

PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

– EDIÇÃO 2016 –

PARTICIPANTES:

- ❖ SINDIGÁS - Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo
- ❖ ABRINSTAL - Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações
- ❖ IEE USP - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

CATEGORIA:

Aplicações do GLP

TÍTULO:

Proposta de metodologia para determinação dos níveis de eficiência de sistemas de aquecimento de água em edificações e identificação de consumo de energia

PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

– EDIÇÃO 2016 –

PARTICIPANTES:

- ❖ SINDIGAS - Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo
- ❖ ABRINSTAL - Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações
- ❖ IEE - USP - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

CATEGORIA:

Aplicações do GLP

Título:

Proposta de metodologia para determinação dos níveis de eficiência de sistemas de aquecimento de água em edificações e identificação de consumo de energia

AUTORES:

Alberto José Fossa (ABRINSTAL)

Adriano Loureiro (SINDIGÁS)

Aurélio Ferreira (SINDIGÁS)

Edmilson Moutinho dos Santos (IEE/USP)

Jorge Chaguri Jr. (ABRINSTAL)

Murilo Tadeu Werneck Fagá (IEE/USP)

Taluia Croso (IEE/USP)

1. Histórico das organizações e profissionais envolvidos

O Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo – SINDIGÁS foi criado em 1974 com a finalidade de estudar, coordenar, proteger e representar a categoria diante da sociedade brasileira e nas diversas esferas dos governos federal, estadual e municipal. Além disso, o SINDIGÁS busca uma maior colaboração junto aos poderes públicos, associações e entidades sindicais, de todos os níveis, no sentido da solidariedade social e de sua subordinação aos interesses nacionais.

A Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência das Instalações - ABRINSTAL é uma entidade criada com o objetivo de planejar, organizar e catalisar ações que visem à conformidade e eficiência das instalações elétricas, hidráulicas, gás, combate a incêndio, automação predial, segurança eletrônica e de telecomunicações. Desde 2006, a ABRINSTAL realiza projetos envolvendo estudos técnicos, planejamento, avaliações estratégicas e difusão de informação, vinculados à conformidade e eficiência das instalações prediais, buscando apoiar os processos de tomada de decisão, formulação e implantação de políticas públicas, além de subsidiar decisões de empresas.

O Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP) é um Instituto Especializado da Universidade de São Paulo (USP) e tem suas atividades baseadas na pesquisa, ensino e extensão universitária nos âmbitos da Energia e Ciências Ambientais. O IEE foi criado em 1902, anterior a fundação da USP, hoje promove a interação entre as necessidades da Sociedade, a Ciência e a Tecnologia, atuando em atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão, desenvolvendo soluções com qualidade, em articulação com as demais unidades da USP e parceiros, nas áreas de Energia e Ambiente, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do Brasil.

O SINDIGAS, em parceria com a ABRINSTAL e o IEE/USP, tem contribuído com estudos sobre a contribuição dos gases combustíveis para a eficiência de serviços prediais, bem como desenvolvido interlocuções com os principais agentes de regulamentação no país, destacando-se o Ministério de Minas e Energia – MME, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, Eletrobrás, entre outros. Consideramos importante a manutenção dessa interlocução através de ações permanentes que visem sustentar o posicionamento dos gases combustíveis num cenário de construção de soluções energéticas mais eficientes.

No Brasil, em 17 de outubro de 2001, foi sancionada a Lei 10.295 de Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Em 13 de dezembro de 2002, foi estabelecido o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País – GT Edifica. No dia 13 de setembro de 2006, foi aprovada uma proposta de Regulamento Técnico de Edificações que estabelece os quesitos de classificação da eficiência energética. Esse Regulamento passou por revisões até início de 2008 e é base técnica para o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações Eficientes. Em 25 de novembro de 2010 foi publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro o Regulamento Técnico para Etiquetagem da Eficiência Energética em edificações Residenciais. Em 05 de junho de 2014 foi publicada no Diário Oficial da União a Instrução Normativa 106 que estabelece a obrigatoriedade da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE para projetos e construções de prédios públicos nível “A”.

A despeito dos esforços dos últimos anos e, embora se reconheça o espaço político regulatório conquistado pelo setor, é notadamente modesto o avanço da etiquetagem de edificações eficientes no país. A publicação da Instrução Normativa 106, que estabelece a compulsoriedade da etiquetagem nível “A” de projetos e construções de prédios públicos é sem dúvida um alento e motivo de comemoração. No entanto, a disseminação das tecnologias e dos conhecimentos necessários para promover a eficiência energética através do uso dos gases combustíveis continua representando um desafio significativo.

Recente publicação do CEPEL / Eletrobrás, ancorado nas necessidades apresentadas pela Instrução Normativa 106, deixa clara a lacuna técnica existente. O Manual publicado pelo CEPEL / Eletrobrás, ao apresentar um estudo sobre a eficiência da Esplanada dos Ministérios, traz à luz a vertente sempre elétrica de todas as iniciativas que tratam da eficiência energética no Brasil. Nenhuma consideração é apresentada, no estudo, com relação ao potencial do uso dos gases combustíveis nos usos da energia.

