabalho

O capítulo dois apresenta a revisão bibliográfica realizada sobre o tema explicando as metodologias e variáveis que são utilizadas. No capítulo três está detalhada a metodologia aplicada ao estudo de caso, o quarto traz os resultados e uma discussão sobre os resultados obtidos. No quinto capítulo tem-se a conclusão do trabalho.

2 Referencial Teórico

2.1 Medição e Verificação de Performance

2.1.1 Processo de Medição e Verificação de Performance

O processo de medição e verificação de performance (M&V) consiste na utilização de medições para determinar, de modo seguro, a economia real gerada numa instalação por meio um programa de gestão de energia (EVO, 2012). A economia esperada não pode ser medida diretamente e portanto faz-se uma comparação entre o consumo antes e depois da implementação de um projeto. Outra definição é a da ISO 50.015 (ISO, 2014) que diz que medição e verificação é o processo de planejar, medir, coletar dados, analisar, verificar e reportar a performance de energia nas fronteiras definidas. Estas etapas podem ser melhor compreendidas na figura 1.

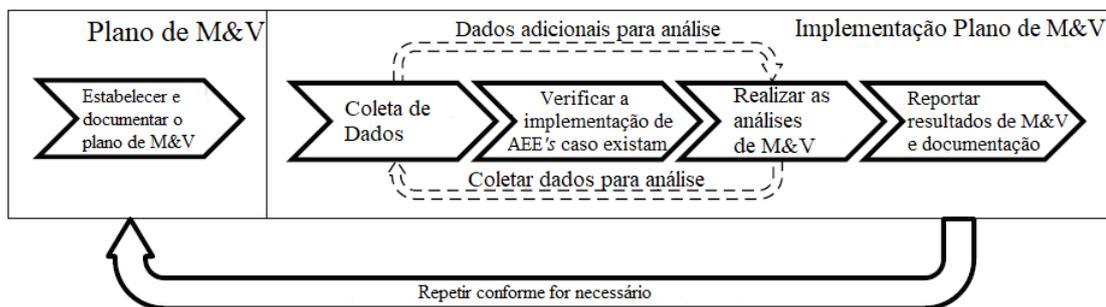


Figura 1 – Etapas Implementação processo de Medição e Verificação.

Fonte: (ISO, 2014)

O processo de M&V pode ser utilizado com diferentes objetivos, a depender do escopo de trabalho em que está inserido. Segundo (EVO, 2012) suas aplicações podem ser, medir o resultado de uma ações de eficiência energética, parte de um sistema de gestão energética, aumentar a compreensão do público a respeito da gestão de energia como ferramenta de política pública entre outras.

Por conta do detalhamento que há em processos de medição e verificação, essa ferramenta pode também ser utilizada pra a gestão energética de um edifício mesmo que não haja a realização de ações de eficiência energética, como ocorre neste trabalho.

2.1.2 Linha de Base

Linha de Base representa a medição do consumo antes da implementação de uma AEE, para permitir a comparação entre com o consumo posterior a essa implementação uma vez a economia de energia não pode ser medida diretamente (EVO, 2012). Ou seja, consiste dos valores de referência que serão utilizados para fazer as análises desejadas. Em certos casos é necessário ajustar a linha de base após a implantação de um projeto para refletir mudanças de consumo e alterações na instalação para determinar a real economia. Desse modo, o valor resultante da diferença entre o consumo da linha de base ajustado e a energia que foi efetivamente medida durante o período de determinação da economia representa a estimativa da economia realizada ou o consumo evitado. A figura 2 apresenta um exemplo de linha de base.

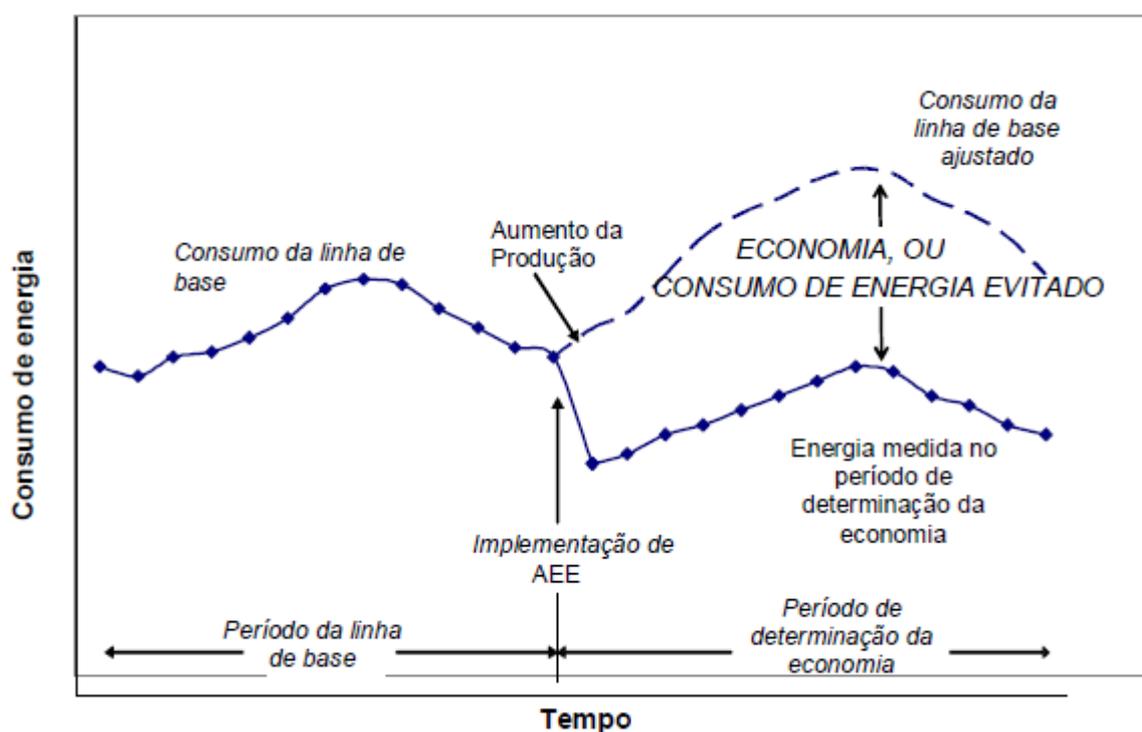


Figura 2 – Exemplo de Linha de Base.

Fonte: (EVO, 2012)

O período da linha de base deve contemplar um ciclo completo de funcionamento do sistema analisado, cobrindo os consumos mínimos e máximos (EVO, 2012). É preferível que este período seja de um ano para retratar as variações ocorridas em todos os meses considerando as variáveis que foram determinadas (ANGARITA et al., 2020).

Utilizar desse conceito de linha de base permite a construção de uma referência

de valores sólida para o estudo em questão, mesmo que seja usado um período de tempo diferente ou mesmo que não haja alterações no objeto em análise. Isso porque a forma com que se segue a coleta e construção da linha de base conforme as referências faz com que o produto final seja de maior confiança.

