



**PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E O SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO  
DOS MUNICÍPIOS REGULADOS PELA AGÊNCIA REGULADORA  
INTERMUNICIPAL DE SANEAMENTO DO RIO GRANDE DO SUL**

Versão 0

2023

**Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento do Rio Grande do Sul**  
**AGESAN-RS**

**Programa de Eficiência Energética**  
**PEE**

### **Autor da versão**

Vagner Gerhardt Mâncio

### **Revisão**

Demétrius Jung Gonzalez

### **Capa**

Vagner Gerhardt Mâncio

### **Coordenação**

Demétrius Jung Gonzalez – Diretor Geral

Vagner Gerhardt Mâncio – Gestor do Programa de Redução de Perdas

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão estratégica da organização e o do sistema de gestão de energia .....	11
Figura 2 – Software de gerenciamento utilizados no mercado .....	12
Figura 3 – Potenciais melhoramentos na eficiência energética.....	13
Figura 4 – Gerenciabilidade de cada componente pelo prestador de serviço .....	14
Figura 5 – Balanço energético completo.....	15
Figura 6 – Balanço energético simplificado.....	15
Figura 7 – Curva das potências medidas.....	20
Figura 8 – Ilustração do comportamento da demanda média.....	20
Figura 9 – Ilustração da demanda contratada.....	21
Figura 10 – Exemplos de perda de seção nas adutoras .....	25
Figura 11 – Comparação dos resultados de potência consumida .....	28
Figura 12 – Níveis de eficiência técnica.....	29
Figura 13 – Potenciais de conservação de energia.....	34
Figura 14 – Medição das correntes do motor.....	35
Figura 15 – Imagens termográficas.....	36
Figura 16 – Caneta medidora de vibração .....	36
Figura 17 – Corrente elétrica em função ao desalinhamento dos eixos .....	37
Figura 17 – Corrente elétrica devido.....	37
Figura 19 – Fluxograma da Metodologia do Programa de Eficiência Energética.....	38
Figura 20 – Fluxograma para aplicação do CEN.....	40
Figura 21 – Planilha eletrônica do ProEESA para calculo do CEN.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comportamento do coeficiente de rugosidade antes e após limpeza.....	26
Tabela 2 – Resultados obtidos com a substituição de motores.....	27
Tabela 3 – Classificação dos desempenhos do CEN para motores externos .....	41
Tabela 4 – Classificação dos desempenhos do CEN para motores submersos.....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de gestão de energia para setor de abastecimento.....	16
Quadro 2 – Indicadores de eficiência energética e de produção própria de energia .....	17
Quadro 3 – Principais atividades de redução de despesas com energia elétrica .....	19

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	8
2.	REVISÃO TEÓRICA .....	8
2.1.	BASE LEGAL.....	8
2.1.1.	LEI FEDERAL Nº 11.445/2007 .....	9
2.2.	GESTÃO ENERGÉTICA .....	10
2.3.	BALANÇO ENERGÉTICO .....	14
2.4.	INDICADORES DE DESEMPENHO .....	16
2.5.	AÇÕES DE MELHORIA PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	18
2.6.	PRODUÇÃO DA PRÓPRIA DE ENERGIA .....	18
2.7.	IMPACTOS NAS DESPESAS FINANCEIRAS COM ENERGIA ELÉTRICA .....	19
2.7.1.1.	DEMANDA CONTRATADA .....	19
2.7.1.2.	CLASSIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES .....	21
2.7.1.3.	ESTRUTURA TARIFÁRIA .....	22
2.7.1.4.	FATOR DE POTÊNCIA .....	23
2.7.1.5.	ALTERAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA.....	23
2.7.1.6.	FATOR DE CARGA .....	24
3.1.	INSTITUIÇÃO DO PEE .....	38
3.2.	MAPEAMENTO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS.....	39
3.3.	DESENVOLVIMENTO DO PEE.....	39
3.3.1.	FISCALIZAÇÃO INDIRETA .....	39
3.3.1.1.	APLICAÇÃO DO CEN PARA ABERTURA DE NÃO-CONFORMIDADE .....	40
3.3.1.2.	SOLICITAR INFORMAÇÕES SOBRE O BOMBEAMENTO .....	40
3.3.1.3.	CÁLCULOS DO CEN .....	40
3.3.1.4.	ABERTURAS DE NÃO-CONFORMIDADES.....	42
3.3.2.	DIAGNÓSTICO.....	42
3.3.3.	RELATÓRIO DE ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO - RAIR.....	43
3.4.	FISCALIZAÇÃO DIRETA.....	44
3.5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	44
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
5.	REFERÊNCIAS .....	45