Destaca-se que, num cenário de desafios significativos como apresentado, encontra-se em gestão a transição do modelo existente de etiquetagem de edificações, com o objetivo de cobrir uma lacuna existente na atual metodologia, passando a incorporar consumo efetivo da energia nos diversos usos finais. A mudança apresenta novos desafios regulatórios que podem representar novos avanços ou resgatar antigas ameaças.

Adicionalmente, as dificuldades observadas na implementação das regulamentações em suas versões atuais, bem como a mudança a ser incorporada nas suas novas edições, o SINDIGÁS, a ABRINSTAL e o IEE/USP, trabalha na participação efetiva no desenvolvimento de ajustes técnicos que possibilitem adaptar a metodologia para uma linguagem internacional buscando sua efetiva aplicação. O processo previsto envolve o grupo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), líder do desenvolvimento da regulamentação de etiquetagem, a Eletrobrás, através do PROCEL; bem como o INMETRO.

Adicionalmente, este trabalho também contempla a continuidade da participação no desenvolvimento da nova estrutura de requisitos da regulamentação de etiquetagem de edificações, de forma a manter visão de uso da energia de forma mais ampla, particularmente quanto ao uso dos gases combustíveis.

A equipe de profissionais que participaram do desenvolvimento deste projeto é composta por consultores sênior, mestres, doutores e especialistas em gases combustíveis e suas aplicações. A equipe detém o conhecimento da aplicação e uso final de gases combustíveis, com trabalhos desenvolvidos em âmbito nacional e internacional.

2. Problemas e Oportunidades

A eficiência energética em edificações tem sido incentivada em diversos aspectos na cadeia da construção civil; legislações específicas, programas de certificação e políticas públicas são estabelecidos com o intuito de promover edificações mais eficientes, que consigam atender aos requisitos de conforto de seus habitantes, com menores emissões associadas e menor consumo de energia primária.

No Brasil, cerca de 42,5% do consumo de energia elétrica é atribuído às edificações residenciais, comerciais e públicas, destes 21,2% são exclusivamente residências (BEN,2015). Tais valores justificam a relevância da promoção de eficiência energética dentro do âmbito das edificações.

O consumo de energia associado ao aquecimento de água é um dos itens de avaliação dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) que avalia o nível de eficiência energética das edificações.

Quando há competição entre as fontes de energia para prover um mesmo uso final, é recomendável que a classificação da eficiência de um equipamento ou sistema leve em conta a fonte de energia utilizada. De forma geral, fontes primárias de energia não podem ser consideradas equivalentes às fontes secundárias, ou terciárias.

Desta forma, para avaliar a eficiência de dois equipamentos, ou sistemas, utilizados para o mesmo uso final de energia, como é o caso de chuveiros elétricos e aquecedores de passagem a gás, não se pode apenas considerar a eficiência e o consumo energético associados aos sistemas e equipamentos. É recomendado considerar a eficiência de toda a cadeia de transformação desde a fonte de energia primária até a energia final ou, quando consideramos a eficiência de sistemas e equipamentos, até a energia útil.

A metodologia desenvolvida para a caracterização energética dos sistemas de aquecimento de água para edificações foca-se apenas na avaliação energética do processo na transformação de energia final em energia útil e, para ser energeticamente consistente, faz-se necessário a inclusão de fatores que computem e agreguem as perdas nas transformações das cadeias de suprimentos de energia utilizadas.

Da mesma maneira, pode-se computar as emissões associadas a todo o processo de transformação da energia, e não apenas ao emprego de um equipamento ou sistema de aquecimento de água. Desta forma, é importante que as emissões associadas aos processos de transformação da energia primária em energia final sejam agregadas para a avaliação dos equipamentos e sistemas de aquecimento de água.

3. Plano de Ação – Objetivos, Metas e Estratégias

- Apresentar uma proposta de metodologia para determinação dos níveis de eficiência de sistemas de aquecimento de água para uso residencial considerando o cálculo de consumo de energia deste serviço predial, aplicáveis ao processo de etiquetagem de edificações eficientes.

4. Implementação

Para o desenvolvimento do novo modelo de etiquetagem, do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edifícios Eficientes o trabalho foi dividido em quatro fases, conforme relacionado abaixo:

- Análise dos conceitos da metodologia para expressar desempenho energético para o aquecimento de água em edificações;
- Compatibilização da linguagem normativa internacional para adequação dos seus conceitos à realidade regulatória local;
- Identificação dos modelos de contabilização de energia para aquecimento de água;
- Desenvolvimento da metodologia de cálculo de consumo energético nos processos de aquecimento de água vinculado ao novo modelo de etiquetagem.

4.1 Conceitos da metodologia para expressar desempenho energético para o aquecimento de água em edificações

Nesta seção são descritos os principais conceitos utilizados no cálculo de consumo de energia para o aquecimento de água em edificações residenciais. As metodologias apresentadas se sustentam nas normas BS EN 15316 - Sistemas de Aquecimento em Edifícios – Método de Cálculo das Necessidades de Energia do Sistema e do Sistema Eficiência - Partes 1, 2 e 3, de 2007.