De forma semelhante tem-se o período de determinação da economia que também deve englobar um ciclo completo de funcionamento do sistema em análise para caracterizar completamente a eficácia da economia (EVO, 2012). É importante tenha mesma duração do período de linha de base para que efetivamente consiga se determinar a economia como por exemplo numa AEE de troca de ar condicionado em instituição de ensino. O consumo deste sistema sofre variações ao longo de sua utilização como ocupação e temperatura externa, que precisam ser verificadas em ambos períodos para a obtenção de resultados válidos (ANGARITA et al., 2020).

2.1.3 Fronteira de Medição

A fronteira de medição descreve a localização dos medidores que determinam o limite onde serão observados os efeitos da ação de eficiência energética (ANEEL, 2014). Pode-se determinar a economia para toda a instalação ou para apenas uma parte determinada a depender do objetivo do que se quer reportar (EVO, 2012). Destacam-se três: geração de relatórios para gerir equipamentos específicos, gestão do desempenho energético de toda a instalação e simulação calibrada por falta de dados confiáveis.

2.1.4 Opções de Medição

O protocolo apresenta quatro opções de medição e verificação divididas em dois grupos, Medições isoladas e Medições Globais. No primeiro estão as opções A e B, com diferentes quantidades de medições realizadas, no segundo estão as opções C e D que utilizam diferentes metodologias podendo os limites diferir também. As opções podem ser melhor compreendidas na figura 3.

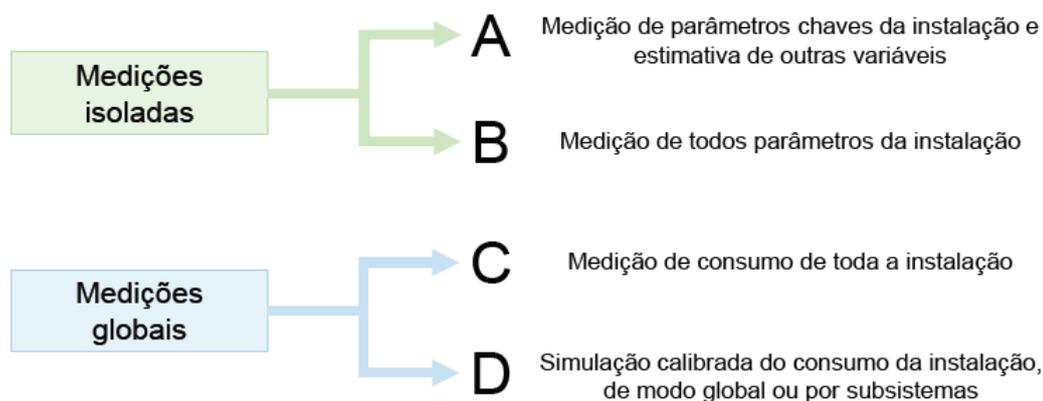


Figura 3 – Opções de Medição do PIMVP

Fonte: (ANGARITA et al., 2020)

2.1.4.1 Opção A

A opção A consiste na medição isolada da AEE onde a economia é determinada por medições no campo dos parâmetros chave e estimativa dos demais, estes parâmetros definem o uso de energia dos sistemas afetados pela AEE, e o sucesso ou não do projeto (EVO, 2012). Para a execução dessas medições é importante que os medidores sejam instalados no limite da fronteira de medição para que sejam coletado apenas os dados do sistema em análise (ANGARITA et al., 2020). As estimativas podem ser baseadas em dados históricos, especificações do fabricante, ou avaliação de engenharia.

A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas no parâmetro medido e da duração do período de determinação da economia (EVO, 2012). Exemplo de aplicação é, AEE da iluminação onde ocorre a troca por lâmpadas mais eficientes e se faz a medida da potência de iluminação e se estima as horas de uso.

Este método é indicado para situações em que a AEE altere apenas um parâmetro como potência ou horas de uso, uma vez que com mais parâmetros alterados fica impossibilitada estimativa de fatores (HONORATO, 2019).

2.1.4.2 Opção B

A opção B consiste na medição isolada da AEE com a a medição de todos os parâmetros envolvidos e com isso se elimina a necessidade de realizar estimativas (EVO, 2012). Uma vez determinados os fluxos de energia através da fronteira de medição, pode-se obter um modelo de consumo do equipamento, que correlaciona as variáveis medidas e viabiliza o cálculo do resultado a AEE (ANGARITA et al., 2020).

Nesta opção, pode se fazer a análise de um equipamento único ou de um conjunto

o que depende do planejamento do plano de medição e verificação. Ressalta-se que, geralmente, esse processo é mais demorado que a opção A, uma vez que requer uma maior quantidade de medições e a depender do escopo essas medições podem ser mais complexas (ANGARITA et al., 2020).

2.1.4.3 Opção C

Na opção C, a economia é determinada pela medição do consumo de energia em nível de toda a instalação ou sub instalação, sendo utilizados medidores próprios ou os medidores da concessionária de energia (ANGARITA et al., 2020). Desse modo avalia-se o impacto de todas as AEEs que venham a ser realizadas no sistema.

A opção C é destinada para projetos em que a redução de consumo seja significativa. Para que o método seja utilizado com confiança, estima-se que a economia ultrapasse em 10% a linha de base dado um período de determinação da economia menor que dois anos (EVO, 2012).

2.1.4.4 Opção D

A opção D consiste na determinação da economia através da simulação do consumo de energia de toda a instalação, ou de uma subinstalação por meio de software de simulação computadorizada (EVO, 2012). Esta opção é utilizada quando os dados para a construção da linha de base e do período de determinação da economia não são confiáveis ou inexistentes.

As rotinas de simulação devem modelar adequadamente o desempenho energético real medido na instalação, e por isso esta opção requer habitualmente competências consideráveis em simulação calibrada sendo essa parte a mais difícil do método (EVO, 2012). Além disso, para reduzir a incerteza e permitir a documentação de todas as considerações realizadas para aplicação das simulações são necessários dados de entrada estatisticamente válidos (ANGARITA et al., 2020).

2.1.4.5 Escolha da Opção de M&V

A decisão por uma das opções de M&V depende de uma variedade de fatores, como o tipo de instalação, a ação de eficiência energética implementada, recursos financeiros disponíveis, entre outros. Não há como generalizar qual a melhor opção para qualquer situação, todavia com base em algumas características chave pode-se se orientar essa escolha (EVO, 2012). Desse modo, na figura 4 tem-se um fluxograma que subsidia esse processo de escolha.