## **PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

### **1. INTRODUÇÃO**

O Programa de Eficiência Energética – PEE da AGESAN-RS terá o foco no sistema de abastecimento de água – SAA e no sistema de esgotamento sanitário – SES. O objetivo principal do PEE será fomentar os prestadores de serviço regulados a otimizarem o consumo de energia elétrica pelo metro cúbico produzido (kWh/m<sup>3</sup>), conforme suas características. A redução dos custos com energia elétrica proporcionará aos usuários tarifas mais módicas e justas, garantindo ao detentor do serviço a eficiência exigida em lei e contratos, trazendo benefícios ao meio ambiente, tendo em vista a crescente escassez de recursos energéticos disponíveis. O conceito que será apresentado neste programa será buscar uma evolução gradativa dos indicadores correlacionados à eficiência energética, respeitando cronogramas estabelecidas e desenvolvendo resoluções que sirvam de pilares este processo, aplicando os monitoramentos e as fiscalizações que serão pertinentes ao processo.

### **2. REVISÃO TEÓRICA**

O estudo teórico apresentará os conceitos que servirão de base para resolução que instituirá o Programa de Eficiência Energética nos municípios regulados pela AGESAN-RS. Desta forma, exploraremos os seguintes capítulos neste documento: revisão da legislação, gestão energética, balanço energético, indicadores de eficiência, ações de melhoria de eficiência energética, geração própria de energia elétrica, impactos nas despesas financeiras com energia elétrica, demanda contratada, classificação dos consumidores, revisão tarifária, fator de potência, aplicação de inversores de frequência, técnicas do consumo energético normalizado e de consumos específicos.

#### **2.1. BASE LEGAL**

Analisando o contexto legislativo, verificou-se as principais leis, em nível nacional, que estabelecem as diretrizes sobre eficiência energética. Também foram analisados os contratos de programa entre os municípios e os prestadores de serviços e os planos municipais de saneamento básico – PMSB. Nos próximos itens destacaremos os principais pontos analisados.



**2.1.1. LEI FEDERAL Nº 11.445/2007**

A Lei Federal nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, apresenta questões claras e objetivas referente a eficiência energética para o saneamento básico. Destaca-se que a lei em questão foi alterada e atualizada pela redação do Lei Federal nº 14.026/2020, denominado de “novo marco legal do saneamento básico”. Abaixo abordaremos os principais dispositivos que tratam do tema.

O art. 2º apresenta que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos princípios fundamentais, destacando o inciso XIII, que estabelece a redução e controle das perdas de água, inclusive na distribuição de água tratada, estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva.

O art. 10-A apresenta que os contratos relativos à prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão conter, expressamente, sob pena de nulidade, as cláusulas essenciais previstas no art. 23 da Lei nº 8.987/1995, destacando o inciso I, estabelecendo as metas de expansão dos serviços, de redução de perdas na distribuição de água tratada, de qualidade na prestação dos serviços, de eficiência e de uso racional da água, da energia e de outros recursos naturais, do reuso de efluentes sanitários e do aproveitamento de águas de chuva, em conformidade com os serviços a serem prestados.

O art. 11 apresenta as condições de validade dos contratos que tenham por objeto a prestação de serviços públicos de saneamento básico, destacando-se o §2º que dispõe que nos casos de serviços prestados mediante contratos de concessão ou de programa, as normas previstas no inciso III do caput deste artigo deverão prever a inclusão, no contrato, das metas progressivas e graduais de expansão dos serviços, de redução progressiva e controle de perdas na distribuição de água tratada, de qualidade, de eficiência e de uso racional da água, da energia e de outros recursos naturais, em conformidade com os serviços a serem prestados e com o respectivo plano de saneamento básico.

O art. 23 estabelece que a entidade reguladora, observadas as diretrizes determinadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços públicos de saneamento básico que abrangerão alguns aspectos, em relação aos quais se destaca, no âmbito deste estudo, o inciso VII que define a avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados pela agência reguladora.

O art. 48 dispõe que a União, no estabelecimento de sua política de saneamento básico, observará diretrizes, destacando-se o inciso XII, que define a redução progressiva e

controle das perdas de água, inclusive na distribuição da água tratada, estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva, em conformidade com as demais normas ambientais e de saúde pública.

