# Development of a tool for performing energy diagnostics in office buildings

# Desenvolvimento de uma ferramenta para execução de diagnóstico energético em prédios administrativos

**Diogo Nunes Domingos**
**Patricia Romeiro da Silva Jota**

**Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG**
diogo.nunes@tutamail.com
patriciarsjota@gmail.com

**Abstract:** In response to global warming and the sharp increase in the price of fossil fuels over the past three decades, governments, companies, and international organizations have sought to promote energy efficiency as a measure to mitigate greenhouse gas emissions and as an important driver of sustainable economic development. Therefore, easily assimilated energy diagnostic methods, whose application occurs through practical digital tools that assist in operationalizing the process, have proven to be importance for the promotion of energy conservation on a large scale. Thus, this paper aims to present a methodology for energy diagnosis and identification of specific systems for office buildings in a digital tool developed for this purpose. It also presents some results that can be achieved using the developed tool. The application of the methodology proved to be functional, practical, and feasible for different types of administrative facilities.

**Keywords:** Energy efficiency; methodologies for energy diagnosis; measures to improve energy performance; digital tools.

**Resumo:** Em resposta ao aquecimento global e ao forte aumento do preço dos combustíveis fósseis nas últimas três décadas, governos, empresas e organizações internacionais têm buscado promover a eficiência energética enquanto medida para redução das emissões de gases de efeito estufa e como um importante motor do desenvolvimento econômico sustentável. Portanto, metodologias de diagnóstico energético que sejam de fácil assimilação, cuja aplicação ocorre via ferramentas digitais práticas que auxiliam na operacionalização do processo, têm-se mostrado de grande importância para a promoção da conservação da energia em larga escala. Dessa forma, este trabalho visa a apresentar uma metodologia de diagnóstico energético e identificação de sistemas mediante uma ferramenta digital específica para prédios administrativos. Também são apresentados alguns resultados passíveis de serem alcançados a partir do uso da ferramenta desenvolvida. A aplicação da metodologia provou ser funcional, prática e viável para diferentes tipos de instalações administrativas.

**Palavras-Chave:** Eficiência energética; metodologias para diagnóstico energético; medidas de melhoria do desempenho energético; ferramentas digitais.

## 1 Introdução

A relação entre o consumo de energia e o nível da qualidade de vida da população de um país é uma característica apontada pelo rol das nações que apresentam os maiores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) [7]. Dessa forma, ter uma política de segurança energética, baseada em medidas que assegurem o acesso confiável, sustentável e de baixo custo a diferentes fontes de energia passou a ser prioridade na agenda dos governos. Por outro lado, há um consenso entre a necessidade de se investir em fontes de energia que causam baixo impacto no meio ambiente, para que a relação consumo de energia versus elevados níveis de IDH se mantenha sustentável. Nesse cenário, destaca-se a eficiência energética como uma ação efetiva para reduzir a emissão de dióxido de carbono, pois visa a promover o uso eficiente da energia, sem prejudicar a produtividade e competitividade das unidades de consumo beneficiadas [2]. Paralelamente, também há necessidade de se conscientizar o empresariado acerca dos benefícios da conservação de energia, visando a quebrar a insegurança do mercado frente aos investimentos necessários para implantação de adoções de melhorias do desempenho energético das instalações da unidade consumidora. Afinal, o financiamento de projetos de eficiência energética não representa uma despesa, e sim um investimento rentável e sustentável, conforme diversos estudos demonstraram nos últimos anos [10] ("Políticas Públicas | Abesco", 2018).

Contudo, para o sucesso de um projeto de eficiência energética, pesa a qualidade do diagnóstico energético executado, pois ele é fundamental para estimar os montantes de energia consumidos por sistema mapeado e os potenciais de economia existentes na instalação. Os resultados impactam significativamente na obtenção das relações custo-benefício de cada ação de melhoria de desempenho energético proposta [5]. Nesse sentido, com o objetivo de promover a conservação da energia, destacam-se algumas organizações internacionais e nacionais que propõem alguns métodos para execução de diagnóstico energético, cada qual, com suas vantagens e desvantagens [8].

Dentre as principais organizações internacionais voltadas ao suporte para o processo de execução do diagnóstico energético, destacam-se a *Association of Energy Engineer* (AEE) e a *Efficiency Valuation Organization* (EVO). Associadas, essas organizações elaboraram o *International Performance Measurement and Verification Protocol* (IPMVP), destinado

exclusivamente para o processo de medição do potencial de economia de energia existente em uma determinada instalação. Ambas as organizações foram precursoras no estabelecimento de uma metodologia padronizada de diagnóstico energético e levantamento dos potenciais de economias de uma unidade genérica de consumo. Todavia, existem alguns obstantes ao se aplicar a metodologia, pois ela requer que o profissional responsável pela aplicação do IPMVP seja certificado internacionalmente pela EVO e AEE (o profissional deve ter o título de *Certified Measurement & Verification Professional* – CMVP e ter experiência técnica comprovada). Além disso, o IPMVP propõe quatro opções de medição do consumo de dos sistemas mapeados, A, B, C e D, visto que três dessas opções (A, B e C) exigem o uso de equipamentos com memória de massa para registro do consumo energético (geralmente, wattímetros digitais), que atendem a uma série de requisitos técnicos mínimos estabelecidos pelo protocolo. Por último, a opção D, que permite o uso da simulação computacional, dispensando o uso de equipamentos de medição, em contrapartida, é um processo complexo, que exige um elevado nível de expertise técnica do profissional responsável. Requer também uma série de parâmetros de engenharia da envoltória da instalação analisada, via de regra, pouco acessíveis em instalações mais antigas [8]. Em linhas gerais, as opções de diagnóstico disponibilizadas pelo IPMVP envolvem custos significativos para aplicação, intervenções nas instalações elétricas para instalação dos medidores, além de complexos processos de estudos de engenharia para se chegar até o potencial de economia da instalação avaliada [6]. Por outro lado, os resultados possuem um elevado nível de precisão e atualmente é a metodologia mais difundida em todos os países pertencentes à *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), devido à robustez e à confiabilidade comprovada dos resultados obtidos [3]. Além disso, é adotada enquanto metodologia de aplicação obrigatória no desenvolvimento de projetos de eficiência energética que visam a obter financiamento de bancos que possuem linhas de créditos voltadas para promoção da sustentabilidade.