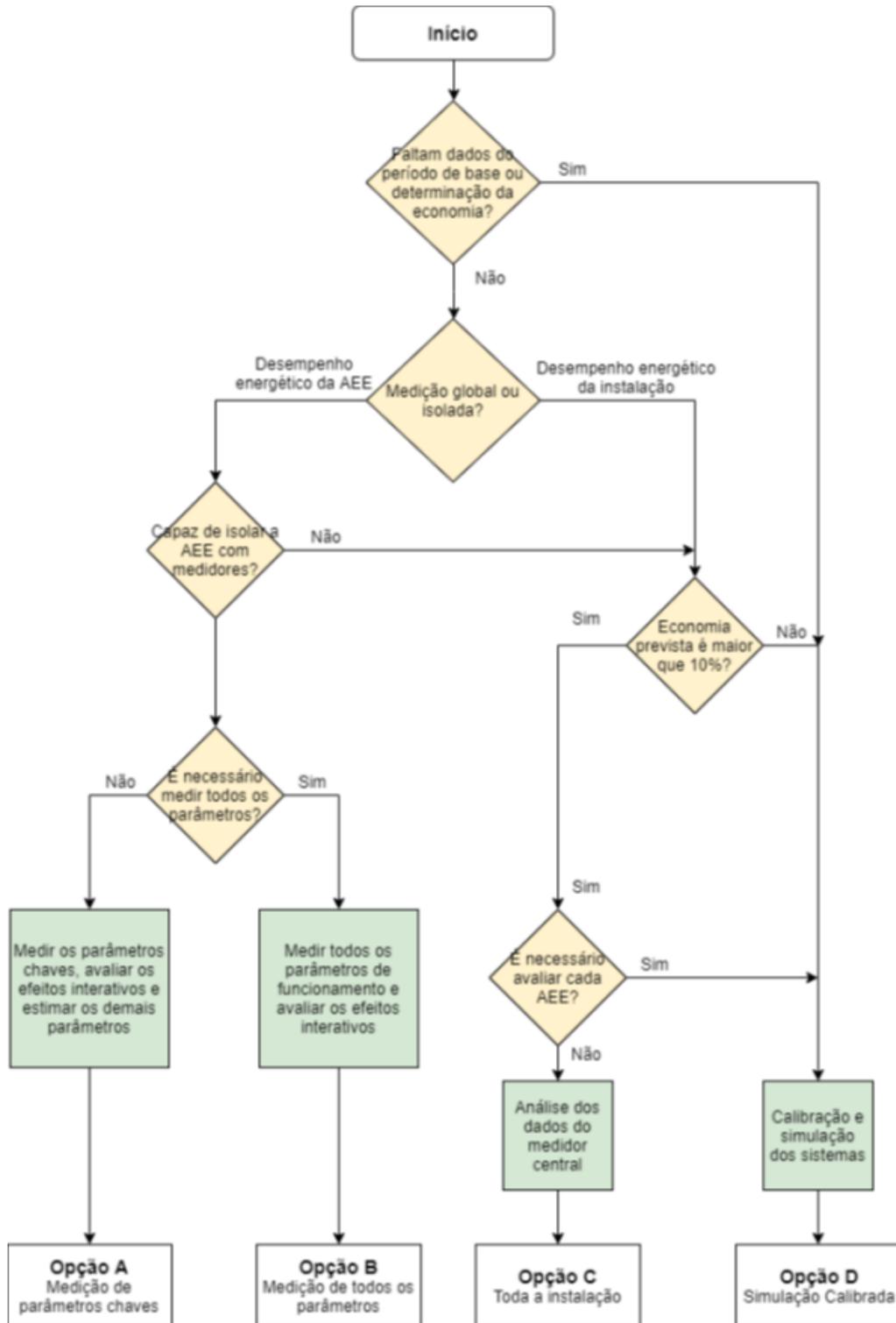


Figura 4 – Fluxograma de Escolha de Opção do PIMVP

Fonte: (ANGARITA et al., 2020)

2.2 Variáveis Independentes e Fatores Estáticos

Variáveis de independentes são parâmetros utilizados durante as análises realizadas nos processos de medição e verificação para compreender os valores resultantes das comparações de consumo. Segundo (EVO, 2012) variáveis independentes são parâmetros que podem mudar regularmente, provocando uma alteração mensurável no consumo de energia. Exemplos mais comuns dessas variáveis são volume de produção, ocupação e clima, neste último considera-se a temperatura exterior do ar medida nos termômetro de bulbo seco (EVO, 2012).

Fatores estáticos são parâmetros que influenciam o consumo de energia, mas que não se espera que sofram alteração quando ocorra a implantação de uma AEE, exemplos destes fatores são característica de revestimento da edificação, tamanho das instalação entre outros (EVO, 2012). São fatores que devem ser monitorados para que sejam feitos os ajustes necessários durante a determinação da economia.

Em trabalhos na área de M&V autores se referem as variáveis independentes e aos fatores estáticos como variáveis de influência. (BATLLE et al., 2020) relata que o consumo de edificações está relacionado a um conjunto de variáveis e apresenta dois grupos de variáveis que influenciam o consumo de energia sendo elas controláveis e não controláveis, subdividindo em quatro grupos, uso de área, carga térmica, temperatura e sazonalidade. A tabela 1 apresenta exemplos de variáveis de influência de consumo em instituições de ensino superior.

Variável	Grupo	Tipo
Horas de Operação	Uso de área	Controlável
Áreas de Operação	Uso de área	Controlável
Localização geográfica	Carga Térmica	Controlável
Materiais da Construção	Carga Térmica	Controlável
Quantidade de Pessoas	Carga Térmica	Controlável
Variação de Temperatura Ambiente	Temperatura	Não Controlável
Mudança de estação de ano	Sazonalidade	Não Controlável

Tabela 1 – Exemplos de Variáveis de Influência

Fonte: (BATLLE et al., 2020)

As variáveis de influência também são usadas para a avaliação dos chamados *smart buildings*. Segundo (COSTANZO et al., 2012) estes são edificações que possuem a maior parte de seus equipamentos gerenciáveis e a gestão do consumo de energia é feita localmente. No estudo realizado por (DAKHEEL et al., 2020) concluiu-se que fatores externos como a variação do clima e fatores internos como interação dos usuários e a capacidade de supervisão dos sistemas da construção tem grande influência no desempenho da edificação.

No trabalho de (CHEN et al., 2020) é apresentado o estado da arte de fatores internos e externos que influenciam o consumo, como resultado têm-se três grandes categorias de variáveis. Sendo elas redução da demanda da edificação, utilização de equipamentos eficientes e comportamento dos ocupantes. Exemplos das variáveis abordadas no estudo podem ser vistas na tabela 2.

Variável	Grupo
Isolamento	Redução da Demanda da Edificação
Orientação da Edificação	Redução da Demanda da Edificação
Recuperação de Aquecimento	Utilização de Equipamentos Eficientes
Resfriamento Evaporativo	Utilização de Equipamentos Eficientes
Sensores Inteligentes	Comportamento dos Ocupantes
Carga de Tomadas	Comportamento dos Ocupantes

Tabela 2 – Tipos de Variáveis de Influência

Fonte: (CHEN et al., 2020)

Como apresentado pela literatura, as variáveis de influência são diversas e podem ser aplicadas sobre diferentes sistemas de edificações e por isso devem ser elencadas com cautela a depender do escopo de estudo. Uma vez que devem ser consideradas questões como disponibilidade da informação, custos para a medição desses parâmetros, objetivo do processo de medição e verificação entre outros. Ainda assim, percebe-se que as variáveis relacionadas ao clima e comportamento das pessoas são mais recorrentes.