## 2.2. GESTÃO ENERGÉTICA

A escassez de energia vem assumindo papel de relevância cada vez maior no painel das preocupações de líderes mundiais e de cientistas de todas as nacionalidades. Se, por um lado, a utilização de combustíveis fósseis e carvão para geração de energia elétrica proporcionou grande desenvolvimento econômico no passado, por outro lado acarretou problemas ambientais que assumem importância crescente na busca por uma solução para o desenvolvimento sustentável, agravada pela superpopulação, crise dos combustíveis fósseis, escassez de água, poluição dos mananciais e problemas climáticos, dentre outros. O setor de saneamento, com uso intensivo de bombeamento, alia a possibilidade de conjugar o uso racional da água com o uso eficiente da energia, tendo sido identificada a possibilidade de redução de consumo no setor em até 45%, dos quais 20% decorrentes de medidas de eficiência energética e 25% de redução de perdas de água (MDC, 2018).

Este potencial de redução do consumo de energia elétrica necessita ser gerenciado dentro da organização para alcançar os resultados. O contexto da organização envolve o mapeamento das questões, internas ou externas, que podem afetar os resultados esperados da gestão. Do ponto de vista da estrutura interna da organização, tais questões podem estar relacionadas, por exemplo, ao grau de envolvimento da alta direção e dos demais níveis hierárquicos com a implementação da gestão ou à possibilidade de se efetuar alterações nos processos produtivos já estabelecidos. Do ponto de vista dos fatores externos, os mais variados fatores podem interferir nos resultados esperados de uma gestão, tais como a retirada de um fornecedor de energia do mercado, modificações na forma de tributação de um determinado energético ou até mesmo feriados longos que impactarão as operações da organização.

Nesta etapa algumas questões precisam ser observadas, tais como: o foco das principais atividades desenvolvidas pela organização, a importância estratégica da energia para o negócio e a questão de custo vinculado à energia, sendo que as diversas partes interessadas estão atentas ao compromisso da empresa com questões de sustentabilidade, de modo que a energia pode ser considerada um elemento estratégico para o negócio. Para assegurar que o gerenciamento da energia seja condizente com os objetivos estratégicos da

organização, é necessário conhecer seus objetivos de curto, médio e longo prazo (COPPER ALLIANCE, 2021). Na Figura 1 apresenta-se um conceito estratégico de gestão energética.

Figura 1 – Visão estratégica da organização e o do sistema de gestão de energia



FONTE: COPPER ALLIANCE, 2021

No guia da Copper Alliance (2021), apresenta-se a ISO 50001 – Sistema de Gestão de Energia (SGEn), que foi criada em 2011 com o intuito principal de estabelecer requisitos mínimos e específicos que garantam a melhoria contínua do desempenho energético da organização que a adotar. O atendimento destes requisitos leva a organização a buscar continuamente a redução de seu consumo de energia, o aumento da eficiência energética de seus processos e o melhor e mais adequado uso da energia necessária para viabilizar as suas atividades.

Os resultados diretos da aplicação da norma incluem a redução dos custos de produção e o aumento da segurança energética. Indiretamente, são reduzidas as emissões de gases do efeito estufa e, assim, atenuadas as mudanças climáticas. A ISO 50.001 baseia-se em modelos de sistemas de gestão já compreendidos e utilizados por organizações em todo o mundo, como o de qualidade (ISO 9.001) e o ambiental (ISO 14.001). Este fato representa um diferencial para a norma, uma vez que diminui de forma significativa a implementação de SGEn em organizações que já possuem outros sistemas de gestão em operação.