No que se refere ao Brasil, em âmbito nacional, desde o ano de 1985, o Governo tem instituído legislações [4] com o objetivo de promover o uso racional da energia, dentre elas, destaca-se a Portaria Interministerial n°1.877 que instituiu o Programa Nacional de Conservação de Energia (Procel) em 30 de dezembro de 1985 com o objetivo de desenvolver ações que visam a contribuir para o uso consciente dos recursos naturais e reforçar a segurança energética nacional. Nesse âmbito, o Procel publicou manuais técnicos que fornecem subsídios teóricos para que gestores de instalações de diferentes tipologias (indústrias, universidades, hotelaria, dentre outras) tenham condições técnicas mínimas para executar diagnósticos energéticos em suas unidades de consumo, com a meta de desenvolver seus próprios projetos de eficiência energética. Dentre os diversos materiais desenvolvidos, destaca-se o 'Livro Eficiência Energética – Teoria & Prática' [9], que, além de abordar conceitos importantes sobre a conservação da energia e de explicar a importância da eficiência energética, também apresenta um longo roteiro teórico de ações que devem ser executadas durante um diagnóstico energético. Apesar do robusto conteúdo teórico acerca dos principais usos finais de energia, potenciais de economias e critérios técnicos de avaliação, não padroniza o processo de diagnóstico energético. Dessa forma, resta ao responsável técnico pelo projeto a definição de qual roteiro seguir, quais informações serão levantadas em campo, construção da ferramenta de cálculo (planilhas digitais) e especificação do processo de registro das informações levantadas a partir dos estudos na unidade de consumo. O processo sem critérios de avaliação bem definidos é demorado e com alto custo, pois ocorrem levantamento de informações técnicas que são desnecessárias, além de elevar à complexidade das ações executadas em campo.

Em continuidade às iniciativas de promoção da conservação de energia, em 2012, outra agência governamental brasileira, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), instituiu normas específicas para o financiamento público de projetos de eficiência energética, ocasião esta em que foi lançado o manual de Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE [1]. Em conjunto ao lançamento das regras de financiamento, foram apresentadas as metodologias de cálculos aceitas para estimar a relação custo-benefício dos projetos que visam a obter financiamento público, além de fichas de cadastros específicas para cada uso final de energia (iluminação, motores elétricos, motores, ar-condicionado, aquecimento solar e equipamentos hospitalares) que possuem campos específicos para serem preenchidos manualmente durante a execução dos diagnósticos energéticos [1]. Contudo, destaca-se o fato de que a metodologia não considera o estabelecimento de uma variável que registre o histórico de cada sistema mapeado e, além disso, impossibilita a apresentação resumida das informações técnicas após a execução do diagnóstico. Neste caso, apesar de haver uma padronização preliminar do roteiro de diagnóstico, o processo apresentado não é de fácil assimilação, além de que, para as estimativas dos potenciais de economia, são consideradas as mesmas premissas técnicas estabelecidas pelo IPMVP (carregando consigo também as suas ineficiências operacionais), portanto, sendo nada mais do que uma adaptação técnica do IPMVP à realidade de uma típica unidade de consumo brasileira. Dessa forma, os materiais apresentados pelo PROPEE enfocam especialmente a metodologia de cálculo para estimativa dos potenciais de economia por medições executadas mediante intervenções físicas nas instalações, que requerem o uso de equipamentos específicos de medição que possuem elevado custo de aquisição e manutenção. Sendo assim, o PROPEE também não enfoca o fornecimento de ferramentas práticas e efetivas para o processo de diagnóstico energético em campo.

Em geral, no mercado, para demais ações que envolvam a necessidade do levantamento do consumo de energia de uma determinada instalação elétrica, são propostos medidores inteligentes que monitoram continuamente o consumo de energia da instalação em sua totalidade ou seccionada [11]. Ao avaliar sistemas isolados ou equipamentos específicos, faz-se necessária a instalação de medidores dedicados. Mas, ao se considerarem ações isoladas para o desenvolvimento de um projeto de eficiência energética em uma típica instalação de uso público

(universidades, prédios públicos, comerciais etc.), esse tipo de ação não se mostra viável economicamente, em razão dos custos envolvidos na aquisição e instalação dos equipamentos. Também pesa a imensa quantidade de dados que serão obtidos, pois o objetivo final é estimar pontualmente o consumo de energia e obter as características técnicas dos equipamentos que compõem cada sistema, podem ser atingidos por outros meios menos custosos e complexos, por exemplo, mediante o levantamento pontual das informações por meio da leitura de dados de placa em campo, assim as informações levantadas serão úteis para a grande maioria dos projetos de eficiência energética desenvolvidos em edificações administrativas de uso público.