2.3 Curvas de Carga

Curvas de carga de acordo com (ANEEL, 2018) são um registro horário, em um período diário, das demandas de capacidade. Essa representação também pode ser feita em diferentes períodos de tempo como semana e mês. São uma ferramenta poderosa para se fazer variados tipos de análises e estudos.

As curvas de carga, por meio de uma análise e comparação visual, permitem compreender de forma efetiva o comportamento de diferentes cargas, aumento de consumo energético, falhas de medições entre outros parâmetros. Além disso, com o uso de ferramentas estatísticas pode-se correlacionar informações para compreender melhor alterações encontradas nas medições, por isso são ferramenta essencial em um processo de medição e verificação de performance.

A partir desse gráfico pode-se, também, fazer análises de padrões de consumo, agrupar diferentes perfis de consumidores, detectar dados incorretos ou roubo de energia e fazer previsões de demanda como mostrado em (WANG et al., 2018). As curvas de carga

permitem compreender melhor o comportamento das unidades consumidoras subsidiando questões como a operação do SIN, estudos de aumento da capacidade entre outros. Nas figuras 5 e 6 apresenta-se exemplos de curvas de carga.

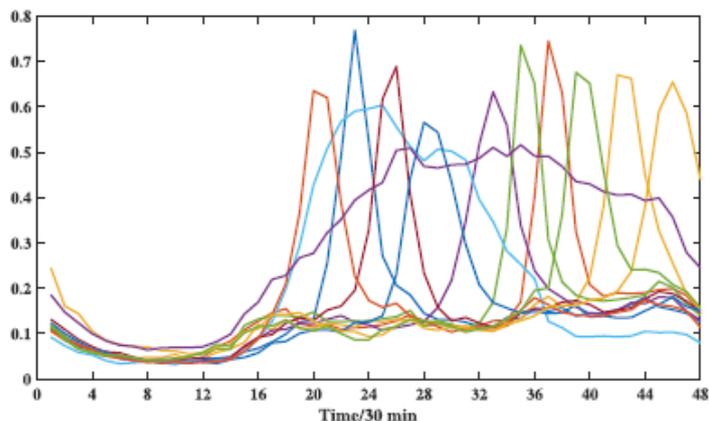


Figura 5 – Típicas curvas de carga residenciais normalizadas.

Fonte: (WANG et al., 2018)

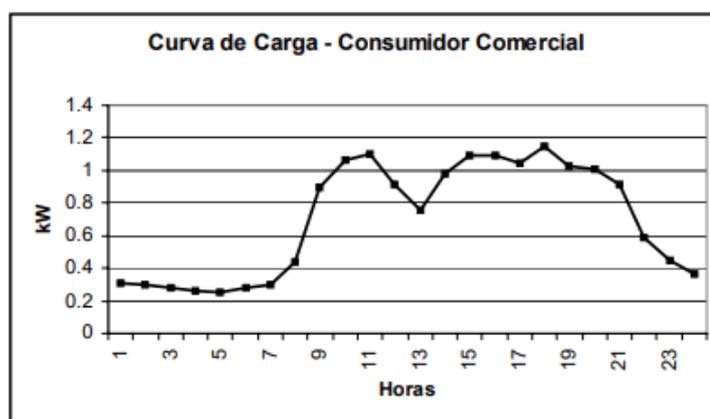


Figura 6 – Curva de Carga de Consumidor Comercial.

Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

A instalação de medidores na própria unidade consumidora permite a coleta dos dados necessários para a construção própria das curvas de cargas e com isso é possível compreender melhor o respectivo consumo de energia. Esse tipo de informação contribui na geração de um plano de gestão energética que por sua vez pode contribuir com melhor operação e manutenção de indústrias e universidades, por exemplo. Como exemplo tem-se a figura 7 de edificação da UnB.

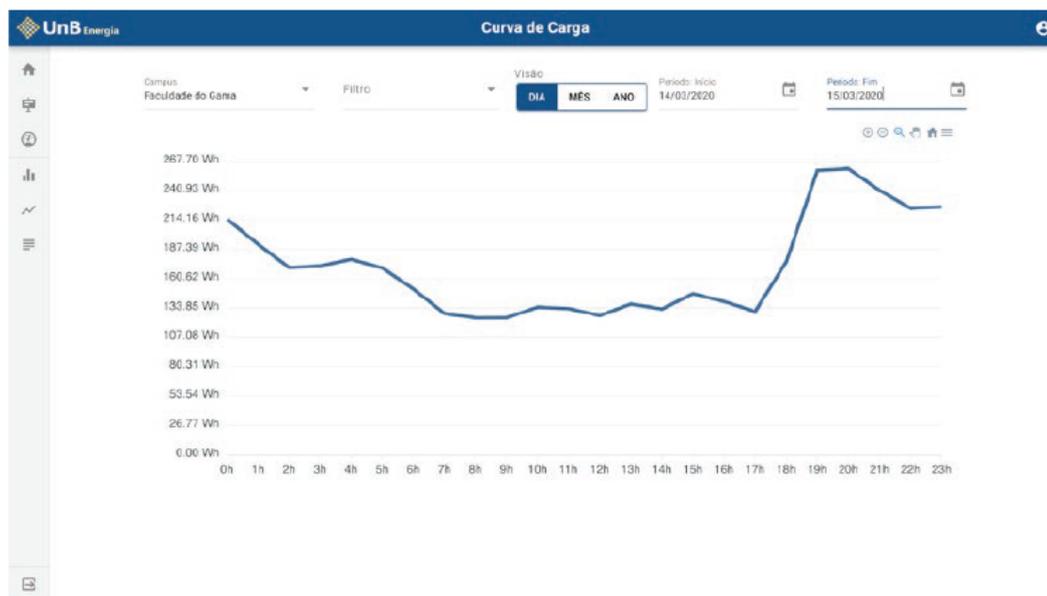


Figura 7 – Curva de Carga do sistema UnB Energia

Fonte: (ANGARITA et al., 2020)

Com a utilização de curvas de carga em sistemas de gestão de energia, inspeções visuais de rotina são capazes de apontar distorções de consumo. A partir disso inicia-se um processo de verificação para compreender a causa da variação de consumo percebida adaptando os passos presentes no protocolo de medição e verificação de performance, uma vez que não se trata de uma AEE.

3 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho baseou-se na opção C do protocolo de medição e verificação de performance, pois como o interesse é de compreender o consumo global de energia da edificação esta é a opção que se adequa ao escopo do trabalho. Dessa forma, serão utilizadas medições de consumo energético correspondentes a toda a edificação. Os dados foram obtidos na plataforma SIGE (<<http://sige.unb.br/>>), que disponibiliza medições horárias de consumo, tensão, corrente entre outras informações de algumas edificações da UnB.