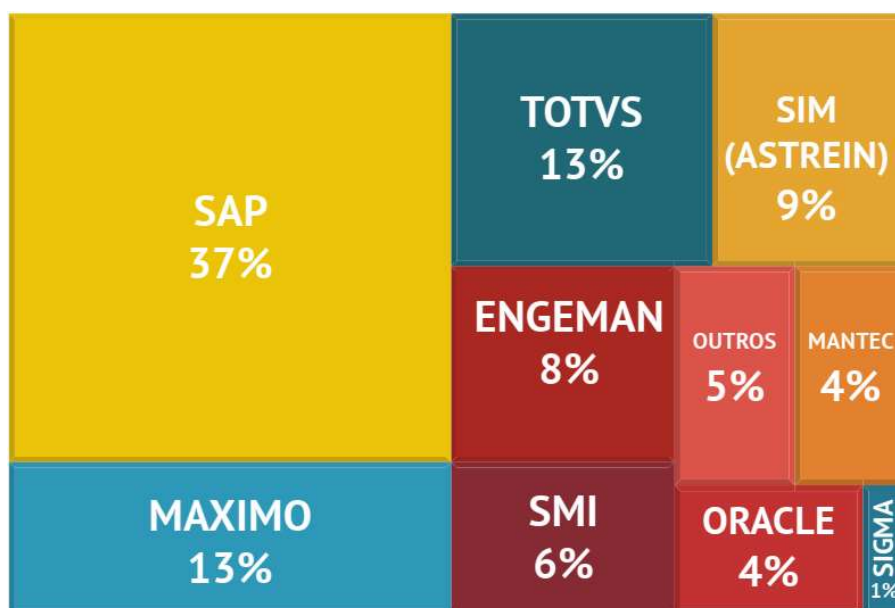
A norma ISO 50001 tem por objetivos dar suporte às organizações para que estabeleçam usos e consumos mais adequados de energia, criar uma comunicação fácil e transparente a respeito da gestão sobre recursos energéticos, promover as melhores práticas de gestão energética e reforçar os ganhos com a aplicação da gestão da energia, suportar a avaliação e priorização de implantação de novas tecnologias mais eficientes no uso da energia, estabelecer um cenário para promoção da eficiência energética através da cadeia de

suprimento, favorecer a melhoria da gestão da energia em conjunto a projetos de redução de gases de efeito estufa e permitir a integração com outros sistemas de gestão organizacionais tais como ambiental e de saúde e segurança.

O conceito trazido por William Edwards Deming, no qual fala que não há gerenciamento que não se mede, podemos entrar em um vasto campo de exploração, porém iremos nos deter em questão mais modernas, no sentido de que existem diversos softwares de gestão energética disponíveis no mercado, dependendo da aplicação e da utilização a que eles se destinam. Esses *softwares* podem possuir maior ou menor grau de automatismo, também de acordo com os objetivos do prestador e da disponibilidade de suporte técnico e qualificação do pessoal de gerenciamento e de manutenção. Uma boa gestão dos ativos de uma empresa pode reduzir em até 50% os custos de horas extras de manutenção, em até 20% o tempo de parada dos equipamentos, além de aumentar a vida útil dos equipamentos.

De uma forma geral, o objetivo do *software* é melhorar o desempenho energético dos sistemas consumidores de energia, com ou sem interferência automática, que no caso das empresas de saneamento, são basicamente as operações dos conjuntos de bombeamento, através da utilização de informações confiáveis do consumo de energia e do volume de água bombeada, ou dos seus indicadores de consumo específico e de custo específico (MDC 2018). O Ministério das Cidades (2018) destacou softwares utilizados que são: *Retscreen*, *Strata* (Cotopaxi), *Sigma* (Team), *SAP*, *EAM*, *Protheus*, *SIM* (ASTREIN), e outros *softwares* específicos para manutenção e operação no saneamento. Na figura 2 apresenta as principais *software* de gerenciamento utilizado no mercado em diversos seguimos.

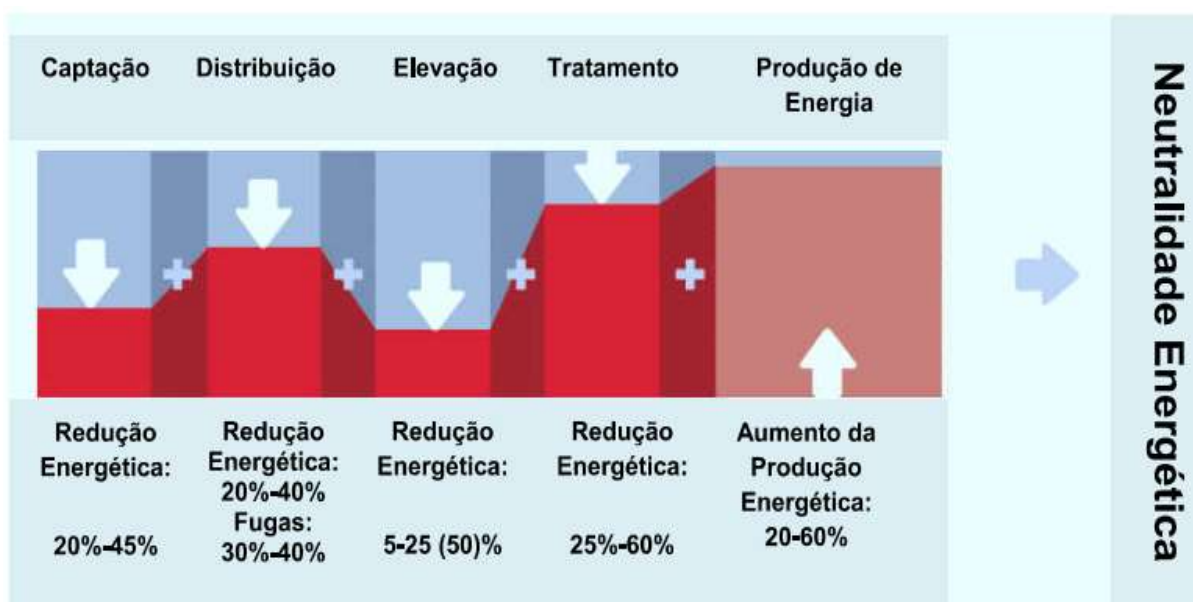
Figura 2 – Software de gerenciamento utilizados no mercado