Pelo exposto, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia que a) seja capaz de indicar e fornecer meios para levantamento dos dados técnicos das principais variáveis de consumo dos equipamentos que constituem uma instalação; b) que, de preferência, enfoque o processo de execução do diagnóstico energético em campo; e c) que auxilie na análise das principais características de uso dos sistemas mapeados, seja por meio da leitura de dados de placas, manuais técnicos, plantas dos prédios e entrevistas com os usuários, dispensando o uso de onerosos aparelhos de medição que requerem demorados processos de instalação/retiradas para obtenção das informações. Outra característica essencial que deve ser considerada é a possibilidade de rastrear o histórico de dados técnicos e ações de melhorias propostas para cada sistema mapeado mediante uma única etiqueta de identificação, que acompanhe um sistema em particular, ao longo de todo o ciclo de vida do projeto (levantamento, desenvolvimento das ações, implementação e verificação.

Portanto, o objetivo deste trabalho é projetar uma "ferramenta otimizada para execução de diagnóstico energético em prédios administrativos", capaz de estimar com assertividade o consumo atual de uma instalação, bem como levantar todas as informações técnicas necessárias para a condução de estudos voltados para o desenvolvimento de um projeto de eficiência energético racional, efetivo e com propícia relação custo-benefício. Portanto, é proposto um roteiro, que o responsável técnico pelos estudos deverá seguir, e uma ferramenta voltada para prédios administrativos, cuja implementação ocorreu em uma planilha digital disponível na web para acesso fácil, via tablet, voltada à aplicação em campo durante a fase de levantamento das cargas e mapeamento/identificação dos sistemas existentes. A disponibilidade da planilha em uma plataforma *mobile* (Tablet) agrega agilidade ao processo de levantamento das informações, em razão do fácil acesso e estruturação dos campos existentes, com o objetivo de facilitar o preenchimento pelo usuário, levando em consideração conceitos estabelecidos para boas práticas em *User Experience Design* (UX) [12].

Ao final do processo, a ferramenta é capaz de gerar automaticamente etiquetas de identificação para acompanhamento das ações adotadas em cada sistema mapeado ao longo de todo o ciclo de vida do projeto desenvolvido. Para fins de comprovação da efetividade da metodologia proposta, são apresentados os resultados de um estudo de caso, no qual foi executado um diagnóstico energético dos sistemas de iluminação em uma instituição de ensino por meio da ferramenta proposta. A partir do estudo de caso, foi possível comprovar a eficácia do novo processo de obtenção de informações técnicas relevantes para a adoção de eventuais ações de eficiência energética de uma unidade de consumo. Dessa forma, foi demonstrado o sucesso da nova sistematização da coleta de informações em campo, e da nova abordagem acerca da organização e consolidação resumida e objetiva dos dados coletados. Critérios de cálculo de consumo de energia e de análise de viabilidade econômica de projetos de eficiência energética não serão considerados neste trabalho, pois foram intensamente abordadas no PROPEE/ANEEL (referência nacional) e no IPMVP/EVO (referência internacional).

## 2 Desenvolvimento da metodologia e estruturação da ferramenta proposta

Com o objetivo de desenvolver uma ferramenta que seja flexível e efetiva para diferentes tipos de prédios administrativos, buscou-se entender a problemática em torno da promoção da eficiência energética nesses ambientes. A Figura 1 apresenta o plano considerado para execução da análise.

Consolidado o levantamento realizado com as partes interessadas, as três principais deficiências identificadas no que se refere a execução do diagnóstico energético em instalações administrativas, conforme a Figura 2, foram: processo de execução sem padronização; inexistência de lastro histórico dos sistemas mapeados; uso de ferramentas contraprodutivas (formulários impressos para levantamento dos dados em campo e registro manual de notas técnicas). Por outro lado, os principais obstáculos existentes, conforme a Figura 3, foram levantados a partir de entrevistas com gestores de unidades consumidoras e profissionais técnicos que atuam no mercado de conservação de energia (ESCO).

A identificação das deficiências em torno do processo de execução do diagnóstico energético (Figura 2), subsidiaram o plano de ação apresentado na Tabela 1. A proposta do plano é nortear o desenho e os objetivos que se esperam alcançar a partir da nova ferramenta que visa a centralizar e otimizar o processo de execução do diagnóstico energético em edifícios administrativos.

### 2.1 Sistematização do processo de diagnóstico através da ferramenta

No que se refere ao processo de diagnóstico energético, foram consideradas três macroetapas para serem executadas em cascata:

1) Cadastro do Projeto: são levantadas informações preliminares para caracterizar o edifício administrativo (hospital, universidade, prefeitura etc.). Nessa etapa, inicia-se o processo de cadastro, no qual ocorre a verificação prévia das instalações e são definidos os contatos das pessoas chaves e suas respectivas funções durante a execução do projeto.

2) Planejamento Diagnóstico Energético: é realizada uma visita técnica inicial, na qual são coletadas informações das instalações, documentos técnicos, plantas arquitetônicas, dentre outras informações necessárias para o planejamento de um abrangente diagnóstico energético.