Para o estudo de caso foi escolhido o prédio da Secretaria de Tecnologia de Informação da Universidade de Brasília - STI, antigo CPD, localizado no campus Darcy Ribeiro. Essa escolha se deu por conta da característica de consumo energético mais estável, porque se trata de um prédio com menor circulação de pessoas e maior presença de equipamentos de informática. Também por conta da pandemia da COVID-19, que por restringir a circulação de pessoas espera-se um consumo próximo ao normal de uma edificação já com baixa circulação de pessoas. Foram utilizadas as medições de consumo dos meses de outubro de 2020 a abril de 2021 contidas no medidor "STI 1" da plataforma. Isso porque estes foram os meses com dados completos disponíveis na plataforma durante o período de execução deste trabalho.

Para a construção das curvas de carga optou-se pela relação entre Consumo x Hora, de modo a compreender como se comporta o consumo e poder comparar de forma apropriada o consumo de diferentes meses. Além disso, essa opção permite análises futuras mais elaboradas que permitam compreender discrepâncias de consumo detectadas.

4 Resultados e Discussão

4.1 Plano de Medição e Verificação

O plano de M&V reúne informações do prédio em análise como as características físicas, qual foi a AEE, resultado esperado, variáveis medidas e calculadas, entre outras. Devido ao seu detalhamento, funciona, também, como uma sequência de etapas a serem cumpridas à medida em que se estrutura esse plano. A partir disso e com base nos conceitos revisados, considerando que não há AEEs na proposta do trabalho tem-se uma versão simplificada da estratégia de medição e verificação apresentada abaixo.

- Objetivo

O objetivo do projeto é construir as curvas típicas de carga mensais da edificação.

- Verificação Operacional

Coletar dados de consumo de energia elétrica dos sensores de memória de massa instalados no quadro geral da edificação.

- Opção do PIMVP e Justificativa

Será utilizada a opção C, pois o interesse é medir o consumo de toda a instalação e há medidores instalados com dados históricos úteis para a determinação da linha de base.

- Fronteira de Medição

A fronteira de medição é delimitada pelo circuito onde se encontra o sensor que faz a medição de consumo da edificação.

- Período de Linha de Base

A linha de base será de sete meses que corresponde a quantidade de meses com dados disponíveis obtida.

4.2 Consumo Medido

Com base na medições obtidas, os valores de consumo mensal da edificação podem ser vistos na tabela 3. Como pode-se perceber nos valores de consumo apresentados, há de fato pouca variação entre os meses. Destaca-se o mês de outubro com aproximadamente 3.000 kWh de consumo a mais que nos demais meses e abril com um consumo relativamente menor. De qualquer modo, corrobora-se a ideia de que o consumo desta edificação tem

uma estabilidade e por isso é mais fácil de se observar distorções de consumo, caso ocorram como no mês de outubro.

Ano	Mês	Consumo (kWh)
2020	Outubro	20106,04
	Novembro	17114,45
	Dezembro	17608,47
2021	Janeiro	17076,04
	Fevereiro	16911,02
	Março	17221,83
	Abril	16347,40

Tabela 3 – Consumo Mensal STI

Fonte: Autor

Horário	Consumo (kWh)
00:00	17634,03
01:00	17338,89
02:00	17646,45
03:00	17433,21
04:00	17426,78
05:00	17131,71
06:00	17042,72
07:00	17263,49
08:00	17033,97
09:00	17054,49
10:00	17633,25
11:00	17821,00
12:00	18035,36
13:00	18330,58
14:00	17879,87
15:00	18284,92
16:00	17688,28
17:00	17751,53
18:00	14906,87
19:00	17281,77
20:00	17930,34
21:00	17443,55
22:00	17781,51
23:00	17832,02

Tabela 4 – Consumo Horário STI

Fonte: Autor

Já o consumo médio horário está apresentado na tabela 4. Nota-se mais uma vez um consumo com pouca variação, ainda que se observando a variação ao longo do dia e sendo

uma média entre os meses em análise. Os valores da tabela 4 servem como linha de base para observar variações de consumo nos diferentes meses, na figura 8 pode-se perceber essa variação entre os meses em relação à média. Com o mapa de cores apresentado na figura, fica mais fácil de mapear grandes variações bruscas de consumo e buscar suas causas. Mais uma vez, verifica-se como exemplo de variações maiores de consumo os meses de outubro e abril.

Mês	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL
Horário	Variação %						
00:00	10,11%	-2,86%	-2,48%	-3,96%	-0,78%	-0,19%	-1,28%
01:00	15,26%	1,47%	-1,95%	-6,09%	-0,51%	-4,96%	-7,07%
02:00	12,04%	-0,80%	-1,06%	-1,04%	1,43%	-6,20%	-6,87%
03:00	13,38%	-0,60%	2,74%	-5,20%	-5,18%	-2,36%	-5,81%
04:00	15,44%	-1,15%	-0,33%	-8,45%	-7,10%	3,11%	-5,92%
05:00	14,46%	-3,23%	-2,84%	-8,82%	-1,23%	-0,20%	-1,50%
06:00	12,89%	-3,14%	0,81%	-5,90%	-3,89%	0,48%	-3,88%
07:00	13,14%	-4,66%	0,52%	-1,85%	2,46%	-6,85%	-5,82%
08:00	16,50%	-5,92%	-2,37%	-3,48%	2,64%	-6,12%	-5,75%
09:00	11,38%	-2,48%	-0,62%	1,47%	-0,27%	-2,98%	-8,85%
10:00	13,04%	-4,38%	5,71%	-2,50%	1,67%	-3,81%	-14,23%
11:00	12,06%	-0,15%	5,29%	-0,24%	-7,94%	-0,69%	-12,20%
12:00	13,07%	-4,85%	1,66%	-1,63%	-0,93%	-0,30%	-10,24%
13:00	13,90%	-2,88%	0,27%	0,26%	-2,41%	-2,30%	-10,21%
14:00	15,00%	-13,03%	2,90%	0,55%	-2,73%	-0,38%	-7,10%
15:00	13,83%	-3,32%	2,09%	0,60%	-8,63%	0,30%	-8,60%
16:00	15,01%	-9,56%	4,03%	-0,51%	-4,07%	-3,56%	-5,58%
17:00	13,37%	-8,69%	3,67%	-0,71%	-3,83%	-0,92%	-6,32%
18:00	3,92%	2,00%	-2,64%	2,59%	-14,97%	2,95%	3,64%
19:00	16,24%	5,52%	3,88%	2,97%	-14,51%	-3,31%	-19,68%
20:00	10,28%	6,12%	1,49%	-1,38%	-3,58%	-2,92%	-13,41%
21:00	10,44%	2,40%	-0,01%	-2,87%	-4,15%	-0,03%	-7,87%
22:00	14,45%	2,35%	-6,93%	-9,25%	-1,44%	0,36%	-3,40%
23:00	10,93%	-3,54%	0,33%	-4,16%	-7,09%	2,97%	-1,66%

Figura 8 – Variações de consumo energético em diferentes meses.