A quantificação da energia necessária para o aquecimento de água em edificações pode ser obtida a partir da composição de 3 parcelas principais:

- Parcela 1 – energia necessária para aquecimento do volume de água quente consumida nas diversas aplicações e pontos de utilização;
- Parcela 2 – energia necessária para a compensação das perdas térmicas dos sistemas de distribuição responsáveis pelo transporte de água quente entre o sistema e/ou equipamento de aquecimento e o ponto de utilização;

- Parcela 3 – energia necessária para a geração da água quente, que leva em consideração a eficiência intrínseca do sistema e/ou equipamento de aquecimento, bem como condições de armazenamento da energia através da água quente.

Com relação à obtenção da Parcela 1, relacionados ao consumo efetivo de água quente, são identificados padrões a serem utilizados em função da tipologia das edificações, representando consumos médios.

No tocante à Parcela 2, são considerados valores padrões relativos à perdas na tubulações em função de seu comprimento. Adicionalmente, consideram-se valores estimados para perdas em sistemas de recirculação, caso existente. Níveis de isolamento da tubulação são considerados como pré-requisitos.

A Parcela 3 refere-se ao consumo de energia associada à eficiência de transformação de energia primária em energia útil. Considera a eficiência dos aparelhos de aquecimento de água, incluindo a transformação de energia final (entregue ao consumidor) em energia útil (utilizada para atender as necessidades de uso de água quente e também compensar as perdas térmicas do sistema de distribuição). Também incorpora as perdas entre energia primária e energia final, em função do tipo e fonte de energia utilizada.

Na Figura 1 são apresentados fluxos de energia.

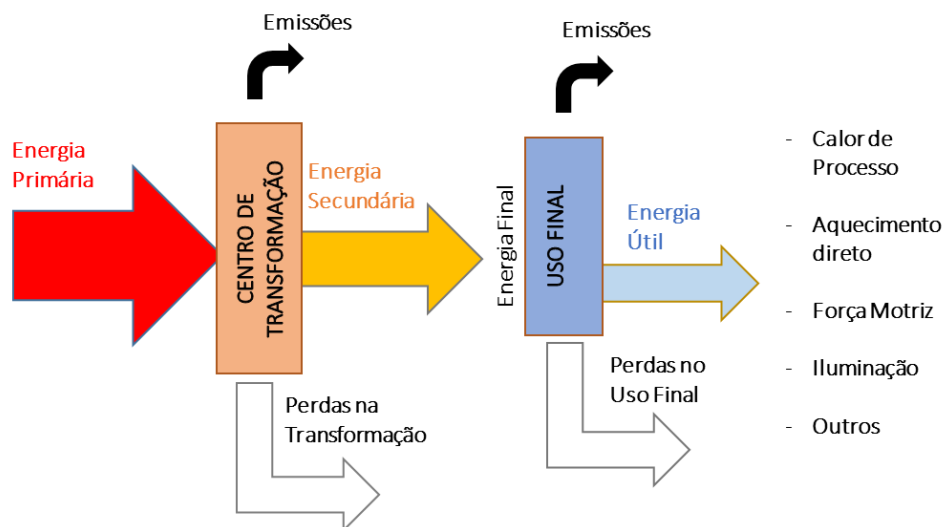


Figura 1 - Representação esquemática dos fluxos de energia primária, secundária, final e útil

4.2 Linguagem normativa internacional

A ISO 16346:2010 Energy Performance of buildings – Assessment of overall energy performance, apresenta um panorama geral para a avaliação do consumo de energia total de uma edificação, bem como cálculo dos níveis de energia utilizados em termos de energia primária, emissões de CO₂, citando a possibilidade de adoção de parâmetros definidos por uma política nacional de energia.

Normas independentes para cálculo do uso de energia em serviços prediais (aquecimento, refrigeração, água quente, ventilação, iluminação e transporte para as pessoas) produzem resultados que são usados pela Norma de avaliação do desempenho energético em edificações para apresentar o uso global de energia. A avaliação

preconizada não se limita à avaliação da edificação de forma independente, mas leva em conta o impacto ambiental de forma mais ampla da cadeia de fornecimento de energia.

A ISO/FDIS 23045 Building environment design – Guidelines to assess energy efficiency of new buildings, apresenta uma lista de indicadores para os diferentes aspectos da eficiência energética nas edificações:

- Desempenho da envoltória da edificação;
- Desempenho da envoltória da edificação, incluindo os sistemas de serviços prediais;
- Desempenho dos sistemas de serviços prediais;
- Desempenho da edificação expresso em termos de consumo de energia primária;
- Desempenho da edificação expresso em termos relacionados à emissão de CO₂.

Os indicadores podem ser expressos como um valor absoluto que fornece informações sobre o desempenho global da edificação ou um valor relativo que permite comparação entre edificações e/ou serviços prediais de uma mesma categoria. Como a energia necessária e, conseqüentemente, a energia fornecida estão intimamente relacionadas com o conforto projetado, condições de projeto do interior da edificação também devem ser indicadas na fase de definição do projeto.