3) Execução do Diagnóstico Energético: são executadas ações de levantamento em campo das cargas e sistemas existentes na unidade de consumo com a finalidade de mapeá-los e, ao final, estimar o consumo de energia da instalação avaliada. A partir daí, é possível realizar estudos de engenharia para aproveitamento de potenciais melhorias do desempenho energético disponíveis na Unidade de Consumo, cujas ações são apresentadas em uma proposta de projeto de eficiência energética.

Além disso, é necessário que a ferramenta operacionalize o processo de cálculo das estimativas de consumo de cada sistema, representação gráfica dos resultados obtidos, bem como permita a organização das informações vinculadas a etiquetas de identificação de cada sistema mapeado para posterior emissão de relatórios objetivos e de fácil assimilação. Também é esperado que a ferramenta seja de fácil manutenção e que exija apenas o conhecimento intermediário de planilhas digitais. Assim, haverá uma efetiva assimilação e operacionalização da ferramenta proposta pelo público-alvo.

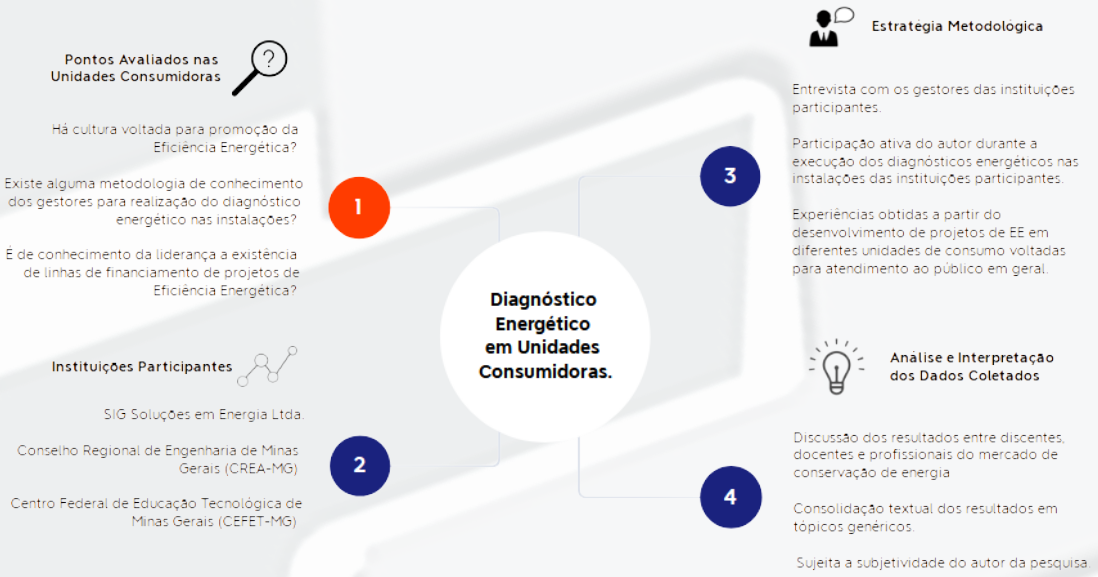


Figura 1: Levantamento de pesquisa sobre a aplicação da EE na administração pública.

Figura 2: Resultados consolidados a partir do levantamento em campo acerca das deficiências existentes para promoção da EE na administração pública.

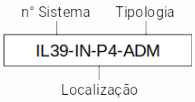


Figura 3: Descrição da etiqueta de identificação.

Além disso, é necessário que a ferramenta operacionalize o processo de cálculo das estimativas de consumo de cada sistema, representação gráfica dos resultados obtidos, bem como permita a organização das informações vinculadas a etiquetas de identificação de cada sistema mapeado para posterior emissão de relatórios objetivos e de fácil assimilação. Também é esperado que a ferramenta seja de fácil manutenção e que exija apenas o conhecimento intermediário de planilhas digitais. Assim, haverá uma efetiva assimilação e operacionalização da ferramenta proposta pelo público-alvo.

Tabela 1: Plano de ação para desenvolvimento da metodologia de diagnóstico energético.

| Problema | Ação de Melhoria Adotada |
|---|---|
| 1) | Consolidar as fases propostas na nova metodologia em uma ferramenta digital baseada na nuvem e que apresente elevado nível de sincronismo organizacional para execução do diagnóstico em campo. |
| 2) | Estruturar cada passo de execução do diagnóstico em cascata, de forma a obter a melhor eficiência operacional para execução de cada etapa. |
| 3) | Centralizar o diagnóstico energético em etapas preestabelecidas em uma ferramenta para facilitar o processo de execução. |
| 4) | Propor automações na ferramenta, centradas apenas na execução do diagnóstico energético. |
| 5) | Implementar conceitos de etiquetas para identificação dos sistemas levantados em campo. Para cada etiqueta, será possível obter as características técnicas dos equipamentos que compõe o sistema, quantidades, localização. |
| 6) | Adotar as seguintes premissas para o desenvolvimento da ferramenta de diagnóstico energético: objetividade, facilidade de uso e flexibilidade de aplicação em diferentes tipos de instalações. |

## 2.2 Estruturação da Ferramenta

Optou-se por desenvolver a ferramenta estruturada em uma planilha digital, em razão da sua robustez, versatilidade e velocidade de implementação de novas funcionalidades, cujas alterações e melhorias são executadas num curto intervalo de tempo com baixo custo operacional e financeiro. Contudo, destaca-se que a metodologia da ferramenta proposta é passível de replicação em outras estruturas de dados, como aplicativos móveis, websites, programas de computador específicos para o fim proposto pela metodologia, dentre outras ferramentas computacionais voltadas para coleta, estruturação e processamento de dados.