FONTE: MDC, 2018

Atualmente, já existem soluções para reduzir o consumo de energia em todas as fases do ciclo urbano da água, desde a produção e distribuição até à elevação e tratamento de águas residuais. O ciclo urbano da água não só pode tornar-se mais eficiente, como também poderá ser uma fonte de energia (ADENE, 2018). Desta forma, a identificação de potenciais para redução do consumo de energia elétrica contribui para o gerenciamento das ações pertinentes, como demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Potenciais melhoramentos na eficiência energética



FONTE: ADENE, 2018

Outra abordagem de gerenciamento é apresentada pelo MDR (2021), na qual se afirmar que os custos de energia (R\$) podem ser decompostos em vários elementos sendo alguns gerenciáveis e outros não pelo prestador de serviço. Clareza sobre a gerenciabilidade de cada um desses componentes reduz o risco do prestador de serviço e com isso melhora a modicidade tarifária que poderá ser obtida, além de minimizar reequilíbrios econômico-financeiros posteriores. O risco deve ser assumido pelo prestador de serviço nas situações em que se tem mais possibilidades de geri-lo. Situações de causa maior necessariamente devem ser suportadas pelas coletividades. Esta análise é relevante na medida em que repassar incertezas para o prestador de serviço privado faz com que os ofertantes da licitação acomodem esses riscos e cobrem por isso. Clareza na matriz de risco reduz o risco do prestador de serviço e com isso melhora a modicidade tarifária que poderá ser obtida e minimiza reequilíbrios econômico-financeiros posteriores.

Nesse sentido, avaliaram-se as componentes acima referidas em relação à sua gerenciabilidade pelo prestador de serviço, podendo estes ser em graus diferentes de acordo

com a seguinte escala: 0% a 10% (não gerenciável pelo prestador de serviço), de 20% a 30% (pouco gerenciável pelo prestador de serviço), de 40% a 60% (parcialmente gerenciável pelo prestador de serviço), de 70% a 80% (maioritariamente gerenciável pelo prestador do serviço) e de 90% a 100% (totalmente gerenciável pelo prestador de serviço). O MDR, em posse desta sistemática de avaliação, propôs uma tabela com avaliação de componentes, na qual está apresentada na figura 4 (outra forma de avaliação dos componentes pode ser definida ser necessário). A matriz de risco completo é apresentada na obra, na qual complementa as informações da figura 4.

Figura 4 – Gerenciabilidade de cada componente pelo prestador de serviço

Componente	grau de gerenciabilidade por parte do prestador
preço da energia elétrica (R\$/kWh)	90%
consumo específico de volume de água elevado (kWh/m <sup>3</sup> x100m)	99%
volume de água bombeado (m <sup>3</sup> )	0%
altura manométrica elevada pela estação elevatória (mca)	50%
consumo específico de tratamento de esgoto (kWh/DQO removida)	90%
carga afluyente no esgoto (DQO/m <sup>3</sup> )	0%
esgoto coletado das residências (m <sup>3</sup> )	50%
esgoto descarregado (m <sup>3</sup> )	90%
consumo específico de tratamento de água (kWh/SST removidos)	99%
sólidos na água bruta (SST/m <sup>3</sup> )	20%
volume de água produzido (m <sup>3</sup> )	0%
Água de desperdício no processo de filtração [%]	90%
consumo específico de condicionamento de escritórios (kWh/°C.dia de aquecimento ou arrefecimento)	100%
área de escritórios (m <sup>2</sup> )	100%
condicionamento de escritórios (°C.dia de aquecimento ou arrefecimento)	30%
consumo específico de iluminação de escritórios (kWh/m <sup>2</sup> .lumens)	100%
intensidade de iluminação (lumens/m <sup>2</sup> )	100%
área de escritórios (m <sup>2</sup> )	100%
rendimento de diversos equipamentos (centrifugação, secagens de lodos, geladeiras, aspiradores, misturadores, ect)	100%
consumo específico de volume de água (kWh/m <sup>3</sup> consumido), (kWh/m <sup>3</sup> bombeado), (kWh/m <sup>3</sup> produzido)	50%