Um edifício normalmente usa mais de um fornecedor e tipo de energia. Portanto, uma expressão comum para toda a energia fornecida deve ser usada para agregar as quantidades utilizadas, por vezes expressa em várias unidades (por exemplo: kWh, m³ de gás, etc) e sempre apresentando vários impactos associados. De acordo com esta norma internacional, os métodos de agregação são baseados nos seguintes impactos que o uso da energia possui:

- Energia primária;
- Emissão de dióxido de carbono;
- Parâmetros definidos pela política energética nacional.

4.3 Identificação dos modelos de contabilização de energia para aquecimento de água

Nesta seção são descritas as metodologias e critérios para mensurar a demanda energética total associada ao consumo de água quente em uma edificação.

A equação abaixo representa a somatória das parcelas a serem consideradas.

$$E_{W,tot} = E_W + E_{W,per} + E_{W,aq} \quad [MJ/dia] \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$E_{W,tot}$ consumo de energia total considerado no aquecimento de água [MJ/dia];

E_W energia consumida no atendimento da demanda de água quente [MJ/dia];

$E_{W,per}$ energia consumida para suprir perdas térmicas [MJ/dia];

$E_{W,aq}$ energia consumida vinculada à eficiência na transformação de energia primária em energia útil [MJ/dia].

A Figura 2 ilustra exemplo de fluxo de energia consumido entre geração e uso final.

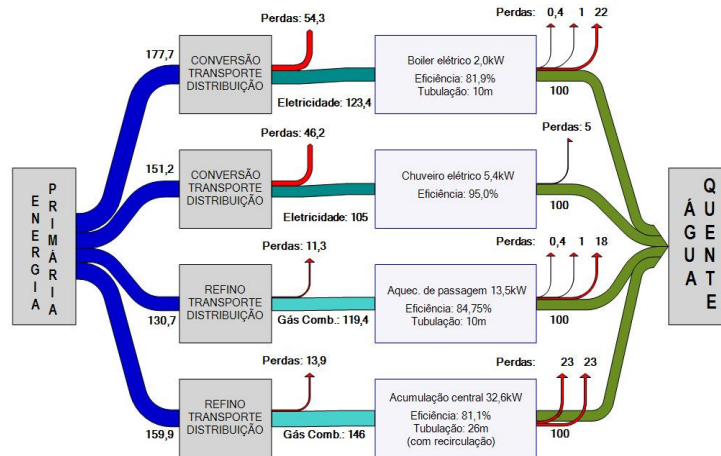


Figura 2 - Representação esquemática dos fluxos de energia consumido entre geração e uso final

4.3.1 Consumo de energia no atendimento da demanda de água quente

O consumo de energia para atendimento da demanda de água quente numa edificação pode ser caracterizado pelo uso de ciclos diários de consumo.

A energia diária requerida para atendimento da demanda de água quente E_W depende do volume consumido e da temperatura da água. A energia diária requerida é calculada por:

$$E_W = 4,182 * V_{W,dia} * (\theta_{W,uso} - \theta_{W,0}) [MJ/dia] \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$V_{W,dia}$ = Volume diário de água quente a uma determinada temperatura [m^3/dia];

$\theta_{W,uso}$ = Temperatura de uso [$^{\circ}C$];

$\theta_{W,0}$ = Temperatura da água fria fornecida pela rede [$^{\circ}C$];

A temperatura de uso depende dos hábitos de consumo, e da característica das aplicações. A fim de se obter uma base consistente para os cálculos, estes valores podem ser obtidos de uma referência oficial nacional ou padrão de temperatura normalmente adotado no uso da água quente. Na falta deste padrão pode-se utilizar, para o Brasil, o valor de $\theta_{W,uso} = 40^{\circ}C$.

A temperatura da água fornecida pelo sistema hidráulico de água fria está diretamente relacionada com a energia requerida pelo sistema de aquecimento de água na edificação. Estes valores podem estar disponíveis em referências oficiais. No Brasil sugere-se adotar a temperatura de $\theta_{W,0} = 20^{\circ}C$, pois é a referência utilizada como

média nacional para os ensaios de aparelhos de aquecimento de água em processos de avaliação da conformidade do INMETRO.

O volume diário de água quente, $V_{W,dia}$, necessário para atender a demanda diária da edificação, é determinado em função de diversos fatores, tais como:

- Tipo de edificação, classe e padrão de atividades;
- Perfis de consumo do(s) usuário(s);
- Números de usuários;
- Características hidráulicas da instalação;
- Tipos de aparelhos de utilização;
- Temperatura de consumo e vazão nos pontos de utilização.