Dessa forma, desenvolver uma ferramenta a partir de uma planilha digital requer atenção especial na estruturação dos campos disponíveis para entrada e saída dos dados. Uma planilha digital é formada por uma grande tabela, na qual cada coluna é representada por uma letra e cada linha, por um número, já que a interseção entre uma coluna e linha resulta numa célula. Portanto, cada célula que contém uma fórmula, necessita de outras células configuradas enquanto campos de entrada. Sendo assim, a relação entre essas células resulta em uma determinada. Dessa forma, a consolidação otimizada das células com fórmulas relevantes consiste em um desafio significativo, pois quaisquer mudanças geram alterações em cascata, ou seja, um único erro de fórmula, pode comprometer os resultados gerados pela ferramenta.

Também é necessário ter uma estruturação otimizada das células com fórmulas da ordem das colunas de acordo com as etapas e subetapas do processo de execução do diagnóstico energético, com o objetivo de promover a melhor experiência do usuário ao operar a ferramenta. Portanto, para a estruturação da ferramenta, foram realizados os seguintes questionamentos para cada consideração relativa à experiência do usuário:

- Arquitetura da Informação:
  - Qual a melhor disposição de apresentação das informações técnicas na ferramenta para que o usuário tenha a melhor experiência de uso?
  - Qual tipo de informação é útil para os usuários?
  - Quais categorias são necessárias para que as informações sejam organizadas de forma intuitiva?
- Usabilidade:
  - Dada uma certa disposição das células, o usuário será capaz de concluir os registros dos levantamentos em campo sem obstáculos?
  - A quantidade de passos para cada registro é adequada?
  - Os campos de entrada são de fácil compreensão?
  - Após cada registro (interação com a ferramenta) a experiência do usuário foi positiva? Ou deixou o usuário exausto?
- Design de Interação:
  - Qual a narrativa por trás da experiência do usuário?
- Taxonomia:
  - A linguagem técnica considerada é compatível com o perfil de usuário da ferramenta?
- Estratégia de Design:
  - Como a ferramenta contribuirá para que o propósito de facilitar o processo de execução de diagnóstico energético em edificações administrativas seja alcançado?
- Pesquisa com Usuários:
  - O que leva o usuário a querer utilizar a ferramenta proposta para a execução de um diagnóstico energético?

### 2.2.1 Definição das variáveis de entrada

Considerando que o objetivo final da ferramenta é obter a estimativa de consumo energético de um sistema mapeado a partir das informações coletadas em campo, é importante destacar que o tipo de dado de entrada, associado às características de consumo e operação de um equipamento,

varia de acordo com o tipo de uso final de energia avaliado (calor, energia elétrica, energia mecânica). Neste estudo, o objetivo é destacar o processo de obtenção de etiquetas de identificação dos equipamentos analisados. Portanto, ao agrupá-las, obtêm-se diferentes tipos de sistemas, cada qual com seus dados técnicos de operação. A partir daí, é possível estimar o consumo energético de um sistema em específico, ou de toda instalação (somatório dos sistemas), bem como propor ações de melhoria do desempenho energético em função da facilidade em entender as características de operação e tecnologia de cada sistema, o que otimiza o processo de estudos de engenharia. Sendo assim, são considerados os seguintes macrocampos de dados de entrada definidos na Tabela 2.

Para cada campo macro, há uma série de subcampos padronizados que devem ser preenchidos durante um processo de diagnóstico energético, com exceção de "Caracterização do Sistema", no qual são disponibilizados doze campos que são personalizados de acordo com o uso final de energia avaliado (neste trabalho, apresentar-se-á a aplicação da ferramenta para o diagnóstico de sistemas de iluminação). Na Tabela 3, apresentam-se os subcampos associados a cada campo macro.

Tabela 2: Descrição dos macrocampos de entrada.

| Macrocampo | Descrição |
|---|---|
| Uso Final: | Os tipos de usos finais diagnosticados são definidos na fase de planejamento do diagnóstico energético, subdivididos entre: iluminação, ar-condicionado, ventiladores, motores elétricos, aquecedores e motobombas. |
| Tipologia: | As tipologias são definidas conforme o tipo de área diagnosticada, cujo princípio é agrupar o maior número de cargas sob um regime de uso semelhante, sendo definidas na fase de planejamento do diagnóstico energético. |
| Localização: | São cadastradas as informações necessárias para localizar o sistema diagnosticado na fase de desenvolvimento do projeto de eficiência energética, na implantação das ações de melhoria e na homologação das ações implantadas. |
| Expediente: | Regime de funcionamento da área diagnosticada. |
| Condições de Uso: | Informações binárias acerca do funcionamento ou não do equipamento e se o mesmo apresenta Selo Procel. |
| Caracterizaçã o do Sistema: | Consumo, potência, tecnologia e quantidade de equipamentos que compõe o sistema. São dados particulares de acordo com o uso final de energia avaliado. |
| Característica s de Uso: | Tempo de funcionamento semanal do sistema, no qual é possível estimar o tempo de uso anualizado, subdivido entre horário de ponta (HP) e fora de ponta (HFP), dados necessários para o cálculo da estimativa de consumo anualizado do sistema analisado. |

### 2.2.2 Definição e processamento das variáveis de saída

A obtenção da estimativa de consumo energético total da instalação avaliada é alcançada automaticamente após o preenchimento dos campos de entrada. Contudo, há uma estrutura de processamento na qual são estabelecidas as regras de cálculo de acordo com o uso final de energia avaliado. Para tanto, são sete campos de saídas de dados.