Fonte: Autor

4.3 Curvas de Carga

A partir das medições coletadas, e com o devido tratamento dos dados, foram construídas as curvas de carga mensais que podem ser observadas da figura 9 à 15. A partir delas fica melhor de compreender o comportamento de consumo durante o dia entres os meses em análise, e determinar um padrão de consumo da edificação para as análises que se queria fazer.

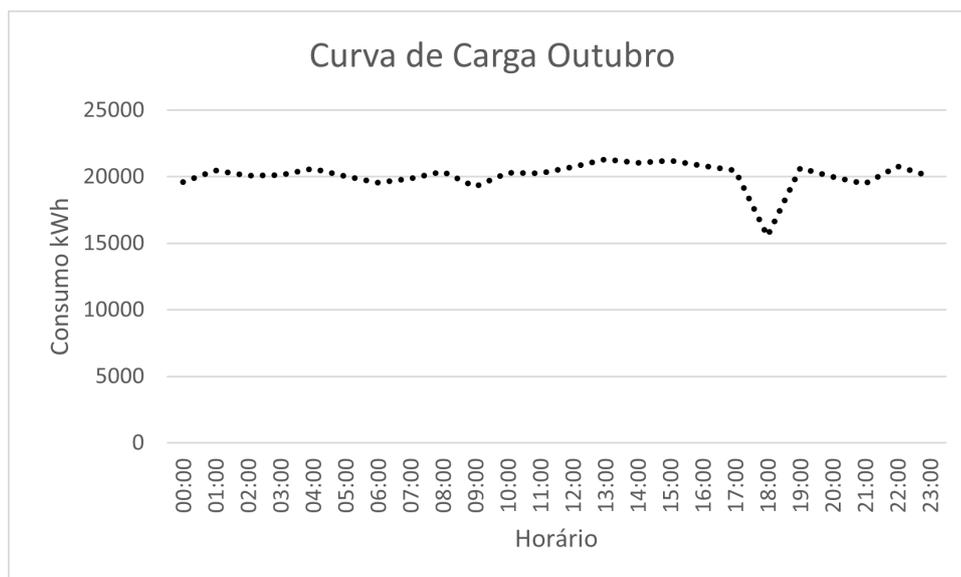


Figura 9 – Curva de Carga Outubro 2020

Fonte: Autor

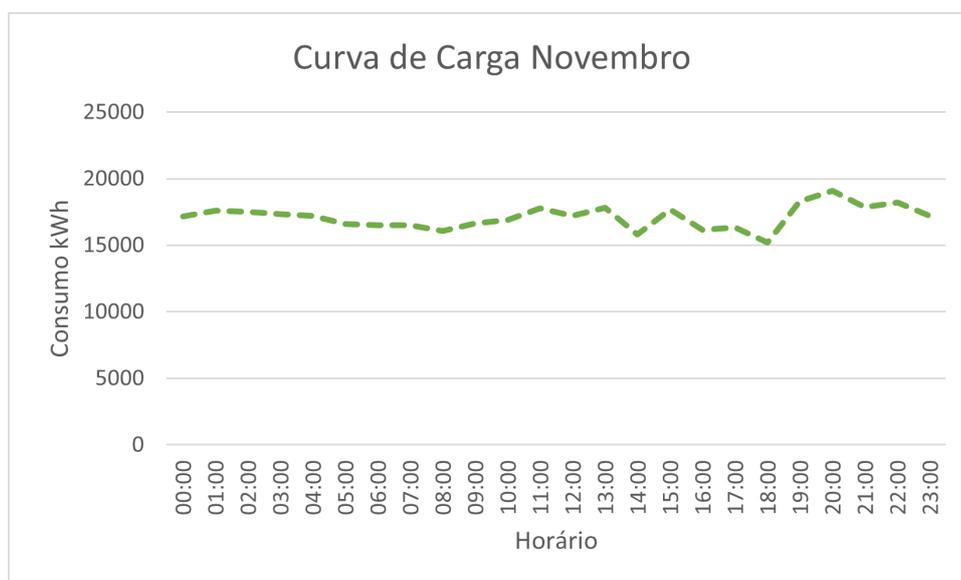


Figura 10 – Curva de Carga Novembro 2020

Fonte: Autor

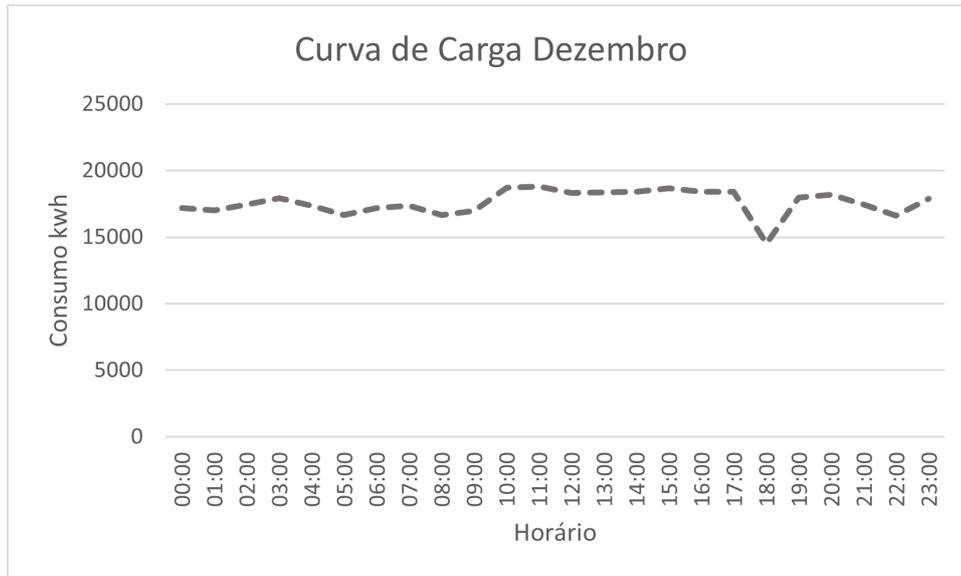


Figura 11 – Curva de Carga Dezembro 2020

Fonte: Autor

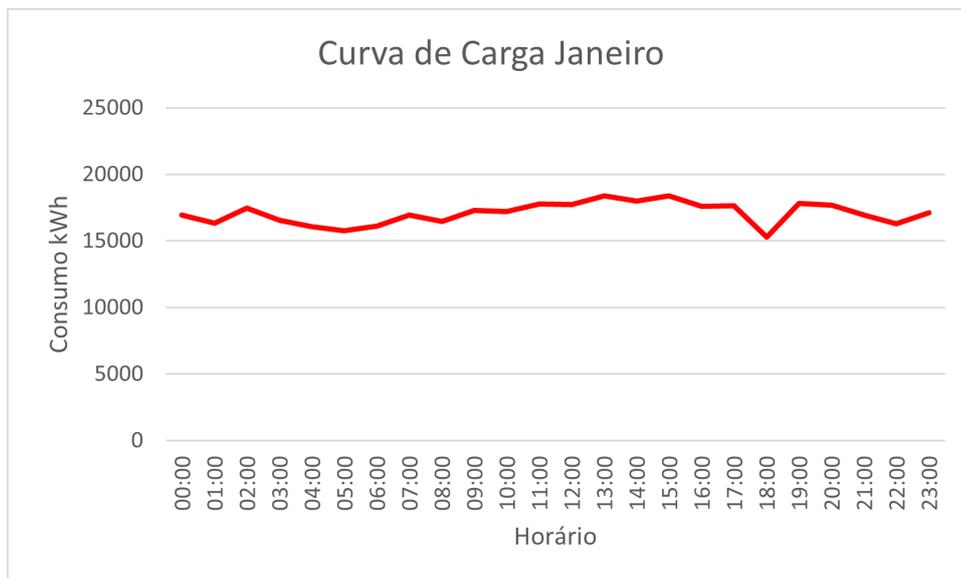


Figura 12 – Curva de Carga Janeiro 2021