O volume pode ser calculado, de forma simplificada, através da seguinte equação:

$$V_{W,dia} = \sum V_{W,dia,f} * f [m^3/dia] \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$V_{W,dia,f}$ = Volume diário de água quente a $\theta_{W,uso}$ de uma unidade de consumo (pessoa, hóspede, etc.);

f = número de unidades de consumo (pessoa, hóspede, etc.) a serem consideradas;

Para algumas edificações pode-se utilizar um perfil de consumo com base em parâmetros do padrão da habitação e tipos de unidades de consumo existentes. Exemplos de padrões de consumo são apresentados nas Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Exemplos de perfil de consumo em edificações

Perfil de consumo	Tipo de edificação	Temperatura de água quente (°C)	Quantidade de água quente (litros/dia)
1	Academias	40	100 por ponto de banho
1	Ambulatórios	40	7 per capita
2	Apartamentos (1)	40	60 per capita
3	Casas populares ou rurais (1)	40	35 per capita
4	Residências (1)	40	45 per capita
5	Residências de luxo (1)	40	90 per capita
6	Escolas com período integral	40	30 per capita
7	Escolas internatos	40	60 per capita

Pefil de consumo	Tipo de edificação	Temperatura de água quente (°C)	Quantidade de água quente (litros/dia)
8	Escolas por período (até 3)	40	15 per capita
9	Hospitais c/ lavanderia	40	80 por paciente
10	Hospitais s/ lavanderia	40	50 por paciente
11	Hotéis (1-3) c/ cozinha e lavanderia	40	100 por hóspede
12	Hotéis (1-3) s/ cozinha e lavanderia	40	70 por hóspede
13	Hotéis (4-5) c/ cozinha e lavanderia	40	120 por hóspede
14	Hotéis (4-5) s/ cozinha e lavanderia	40	100 por hóspede
15	Lavanderias	60	15 por kg de roupa
16	Orfanatos – asilos - berçários	35	50 per capita
17	Creches	35	15 per capita
18	Presídios	40	45 por preso
19	Quartéis	40	45 per capita
20	Restaurantes e similares	40	10 por refeição
Nota 1: considerar a ocupação de 2 pessoas por dormitório Nota 2: valores adotados considerando-se previsão de consumo de água em instalações prediais (Tomaz, 2000)			

O volume pode também ser calculado, de forma mais completa, através da seguinte equação:

$$V_{W,dia} = \sum (Q_{w,p} * t_{w,p} * a_{w,p} * f) [m^3/dia]$$

Equação 4

Onde:

$Q_{w,p}$ = Vazão do dispositivo no ponto de utilização [m³/min];

$t_{w,p}$ = Tempo de utilização do dispositivo em cada acionamento [min];

$a_{w,p}$ = Número de acionamento do dispositivo durante 1 dia;

f = número de unidades de consumo (pessoa, hóspede, etc.) a serem consideradas no acionamento do dispositivo de consumo.

4.3.2 Consumo de energia associado às perdas do sistema de distribuição de água quente

O sistema de distribuição de água em habitações é realizado por um conjunto de tubulações que interliga o sistema de aquecimento de água e o(s) ponto(s) de utilização. O sistema de distribuição de água quente pode incluir um sistema de recirculação.

A perda térmica total do sistema de aquecimento de água, $E_{W,per}$, é obtida através da soma da perda térmica de cada parte a ser considerada:

$$E_{W,per} = \sum_{ind} E_{W,per,tub} + E_{W,per,recirc} \quad [MJ/dia] \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$\sum_{ind} E_{W,per,tub}$ é a soma da perda térmica dos trechos de tubulação (sem a recirculação), MJ/dia;

$E_{W,per,recirc}$ é a perda térmica do sistema de recirculação do sistema de distribuição, quando existente, MJ/dia.

A utilização do isolamento térmico da tubulação reduz as perdas de energia no período de uso e também de repouso do sistema. A existência de isolamento térmico e o atendimento a requisitos mínimos de sua composição são considerados como pré-requisitos para os sistemas de aquecimento de água.

4.3.3 Perdas térmicas na tubulação do sistemas de distribuição de água quente

As perdas térmicas ocorrem devido a diversos fatores, tais como o aquecimento da tubulação, tipos de acessórios, interação de componentes com o ambiente, condução de redes interligadas e etc. Essas perdas estão atreladas às características hidráulicas do sistema.

Uma metodologia pode ser utilizada baseada em estimativas da perda térmica para diferentes comprimentos de tubulação. Neste caso, o conhecimento detalhado do sistema de distribuição de água quente não é necessário para a aplicação desta metodologia, no entanto, uma aproximação do comprimento da tubulação do sistema de distribuição deve ser feita. A perda energética é calculada em relação às medidas da tubulação e às distâncias dos pontos de utilização.

A seguinte equação pode ser utilizada para cálculo das perdas relativas à tubulação do sistema de distribuição de água quente:

$$E_{W,per,tub} = E_W * \frac{(1-n)}{n} \quad \text{Equação 6}$$

$E_{W,per,tub}$ é a perda térmica na tubulação do sistema de distribuição de água quente, MJ/dia.

E_W é a energia necessária para aquecimento de água, MJ/dia.

n é o fator de perdas relativo ao comprimento da tubulação.

A Tabela 2 apresenta exemplos de fatores de perda em função do comprimento da tubulação do sistema de aquecimento de água.

Tabela 2 – Fatores de perda em função de comprimento da tubulação

Comprimento da tubulação (m)	Fator de perda
<= 2	1,00
>2 a 4	0,95
>4 a 6	0,90
>6 a 8	0,86
> 8 a 10	0,82
> 10 a 12	0,78
> 12 a 14	0,75
> 14	0,72

Uma metodologia mais detalhada leva em consideração as perdas térmicas na tubulação e as perdas térmicas da água quando estagnada na tubulação. Dados como o diâmetro e o comprimento dos tubos para cada trecho da rede do sistema de distribuição de água quente são necessários.