- Campo 01: após validação do registro realizado em campo, por meio da alteração do campo status para 'verificado'. Automaticamente a ferramenta gera uma etiqueta de identificação do registro, para múltiplos propósitos, desde a identificação do sistema, caso seja necessário algum tipo de medição, até a fase de implementação das ações de melhoria.
- Campo 02: esse campo proporciona um ganho enorme para os técnicos em campo, ao buscarem localizar um determinado sistema para realizar uma medição ou coleta adicional de informações. Também é essencial durante a fase de implementação do projeto, pois é a partir da localização de cada sistema que é possível elaborar um sólido plano de implementação das ações de melhoria com a máxima eficiência operacional possível. Ele também se torna bastante relevante para eventuais verificações que são realizadas em campo, para atestar que de fato as ações propostas foram implementadas e se houve algum tipo de desvio de materiais ou equipamentos que deveriam ter sido instalados.
- Campo 03: calcula-se a quantidade de dias em que o sistema é utilizado durante um ano, podendo variar de 0 a 365 dias. A metodologia de cálculo é a seguinte:

$$\underset{[dias/ano]}{Uso\ Anual\ Total} = \frac{(Uso\ Corrido\ Semanal[dias]) * ((365/12) * Uso\ Anual[meses])}{7}$$

- Campo 04: calcula-se o tempo médio diário de uso do sistema registrado, informação necessária para o cálculo de vida útil do sistema e para estimativa de consumo.

$$\underset{[h/dia]}{Uso\ Médio\ Diário} = \frac{Uso\ Total\ Semanal[h]}{Uso\ Corrido\ Semanal[dias]}$$

- Campo 05: essa informação é necessária para calcular o tempo de utilização do sistema durante o horário de ponta da região, sendo essencial para avaliar o potencial de manobra de carga e eventuais ganhos econômicos em razão disso. Também, pelo fato de o horário de ponta implicar maiores custos em relação ao consumo energético, é importante ter conhecimento do Fator de Coincidência na Ponta (FCP), para que seja considerado durante a análise de viabilidade econômica da ação de melhoria proposta. A metodologia de cálculo é a seguinte:

$$FCP = \frac{Uso\ H.P.[h/dia] * (365/12) * Uso\ Anual[meses]/7 * Uso\ Útil\ Semanal[dias]}{792}$$

- Campo 06: nesse campo, calcula-se o consumo médio mensal do sistema, sendo essencial para estimar o consumo médio da instalação e potenciais economias obtidas a partir da implementação de ações de melhoria. É nele que se encontra um dos grandes ganhos da ferramenta, pois mediante a coleta de informações de uso e dados de placa, é possível estimar o consumo de energia sem a instalação de medidores de energia, o que acaba acarretando custos significativos e eleva a complexidade do diagnóstico energético.

Por se tratar de edificações de uso exclusivamente administrativas, são raros os casos em que há necessidade de medições técnicas específicas. A metodologia de cálculo implementada é a seguinte:

$$\underset{[kWh/mês]}{Cons.Equip.} = \frac{Pot.Equip.[W] + Pot.Perdas[W] * HorasUso[h/mês]}{1000}$$

no qual:

$$\underset{[W]}{Pot.Equip.} = Qtd.Equip.[un.] * (Qtd.SubEquip.[un.] * Pot.Equip.[W])$$

$$\underset{[W]}{Pot.Perdas.} = Qtd.Equip.[un.] * (Qtd.SubEquip.[un.] * Pot.Perdas.[W])$$

$$\underset{[h/mês]}{HorasUso} = \frac{Uso\,Anual\,Total[dias/ano] * Uso\,Médio\,Diário[h/dia]}{12}$$

- Campo 07: obtém-se cada sistema mediante a concatenação textual dos campos de entrada que envolvem informações acerca do uso final de energia, tipologia e tecnologia do equipamento que compõe o sistema. Ametodologia de cálculo para formação do sistema: uso final + tipologia + tecnologia é apresentada a seguir.

Tabela 3: Características comuns para agrupamento dos registros em sistemas.