FONTE: MDR, 2021

## 2.3. BALANÇO ENERGÉTICO

A abordagem para o cálculo do balanço energético contempla, à semelhança do balanço hídrico, uma visão de sistema onde é possível avaliar a energia total fornecida (para bombeamento e gravítica), a energia entregue aos consumidores, assim como a energia dissipada nos vários elementos (condutas, válvulas, bombas) e a energia consumida pela água que é perdida. Esta abordagem permite não só quantificar ineficiências energéticas associadas às instalações elevatórias, como também identificar oportunidades de melhor a

desempenho do sistema por redução de energia entregue em excesso, redução de perdas de água e de energia dissipada na rede. Os indicadores resultantes do balanço energético (Figura 5) no nível de sistemas e subsistemas permite priorizar a atuação nos mais ineficientes. Tem-se constatado que é frequente os sistemas fornecerem muito mais energia do que necessário para um abastecimento de água regular (PROEESA, 2018).

**Figura 5 – Balanço energético completo**

Energia potencial gravítica: <b>valor kWh/ano</b>		Energia fornecida ao sistema: <b>valor kWh/ano</b>	Energia associada ao consumo autorizado: <b>valor kWh/ano</b>	Energia associada à água entregue aos consumidores: <b>valor kWh/ano</b>	<b>Energia mínima: valor kWh/ano</b>
					Energia supérflua: <b>valor kWh/ano</b>
Energia de pressão para bombeamento: <b>valor kWh/ano</b>			Energia associadas às perdas de água: <b>valor kWh/ano</b>	Energia dissipada associada a perdas de carga contínuas e localizadas: <b>valor kWh/ano</b>	Fricção nas condutas: <b>valor kWh/ano</b>
					Perdas de carga nas válvulas: <b>valor kWh/ano</b>
				<b>Energia recuperada: valor kWh/ano</b>	<b>Ineficiência nas instalações elevatórias: valor kWh/ano</b>
					<b>Ineficiência nas turbinas: valor kWh/ano</b>
					<b>Associada a consumo autorizado: valor kWh/ano</b>
					<b>Associada a perdas de água: valor kWh/ano</b>
				Energia dissipada associada a perdas de carga contínuas e localizadas: <b>valor kWh/ano</b>	Fricção nas condutas: <b>valor kWh/ano</b>
					Perdas de carga nas válvulas: <b>valor kWh/ano</b>
					<b>Ineficiência nas instalações elevatórias: valor kWh/ano</b>
					<b>Ineficiência nas turbinas: valor kWh/ano</b>

FONTE: PROEESA, 2018

A versão simplificada do balanço energético requer um conjunto mínimo de dados: volumes de água fornecida e cota piezométrica em todos os pontos de entrada, faturas de energia e consumos autorizados, cotas médias e pressões mínimas requeridas de áreas homogêneas do sistema. Não é necessário um modelo hidráulico do sistema. As componentes calculadas no balanço energético simplificado (Figura 6) estão apresentadas no quadro seguinte e coincidem com as componentes em negrito no quadro da versão completa (PROEESA, 2018).

**Figura 6 – Balanço energético simplificado**

Energia de pressão para bombeamento:	Energia potencial gravítica:	Energia fornecida ao sistema:	Energia associada a consumo autorizado:	Energia associada a perdas de água:	Energia mínima:	Ineficiência nas instalações elevatórias:
<b>valor kWh/ano</b>	<b>valor kWh/ano</b>	<b>valor kWh/ano</b>	<b>valor kWh/ano</b>	<b>valor kWh/ano</b>	<b>valor kWh/ano</b>	<b>valor kWh/ano</b>

FONTE: PROEESA, 2018

## 2.4. INDICADORES DE DESEMPENHO

O acompanhamento dos indicadores é o recurso que permite identificar a ocorrência de padrões anormais na operação e fornecer dados para planejamento das medidas corretivas ou de expansão do sistema (MDC, 2018). Dentro deste conceito, a ADENE (2018) apresentou indicadores de gestão da energia aplicáveis ao setor do abastecimento de água (Quadro 1).