A forma de cálculo da perda térmica da tubulação de distribuição é dada pela equação:

$$E_{W,per,tub} = \frac{\rho_w * c_w}{1000} * V_{W,dis} * (\theta_{W,dis,nom} - \theta_{amb}) * n_{uso} \quad [MJ/dia] \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

ρ_w é a massa específica da água [kg/m³];

c_w é o calor específico da água [kJ/kg.K];

$V_{W,dis}$ é o volume de água contida nos tubos [m³];

$\theta_{W,dis,nom}$ é a temperatura nominal da água quente nas tubulações [°C];

θ_{amb} é a média de temperatura do ambiente ao redor do sistema de distribuição [°C];

n_{uso} é o número de acionamentos do sistema de água quente durante o dia.

As perdas calculadas representam as perdas por estagnação de água na rede de distribuição, relacionado portanto ao volume de água parada, em função do número de acionamentos da rede de distribuição.

As perdas térmicas calculadas desprezam o reaproveitamento de calor quando determinados usos ocorrem entre pequenos intervalos de tempo, momento em que seria aproveitada parte da água quente devido ao pouco tempo de resfriamento do sistema.

4.3.4 Perdas térmicas no sistema de recirculação

As perdas térmicas associadas ao sistema de recirculação estão sempre presentes, ou seja, diferentemente das perdas térmicas da tubulação, não encontram-se normalmente restritas aos períodos de acionamento.

Destaca-se que, em função do avanço de sistemas de automação das edificações, é possível que sistemas de recirculação sejam acionados somente em determinados períodos do dia, o que pode exigir revisões nas metodologias apresentadas a seguir.

Uma metodologia simplificada adota um valor fixo de perda de calor associado ao sistema de recirculação. Este valor pode estar disponível em padrões nacionais. Caso não esteja disponível, é possível adotar o valor padrão de 40 W/m de tubulação do sistema de recirculação.

A forma de cálculo da perda térmica é dada pela equação:

$$E_{W,per,recirc} = C_{recirc} * f_{recirc} \quad \text{Equação 8}$$

$E_{W,per,recirc}$ é a perda térmica no sistema de recirculação, MJ/dia.

C_{recirc} é a comprimento da tubulação do sistema de recirculação, metros.

f_{recirc} é o valor de perdas relativo ao comprimento da tubulação, w/m/dia.

4.3.5 Consumo de energia vinculado à eficiência do sistema de aquecimento

O sistema de aquecimento deve fornecer calor para abastecer a demanda de água quente e compensar as perdas do sistema. A energia utilizada leva em consideração aspectos de eficiência do processo de aquecimento, eventuais perdas em processo de armazenamento, bem como aspectos de eficiência no processo de transformação da energia primária em energia útil.

O consumo de energia no processo de transformação de energia primária em útil é dado pela equação:

$$E_{W,aq} = E_{n,W,aq} + E_{W,res} + E_{W,en,pri} \quad [MJ/dia] \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

$E_{W,aq}$ energia consumida vinculada à eficiência na transformação de energia primária em energia útil [MJ/dia].

$E_{n,W,aq}$ energia necessária para transformação de energia útil em final associada à eficiência do aparelho de aquecimento [MJ/dia];

$E_{W,res}$ energia consumida no armazenamento – reservatório de água quente [MJ/dia];

$E_{W,en,pri}$ energia necessária para transformação de energia primária em energia útil, função do tipo de energia utilizada [MJ/dia];

4.3.6 Sistemas de aquecimento de água e níveis de eficiência

Quando o sistema de aquecimento conta com apenas um aquecedor, este deverá prover todo o consumo de energia necessário para aquecimento de água. Este tipo de sistema é normalmente empregado para aquecimento de água de uma unidade habitacional.

Quando o sistema de aquecimento é composto por mais de um aquecedor a contribuição de cada aquecedor é calculado baseado na potência nominal de cada aquecedor.

Quando o sistema de aquecimento é composto por diferentes tipos de aquecedores em série a contribuição de cada aquecedor deve ser determinada. Os cálculos devem ser realizados na sequência dos aquecedores.^{1,2}

Quando mais que um dos aquecedores está associado em paralelo, a contribuição proporcional de cada aquecedor é calculada como uma razão entre a potência nominal da unidade em relação a potência total da instalação.

Sistemas que utilizam múltiplos aquecedores estão normalmente associados à demandas significativas de água quente, como no caso de uma edificação inteira. Sistemas que combinam aquecimento direto ou composto por reservatórios térmicos, ou ainda mistos, podem ser encontrados para suprir demanda de água quente de uma edificação, particularmente no caso de um edifício residencial.

Características de projeto para sistemas de aquecimento de água quente de uma edificação devem levar em conta diversos fatores, entre eles: consumo energético, disponibilidade de água quente nos pontos de utilização, existência (ou não) de armazenamento, entre outros fatores.