| | IL15-IN-BL2-ADM | IL16-IN-BL2-ADM | IL17-IN-BL2-ADM | IL22-IN-BL2-ADM |
|---|---|---|---|---|
| **Uso Final** | ilin | ilin | ilin | ilin |
| **Tipologia** | administrativo | administrativo | administrativo | administrativo |
| **Edifício** | bloco | bloco | bloco | bloco |
| **Nº do Edifício** | 2 | 2 | 2 | 2 |
| **Andar** | térreo | térreo | térreo | térreo |
| **SubLocal 1** | grêmio | farmácia | cantina | área convívio |
| **Local** | bloco2/térreo/ grêmio | bloco2/térreo/ farmácia | bloco2/térreo/ cantina | bloco2/térreo/área convívio |
| **Ambiente** | grêmio | farmácia | cantina | sala administrativa |
| **Expediente (h)** | 8-18 | 8-18 | 8-18 | 8-18 |
| **Funciona** | sim | sim | sim | sim |
| **Em Uso** | sim | sim | sim | sim |
| **Qtd. Luminária (un.)** | 2 | 2 | 2 | 8 |
| **Selo Procel** | não | não | não | não |
| **Descrição** | cx. ortogonal teto | cx. ortogonal teto | cx. ortogonal teto | cx. ortogonal teto |
| **Modelo Luminária** | calha sobrepor c/ refletor s/ aletas | calha sobrepor c/ refletor s/ aletas | calha sobrepor c/ refletor s/ aletas | calha sobrepor c/ refletor s/ aletas |
| **Tensão (V)** | 127 | 127 | 127 | 127 |
| **Ligação** | monofásico | monofásico | monofásico | monofásico |
| **Tipo Lâmpada** | T5 115 cm | T5 115 cm | T5 115 cm | T5 115 cm |
| **Tecnologia** | fluorescente | fluorescente | fluorescente | fluorescente |
| **Potência (W)** | 28 | 28 | 28 | 28 |
| **Qtd. Lâmpada (un.)** | 2 | 2 | 2 | 2 |
| **Modelo Reator** | eletrônico | eletrônico | eletrônico | eletrônico |
| **Perdas Reator (W)** | 6 | 6 | 6 | 6 |
| **Qtd. Reator (un.)** | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Uso Total Semanal (h)** | 45,0 | 45,0 | 45,0 | 45,0 |
| **Uso Corrido Semanal (dias)** | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **Uso Útil Semanal (dias)** | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **Uso H.P. (h/dia)** | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Uso Anual (meses)** | 10 | 10 | 10 | 10 |
| **Uso Anual Total (dias/ano)** | 217 | 217 | 217 | 217 |
| **Uso Médio Diário (h/dia)** | 9 | 9 | 9 | 9 |
| **FCP** | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| **Consumo Médio Mensal (kWh/mês)** | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 80,8 |

## 2.3 Ferramenta de diagnóstico energético

A sistemática em torno da metodologia proposta parte da necessidade de se caracterizarem os sistemas existentes na instalação. Dessa forma, todo o fluxo de preenchimento da ferramenta de diagnóstico energético foi estabelecido com o objetivo de se obter uma etiqueta de identificação de cada sistema mapeado, sendo possível identificar as características associadas ao uso final de energia, equipamentos, localização, categoria e descrição do sistema catalogado. A etiqueta é importante para o processo de desenvolvimento da proposta de projeto, pois é a partir dela que são realizados os cálculos de estimativas de consumo, bem como a análise das economias alcançadas a partir da implantação das ações de melhorias propostas.

As etiquetas também são utilizadas na ferramenta de cálculo de viabilidade econômico-financeira do projeto. Logo para cada sistema, são propostos novos equipamentos que sejam mais eficientes energeticamente. Dessa forma, é necessário que se tenha um lastro que vincule o sistema original com o sistema proposto, o que também destaca a importância da etiqueta de identificação na fase de homologação. A sua estrutura é representada na Figura 3.

- LN39: número do sistema – para cada sistema mapeado é definida uma numeração específica.
- IN: toda área analisada é subdivida entre INterno e Externo. Exemplos: áreas internas subdividas entre salas, banheiros, oficinas ou áreas externas de circulação, estacionamentos, dentre outras áreas sujeitas às condições climáticas diretas.
- P4: refere-se à localização do prédio ou edificação específica, composta pela primeira letra da edificação e sua respectiva numeração. Exemplo: Oficina 1 → O1.
- ADM: são consideradas as três primeiras letras de cada tipologia, estabelecidas na fase de planejamento do diagnóstico. Exemplo: CIRculação, BANheiros.

Ao final do processo de diagnóstico energético, o sistema mapeado passa a ser identificado a partir da estrutura apresentada na Figura 2. A identificação também é responsável pelo lastro histórico na fase de implantação das ações de melhoria, seja a troca do equipamento ou a implantação de dispositivos que eleve o nível de desempenho energético do sistema mapeado. Ao final do processo, obtém-se a etiqueta de identificação e o sistema diagnosticado.

Finalizado o processo de diagnóstico energético de um determinado uso de energia, por exemplo, iluminação, todos os sistemas existentes na instalação são cadastrados na ferramenta. Para cada sistema é obtida uma etiqueta que irá identificá-lo durante os estudos para melhoria da instalação e durante a implantação das ações de eficiência energética.

Os equipamentos cujas condições de uso são semelhantes e que se encontram sob a mesma tipologia são agrupados em sistemas que contêm várias etiquetas de identificação. A Figura 3 representa um típico sistema obtido após a etapa de diagnóstico energético.

Listam-se abaixo os critérios técnicos considerados para o agrupamento das etiquetas em sistemas genéricos e os respectivos exemplos:

- Uso Final de Energia + Localização: iluminação interna ou externa.
- Tipologia: administrativo, circulação, banheiro etc.
- Descrição Completa do Equipamento depende das características do equipamento diagnosticado.

## 3 Resultados

Com o objetivo de validar o funcionamento da metodologia de consolidação das etiquetas de identificação dos sistemas que compõem os sistemas de uma unidade de consumo, executou-se um diagnóstico energético dos sistemas de iluminação de uma instituição de ensino. No diagnóstico, foram registrados 544 sistemas de iluminação, cujo agrupamento em função dos critérios estabelecidos pela metodologia apresentada neste trabalho resultaram em 129 sistemas.

Na Figura 4, é possível visualizar um recorte do processo de agrupamento dos registros, no qual quatro etiquetas resultaram em um único sistema, cujo uso final de energia, tipologia e especificações técnicas do equipamento que o compõe são semelhantes. Na Tabela 3 são apresentadas as características comuns que resultaram no agrupamento dos registros para formação do sistema apresentado na Figura 4, no qual é possível identificar que os registros possuem condições de uso e especificações técnicas semelhantes.