**Quadro 1 – Indicadores de gestão de energia para setor de abastecimento**

INDICADOR	COMO É APURADO	OBSERVAÇÕES
Custos de energia elétrica (%)	Percentagem de custos correntes correspondentes a energia elétrica	Fornecer informação sobre o peso relativo destes custos nos custos correntes da entidade gestora.
Consumo de energia relativa (%)	Percentagem que a fatura de energia reativa representa na fatura	A energia reativa não produz trabalho, mas é necessária ao funcionamento dos equipamentos elétricos.
Recuperação de energia (%)	Percentagem do consumo total de energia elétrica que é recuperada pelo uso de turbinas ou por bombas de	É relevante quando existem escoamentos gravíticos com excedentes de energia significativos que possam ser recuperados
Horas de autoconsumo (h)	Somatório do número de horas de auto consumos	Para as instalações com capacidade de geração de energia.
Consumo específico de energia por volume de água captada (expresso em kWh/m <sup>3</sup> de água captada)	Quociente entre a quantidade de energia consumida e o volume de água captada.	Estes indicadores permitem avaliar os efeitos de medidas tomadas no âmbito de programas de controle de perdas ou de uso eficiente da água. Variantes: Consumo específico em hora de ponta, cheia, vazio e super-vazio;
Consumo específico de energia por volume de água faturada (expresso em kWh/m <sup>3</sup> de água faturada)	Quociente entre a quantidade de energia consumida e o volume de água faturada)	
Consumo específico de energia por volume de água tratada (expresso em kWh/m <sup>3</sup> de água tratada)	Quociente entre a quantidade de energia consumida e o volume de água tratada.	
Consumo específico de energia por operação unitária (kWh/m <sup>3</sup> )	Quociente entre a quantidade de energia consumida por uma determinada operação unitária e volume de água que passa na mesma	

**FONTE: ADENE, 2018**

A Adene (2018) também, apresentou indicadores de eficiência energética e de produção própria de energia no âmbito da regulação para atividade do setor de abastecimento de água, como mostra o quadro 2.



**Quadro 2 – Indicadores de eficiência energética e de produção própria de energia**

Indicador	O que avalia	Como é apurado
Consumo de energia (kWh/ano)	A energia consumida pela entidade gestora para a operação do sistema de abastecimento de água ou de saneamento de águas residuais.	É considerada a energia consumida na rede de abastecimento ou de drenagem de água residuais e nas instalações de tratamento, determinada com base em leituras reais dos contadores de energia, efetuadas pela entidade gestora ou pela entidade fornecedora da energia elétrica.
Consumo de energia para bombeamento (kWh/ano)	A energia total consumida em instalações de bombeamento de água ou água residual (excluindo as instalações de bombeamento particulares).	Este dado é a soma do consumo real de energia de todo o equipamento de bombeamento de água ou água residual do sistema e deve ser determinada a partir dos contadores de consumo de energia. Nesse dado devem ser consideradas as elevações (no caso de sistemas de AA) ou as elevações à entrada das estações de tratamento (no caso de sistemas de SAR).
Fator de uniformização (m <sup>3</sup> /ano.100m)	Uniformizar as características das estações elevatórias para efeitos de cálculo da respetiva eficiência.	Somatório do fator de uniformização de todas as instalações elevatórias.
Plano de eficiência energética	Especificação de plano de eficiência energética relativo à atividade de abastecimento de água ou de saneamento de águas residuais.	O plano de eficiência energética é um documento de gestão que estabelece metas para a redução do consumo energético da entidade gestora, tendo como base o uso racional da energia, ações corretivas de desperdício energético e a utilização de equipamentos mais eficientes.
Produção própria de energia (kWh/ano)	Energia produzida internamente pela entidade gestora nas instalações afetas ao serviço de abastecimento de água ou saneamento de águas residuais.	É considerada a energia produzida internamente pela EG, incluindo processos de valorização energética, por exemplo, através da utilização de painéis de energia solar, cogeração ou de outros processos.
Consumo específico das instalações elevatórias [kWh/(m <sup>3</sup> .100m)]	Consumo de energia médio normalizado das instalações elevatórias, que consiste na quantidade média de energia consumida por m <sup>3</sup> elevado a uma altura manométrica de 100 e corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo.	Consumo de energia para bombeamento / fator de uniformização.
Produção própria de energia (%)	Porcentagem de energia consumida que é produzida internamente pela gestora nas instalações afetas ao serviço de abastecimento de água ou saneamento de águas residuais.	Produção própria de energia / Consumo de energia.