Fonte: Autor

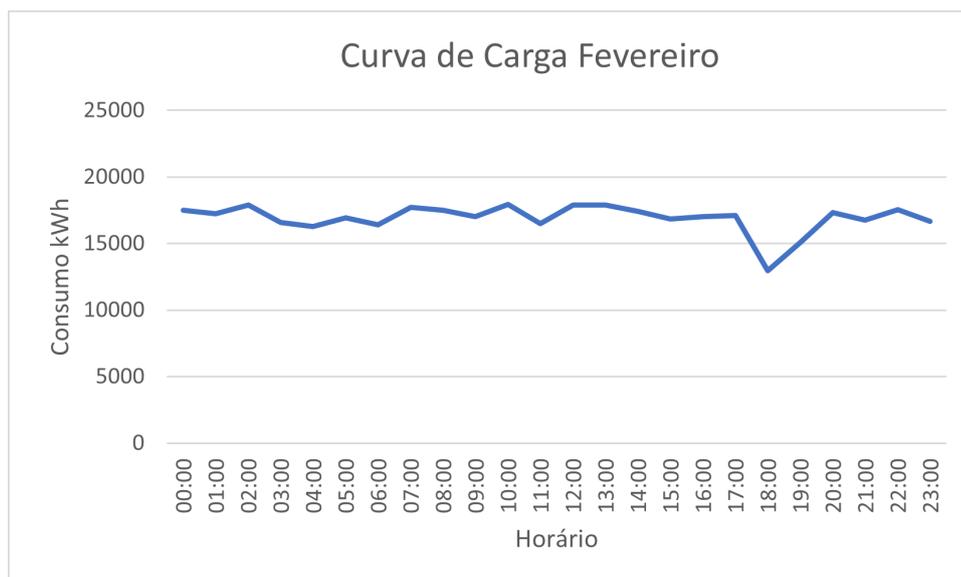


Figura 13 – Curva de Carga Fevereiro 2021

Fonte: Autor

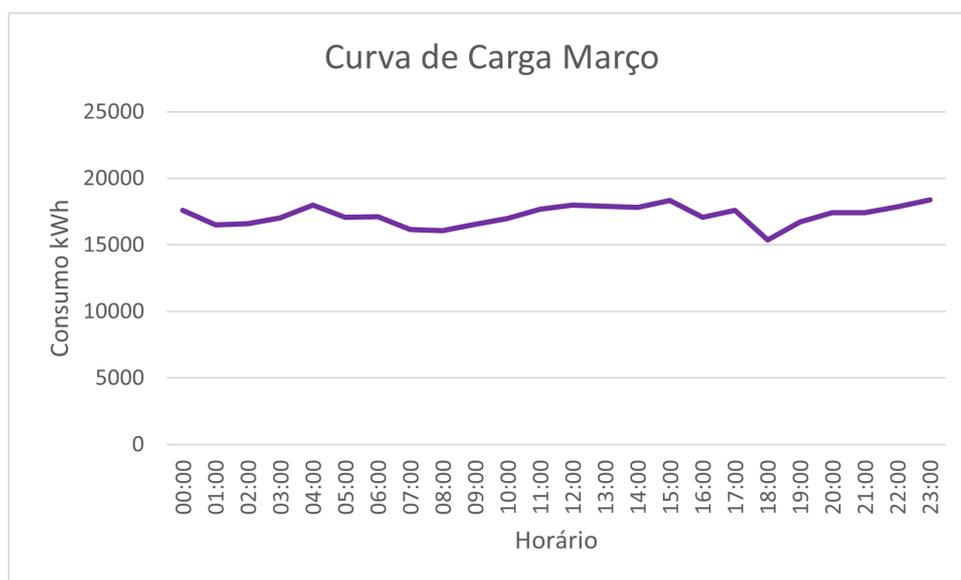


Figura 14 – Curva de Carga Março 2021

Fonte: Autor

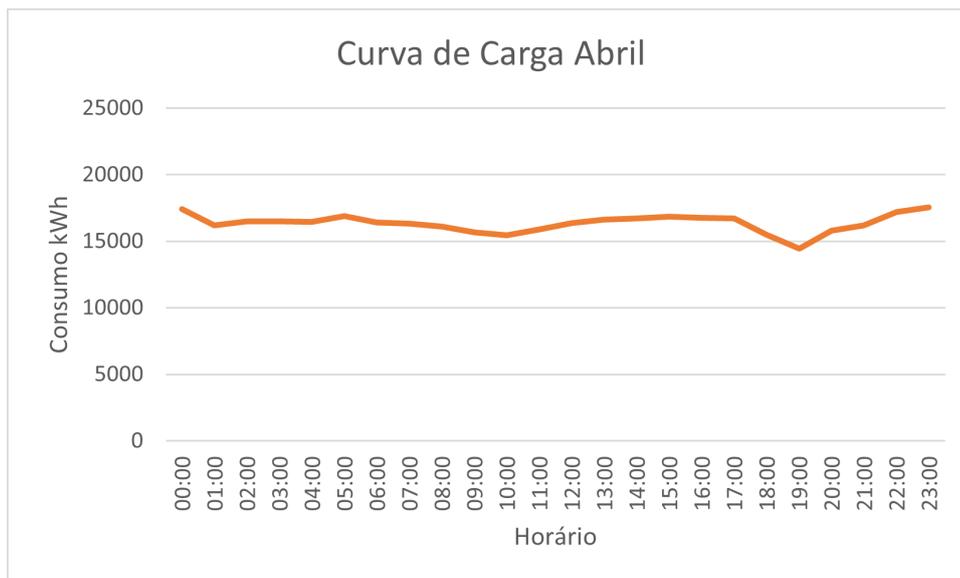


Figura 15 – Curva de Carga Abril 2021

Fonte: Autor

Nota-se que na maior parte do meses o consumo fica na faixa entre 15.000 e 20.000 kWh, que há uma queda de consumo acentuada às 18 horas e que o consumo é relativamente estável ao longo do dia. Uma vez construídas estas curvas, a curva média pode ser utilizada como linha de base para se fazer as análises entre os meses e avaliar os valores de consumo. Assim sendo, o comportamento mensal comparativo de consumo no prédio do CPD pode ser visto na figura 16.