Os diferentes tipos de soluções estão associados a um balanço (trade off) para atendimento das várias necessidades dos usuários finais, e certamente impactam no consumo energético.

As soluções a serem empregadas no projeto do sistema de aquecimento de água de uma edificação eficiente deveria levar em consideração o consumo energético comparativo entre as diversas alternativas disponíveis.

A seguinte equação permite calcular o consumo de energia vinculado à eficiência do aparelho de aquecimento de água:

$$En_{W,aq} = \left(\frac{E_W + E_{W,per}}{n_{aq}} \right) - (E_W + E_{W,per}) \text{ [MJdia]} \quad \text{Equação 10}$$

¹ Normalmente é assumido que a demanda energética do sistema de aquecimento de uma residência é composta por no máximo 3 aquecedores, um pré-aquecedor (por exemplo, coletor solar), um aquecedor de base e um aquecedor para cobrir uma eventual demanda de ponta.

² Se o sistema de aquecimento de água é suprido por aproveitamento de calor proveniente de outro equipamento e para outra aplicação (por exemplo, bomba de calor) apenas a demanda térmica remanescente será suprida por um aquecedor suplementar.

Onde:

$E_{n_{W, aq}}$ é a energia necessária para transformação de energia útil em final associada à eficiência do aparelho de aquecimento [MJ/dia];

E_W consumo de energia no atendimento da demanda de água quente [MJ/dia];

$E_{W, per}$ consumo de energia para suprir perdas térmicas [MJ/dia];

n_{aq} nível de eficiência do aparelho de aquecimento.

Aquecedores de água residenciais devem normalmente atender a programas de etiquetagem de eficiência energética. Avaliação de conformidade para atendimento de níveis mínimos de desempenho energético são normalmente associados a padrões nacionais, e incorporam procedimentos de análise em função de padrões de usos dos equipamentos, bem como outros elementos considerados aplicáveis para o cenário energético nacional.

O nível de eficiência do aparelho de aquecimento pode ser obtido através de informações oficiais do programa de etiquetagem PBE do INMETRO.

Os seguintes valores mínimos de eficiência podem ser utilizados como padrões para aquecedores de passagem a gás:

- η_{aq} = 84% para todas as aplicações, exceto em equipamentos de condensação;
- η_{aq} = 98% para equipamentos de condensação.

Os seguintes valores mínimos de eficiência podem ser utilizados como padrões para aquecedores de passagem elétricos:

- η_{aq} = 84% para todas as aplicações, exceto em equipamentos de condensação;
- η_{aq} = 98% para equipamentos de condensação.

4.3.7 Perdas térmicas do reservatório de água quente

Todo o calor dissipado no reservatório de água quente durante o período considerado é quantificado como uma perda de energia. As perdas térmicas associadas ao reservatório de água quente indiretamente aquecido podem ser calculadas a partir da perda de calor do reservatório em espera ("standby") com o ajuste de diferença de temperaturas, como apresentado na equação:

$$E_{W, res} = \frac{(\theta_{W, res, med} - \theta_{amb, med})}{\Delta\theta_{W, res, sby}} * E_{W, res, sby} \quad [MJ/dia] \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$\theta_{W,res,med}$ é a média de temperatura no reservatório [°C];

$\theta_{amb,med}$ é a média de temperatura no ambiente [°C];

$\Delta\theta_{W,res,sby}$ é a média da diferença de temperatura em testes com o reservatório em “standby” [°C];

$E_{W,res,sby}$ é a perda térmica do reservatório em “standby” [MJ/dia];

A perda térmica do reservatório em “standby” deve ser medida de acordo com uma referência nacional³ de acordo com o tipo e tamanho. Valores padrões de medidas podem estar disponíveis em referência nacional. Alternativamente, a referência nacional pode especificar esta perda em termos do volume e do tipo e espessura de isolamento do reservatório.

4.3.8 Energia consumida na transformação de energia primária em energia útil

Quando há competição entre as fontes de energia para prover o mesmo uso final, não é possível a classificação da eficiência de um equipamento ou sistema sem a consideração da fonte de energia utilizada, em suma, fontes primárias de energia não podem ser consideradas equivalentes às fontes secundárias, ou terciárias.

Desta forma para avaliar a eficiência de dois sistemas utilizados para o mesmo uso final de energia, como é o caso de chuveiros elétricos e aquecedores de passagem, não se pode apenas considerar a eficiência e o consumo energético associados aos sistemas e equipamentos individualizados.

Deve-se considerar a eficiência de toda a cadeia de transformação desde a fonte de energia primária até a energia final, ou quando consideramos a eficiência de sistemas e equipamentos até a energia útil.

A metodologia apresentada considera a inclusão de fatores que computem e agreguem à avaliação as perdas nas transformações das cadeias de suprimentos de energia utilizadas. Os fatores de conversão representam todas as perdas de energia desde a produção até a entrega no ponto de uso (por exemplo, a produção fora do limite do sistema de construção, transporte, extração). Os fatores de energia primária devem incluir:

- Energia para extrair o portador de energia primária;
- Energia para transportar o portador de energia a partir do local de produção para o local de utilização;
- Energia utilizada para o processamento, armazenamento, geração, transmissão, distribuição e quaisquer outras operações necessárias para a entrega do edifício em que a energia entregue é usado.