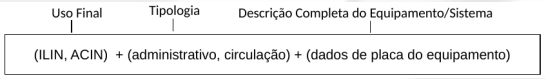


Figura 4: Estrutura da composição do sistema gerado pela planilha.

Consolidados os sistemas, foi possível estimar o consumo energético das diferentes tipologias da instalação. Também é possível filtrar o consumo pelo uso final de energia, ambiente, tipo de luminária, edifício, ambiente e condições de uso. Dentre as diversas possibilidades de filtros dos sistemas, na Figura 5, é listado o percentual acumulado de consumo dos sistemas. Destaca-se o fato de que apenas nove sistemas representam 50% (192,1MWh/ano) do consumo total, 19 sistemas representam 30% (115,3 MWh/ano) e 101 sistemas representam os 20% (76,8 MWh/ano) restantes, totalizando 384,2 MWh/ano. Portanto, para o desenvolvimento de um projeto de eficiência energética, é importante priorizar os sistemas críticos. Dessa forma, ao analisar a Figura 5, conclui-se que apenas 28 sistemas representam 80% do consumo total dos sistemas de iluminação mapeados, ou seja, concentrar esforços para adoção de melhorias do desempenho energético apenas desses sistemas possui um grande impacto com elevado índice de viabilidade econômica.

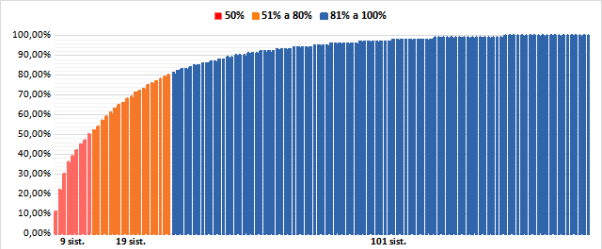


Figura 5: Distribuição do consumo energético dos sistemas de iluminação mapeadas.

## 4 Conclusão

A execução de um diagnóstico energético estruturado contribui para minimizar os riscos associados à análise de investimento e ao desenvolvimento de ações de eficiência energética. Portanto, a metodologia proposta para identificação de sistemas mapeados durante a fase de diagnóstico energético é de fácil aplicação para diferentes tipos de instalações administrativas.

Além de resumir os registros executados em campo durante a fase de diagnóstico, possibilita o levantamento dos diferentes tipos de equipamentos que compõem os sistemas, bem como estimativas de consumo, agrupamento por tipologias, condições de uso e tipos de tecnologias dos equipamentos. Destaque-se que essas informações estruturadas são de fácil acesso e essenciais para o sucesso no desenvolvimento de qualquer tipo de ação de eficiência energética.

Dessa forma, com o objetivo de promover a conservação da energia através da popularização de metodologias de fácil aplicação para o diagnóstico energético em prédios administrativos, a metodologia apresentada para agrupamento de diversos sistemas mapeados possibilita a aplicação em larga escala da dinâmica de registros e agrupamento de sistemas apresentados.

## Bibliografia

Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance, EVO-AEE, 2016.

BUSTAMANTE, J. F. V.; BAJAY, D. S. V. Políticas e programas de eficiência energética para a indústria no Brasil: uma avaliação crítica e rotas para avanços. p. 148, 2018.

## Referências

[1] ANEEL. PROPEE. Aprovar os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética –PROPEE, 2013.

[2] BOYD, G. A.; PANG, J. X. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. Energy Policy, v. 28, n. 5, p. 289–296, 1 maio 2000.

[3] COOREMANS, C. Investment in energy efficiency: do the characteristics of investments matter? Energy Efficiency, v. 5, n. 4, p. 497–518, 1 nov. 2012.

[4] MME. Plano Nacional de Eficiência Energética. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 18 nov. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36208/469534/Plano+Nacional+Efici%C3%AAncia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29.pdf/899b8676-ebfd-c179-8e43-5ef5075954c2?version=1.0>. Acesso em: 4 nov. 2020.

[5] SESANA, M. M.; SALVALAI, G. Overview on life cycle methodologies and economic feasibility for nZEBs. Building and Environment, v. 67, p. 211–216, 1 set. 2013.

[6] TSENG, Y. C. et al. A novel sensor platform matching the improved version of IPMVP option C for measuring energy savings. Sensors (Switzerland), v. 13, n. 5, p. 6811–6831, 2013.

[7] OUEDRAOGO, N. S. Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. Energy, v. 63, p. 28–41, 15 dez. 2013.

[8] WANG, H. et al. Methodology of comprehensive building energy performance diagnosis for large commercial buildings at multiple levels. Applied Energy, v. 169, p. 14–27, 1 maio 2016.

[9] ELETROBRÁS; PROCEL; UNIFEI. Eficiência Energética - Teoria & Prática. Itajubá: FUPAI, 2007.

[10] Políticas Públicas | Abesco. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/novidade/eficiencia-energetica-precisa-de-politicas-publicas-para-crescer-afirma-abesco/>. Acesso em: 23 fev. 2021.

[11] PROCEL. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2015. Disponível em: <https://bitlybr.com/uK96go>. Acesso em: 4 nov. 2020.

[12] TEIXEIRA, F. Introdução e boas práticas em UX Design. [s.l.] Editora Casa do Código, 2014.