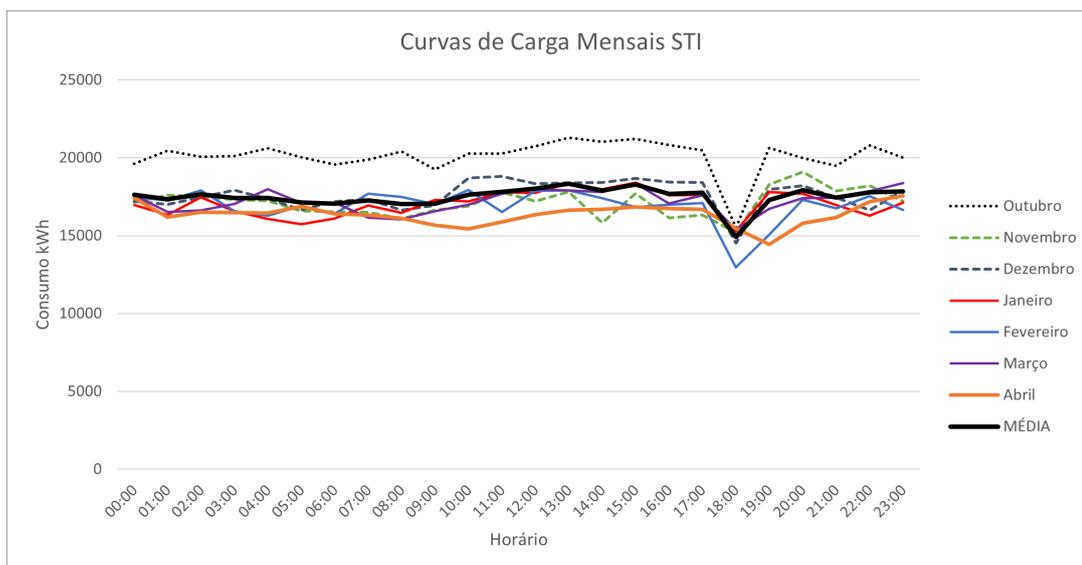


Figura 16 – Curvas de Carga Mensais STI

Fonte: Autor

Ao se observar a figura 16, constata-se que há, notadamente, um comportamento padrão de consumo desta edificação ficando evidentes aumentos ou reduções de consumo em diferentes meses. Por meio da observação deste gráfico levantam-se questões para compreender do que resulta a redução de consumo às 18 horas e o aumento expressivo no mês de outubro, por exemplo. Com isso, dá-se andamento as fases seguintes de um processo de medição e verificação de performance seja ele com AEEs ou não. Uma vez que já está construída a linha de base, considerando um sistema de gestão de energia inicia-se a procura das causas que justificam as alterações de consumo para que em seguida se tome as providências cabíveis.

5 Conclusão

As edificações são responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo e por isso são, também, um setor com amplas oportunidades de implementação de projetos de eficiência energética.

O trabalho teve como objetivo revisar metodologias de medição e verificação de performance utilizadas na avaliação de edifícios para a partir delas construir as curvas de carga típicas de uma edificação. Por se tratar de um trabalho interessado no consumo global de energia, a revisão das opções de medição conduziu o trabalho para uma análise melhor dos resultados uma vez que se compreendeu melhor como trabalhar esses dados.

Pode-se perceber com as curvas produzidas como é o consumo característico de energia no prédio da STI permitindo observar quando ocorre grandes variações de consumo. A utilização dessa inspeção visual em rotinas de operação permite um ganho de tempo e economia de recursos dado que consegue se distinguir uma distorção do consumo padrão sem precisar de análises mais elaboradas e custosas.

As curvas de carga funcionam como diferentes linhas de base para análises que se queira fazer no futuro seja considerando o consumo mensal de um ano ou horário também de um ano. Considerando as restrições de circulação impostas pela pandemia da covid-19, podem ser ainda uma linha de base para quando não há ocupação na edificação.

Pode-se perceber, também, que o uso da metodologia presente em um processo de M&V se adequa bem ao contexto de universidades, porque se conhece o padrão de consumo para além do quantidade faturada pela concessionária de energia permitindo melhor gestão desse consumo. E além disso, o processo agrega confiabilidade aos resultados pela maneira em que é conduzido e documentado, ainda que de modo adaptado.

Um próximo passo para complementar o processo de medição e verificação iniciado pelas curvas de carga, seria a o exame das grandes variações de consumo em busca de suas causas. Compreender essas causas é determinante para que haja um bom sistema de gestão de energia, determinando faixas normais de variação e distorções para que ocorra a manutenção do uso eficiente de energia elétrica.

Referências

- ANEEL. *Guia de Medição de Verificação*. Brasil, 2014. Citado na página 17.
- ANEEL. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 1*. Brasil, 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/modulo-1>>. Citado na página 22.
- ANGARITA, J. A. C. et al. *Ações de Eficiência Energética Associadas à Geração Distribuída Estudo de Caso: Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília*. 1. ed. [S.l.]: Casa 73, 2020. Citado 7 vezes nas páginas 13, 16, 17, 18, 19, 20 e 24.
- BATLLE, E. A. O. et al. A methodology to estimate baseline energy use and quantify savings in electrical energy consumption in higher education institution buildings: Case study, federal university of itajubá (unifei). *Journal of Cleaner Production*, v. 244, 2020. Citado na página 21.
- CHEN, S. et al. A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings. *Energy and Buildings*, v. 216, 2020. Citado na página 22.
- COSTANZO, G. T. et al. A system architecture for autonomous demand side load management in smart buildings. *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, v. 3, 2012. Citado na página 21.
- DAKHEEL, J. A. et al. Smart buildings features and key performance indicators: A review. *Sustainable Cities and Society*, v. 61, 2020. Citado na página 21.
- EPE. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*. Brasil, 2020. Citado na página 13.
- EVO. *Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água*. Canadá, 2012. Citado 6 vezes nas páginas 15, 16, 17, 18, 19 e 21.
- FRANCISQUINI, A. A. *Estimação de Curvas de Carga em Pontos de Consumo e em Transformadores de Distribuição*. Dissertação (Mestrado) — UNESP, 2006. Citado na página 23.
- HONORATO, J. P. A. *Medição e verificação: Uma análise da utilização de simulação computacional para avaliar os resultados da eficiência energética*. 2019. Monografia (Bacharel em Engenharia de Energia) , Universidade de Brasília. Citado na página 18.
- IEA. *The Critical Role of Buildings*. Paris, 2019. Citado na página 13.
- ISO. *Energy management systems — Measurement and verification of energy performance of organizations — General principles and guidance*. Suíça, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.
- MEE. *Plano Nacional de Eficiência Energética*. Brasil, 2011. Citado na página 13.
- WANG, Y. et al. Review of smart meter data analytics: Applications, methodologies, and challenges. *IEEE*, v. 10, n. 3, p. 3135–3148, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.