A seguinte equação permite calcular a energia consumida no processo de transformação de energia primária em energia útil:

$$E_{W,en,pri} = (E_W + E_{W,per} + E_{n_{W,aq}} + E_{W,res}) * (f_{W,en,pri} - 1) \quad [MJ/dia] \quad \text{Equação 12}$$

³ Para a norma BS EN 15316-3-3_2007, referência principal deste estudo, é utilizada a *European Standards* EN 12897, esta medida é baseada na temperatura durante o período de operação. Valores padrões de medidas devem estar disponíveis em referência nacional. Quando não estão disponíveis, um valor pode ser obtido a partir de uma equação da forma: $Q_{W,res,sby} = x + y * V_{W,res}^z$ [MJ/dia], onde x, y e z são constantes e $V_{W,res}$ é o volume do reservatório em litros. As constantes x, y e z devem ser fornecidas em referência nacional.

Onde:

$E_{W,en,pri}$ é a energia necessária para transformação de energia primária em energia útil, função do tipo de energia utilizada [MJ/dia];

$E_{W,aq}$ é a energia consumida vinculada à eficiência do sistema de aquecimento [MJ/dia];

$E_{W,res}$ é a energia consumida no armazenamento – reservatório de água quente [MJ/dia];

$f_{W,en,pri}$ é o fator de transformação de energia primária em energia útil.

Os seguintes valores podem ser utilizados como padrões para fatores de transformação de energia primária em energia útil, em função do tipo de energia:

- gás combustível = 1,2;
- eletricidade = 3.

4.4 Desenvolvimento da nova metodologia de cálculo de consumo energético nos processos de aquecimento de água

Este capítulo apresenta a metodologia para determinação dos níveis de eficiência de sistemas de aquecimento em edificações e representa um exercício das considerações a serem feitas na inclusão de critérios relativos à regulamentação de edificação eficientes do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro.

A determinação dos níveis de eficiência de sistemas de aquecimento em edificações considera três elementos individuais, conforme as metodologias descritas nos itens correspondentes:

- Elemento 1: consumo de energia
- Elemento 2: nível de eficiência do aparelho / sistema de aquecimento
- Elemento 3: nível de potência do aparelho / sistema de aquecimento

Todos os elementos individuais possuem pontuação que variam de 1 a 5. Para obter a classificação final do sistema de aquecimento de água, as pontuações dos elementos individuais devem ser estabelecidas, resultando em uma classificação final. Para isso, pesos são atribuídos para cada elemento individual e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Para a classificação geral as avaliações parciais recebem pesos, distribuídos da seguinte forma:

- Elemento 1 = 40%
- Elemento 2 = 40%
- Elemento 3 = 20%

A avaliação de cada elemento individual utiliza equivalentes numéricos, um número de pontos correspondente a determinada eficiência, atribuídos de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Níveis de eficiência e pontuação correspondente

Nível de eficiência	Pontuação
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Portanto, a classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da seguinte equação.

$$Pt_W = (EqNum_{cons} * 0,4) + (EqNum_{efic} * 0,4) + (EqNum_{pot} * 0,2) \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$EqNum_{cons}$ é o equivalente numérico do consumo de energia;

$EqNum_{efic}$ é o equivalente numérico da eficiência do aparelho / sistema de aquecimento;

$EqNum_{pot}$ é o equivalente numérico da potência do aparelho / sistema de aquecimento.

Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada elemento individual são obtidos na Tabela 3. Cada um dos equivalentes numéricos dos elementos citados é descrito nos capítulos subsequente.

O número de pontos obtidos na Equação 13 irá definir a classificação geral do sistema de aquecimento de água, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos equivalentes numéricos associados aos elementos do sistema de aquecimento de água

PT_w	Classificação
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $<4,5$	B
$\geq 2,5$ a $<3,5$	C
$\geq 1,5$ a $<2,5$	D
$<1,5$	E

6. Referências bibliográficas

EPE. “Balanço Energético Nacional.” Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2016.

European Regulators Group for Electricity and Gas – ERGEG. Treatment of losses by network operators – ergeg position paper for public consultation . position paper for public consultation , EU: ERGER, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 16346 Energy performance of buildings — Assessment of overall energy performance, 2010.

British Standard: BS EN 15316 – Sistemas de Aquecimento em Edifícios – Método de Cálculo das Necessidades de Energia do Sistema e do Sistema Eficiência - partes 1, 2 e 3, de 2007

KEMA. Webinar on energy losses. www.leonardo-energy.org, 2009.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional – séries históricas. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf (acesso em 20 de junho de 2016)

MCT. Arquivos dos Fatores de Emissão da Margem de Operação pelo Método da Análise de Despacho. 30 de Julho de 2016. (acesso em 24 de Junho de 2016).

ONU - UNIDO. “SUSTAINABLE ENERGY REGULATION AND POLICYMAKING TRAINING MANUAL.” UNIDO, ONU, 2005.