**FONTE: ADENE, 2018**

O Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) não coleta indicadores, mas sim as informações primárias. A partir delas o próprio Sistema calcula os indicadores, com base nas informações coletadas e já tratadas, utilizando-se as expressões matemáticas publicadas no site do SNIS <[www.snis.gov.br](http://www.snis.gov.br)>, no link Glossários, inserido no item Publicação de Informações. O SNIS (2020) apresenta informações primárias (histórico anual deste 1995) que são capazes de serem fontes de indicadores para os SAA e SES, tais como população atendida, número de ligações, consumos de energia, volumes tratados, entre outros.

Da mesma forma, o SNIS (2020) apresenta indicadores, que estão relacionados ao consumo de energia no abastecimento de água, que são margem das outras despesas de exploração, participação com energia elétrica nas despesas de exploração, índice de

despesas por consumo de energia elétrica nos SAA e SES, índice de consumo de energia elétrica em SAA, entre outros.

## **2.5. AÇÕES DE MELHORIA PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

O MDC (2018) apresentou que toda e qualquer intervenção que se pretenda implementar deve ser precedida de planejamento. Para as prestadoras de serviços de abastecimento de água, as ações devem ser planejadas de modo a evitar a possibilidade de desabastecimento durante a realização dos trabalhos.

No caso específico das ações de eficiência energética, há necessidade de planejar tanto as atividades de diagnóstico para proposição das medidas necessárias como as intervenções correspondentes à execução dessas ações, sendo estas redução das perdas reais de água e impacto no consumo de energia, operação de reservatórios de água de modo a minimizar o bombeamento em horários de ponta, redução da altura manométrica de bombeamento, através de alterações físicas ou operacionais, melhoria do rendimento dos equipamentos, utilização de inversores de frequência em conjuntos motobombas que operem com variação de pressão e/ou de vazão ao longo do tempo (MDC, 2018).

Da mesma forma, Gomes (2010) apresentou em sua obra 28 estudos que melhoram a eficiência energia no abastecimento, tais como otimização operacional dos sistemas adutores Prata e Jucazinho em Pernambuco, estimativa da energia elétrica consumida no bombeamento do volume de água não faturado no 3º setor de distribuição de água de Belém – Pará, variação da pressão dinâmica em redes de distribuição de água com e sem setorização, variação da pressão em redes de distribuição de água com e sem setorização, estudo de racionalização do consumo de energia elétrica em sistemas de tratamento e abastecimento de água.

## **2.6. PRODUÇÃO PRÓPRIA DE ENERGIA**

O Brasil tem pouca tradição na autoprodução da energia elétrica para sistemas de abastecimento de água. Isso se deve a um histórico de tarifas baixas e de falta de marco regulatório (MDC, 2018). O Ministério das Cidades (2018) apresentou alguns projetos de microgeração de energia elétrica, que são geração hidroelétrica, a partir do aproveitamento de adutoras e reservatórios, bomba funcionando como turbina, geração fotovoltaica aplicando-se os painéis fotovoltaicos nos telhados e coberturas de construções em estações elevatórias de tratamento de água; geração termoelétrica através do aproveitamento do biogás produzido em reatores anaeróbicos nas estações de tratamento de esgoto – ETE.

## 2.7. IMPACTOS NAS DESPESAS FINANCEIRAS COM ENERGIA ELÉTRICA

A obra de Manzi (2020) apresenta que o uso racional de energia elétrica no saneamento tem impacto fundamental na saúde financeira das companhias de saneamento e interfere diretamente em sua capacidade de investimento à universalização dos serviços e na modicidade tarifária. As ações em prol da redução das despesas financeiras com energia elétrica podem ou não envolver redução dos consumos líquidos, medidos efetivamente em kWh, alcançando deste ações burocráticas ou administrativas até investimentos de maior monta. O quadro 3 apresenta uma síntese das principais atividades aplicadas no setor Saneamento para redução das despesas financeiras com energia elétrica, envolvendo ou não redução do consumo.

**Quadro 3 – Principais atividades de redução de despesas com energia elétrica**

Sem redução no consumo		Com redução no consumo	
<b>Ações Administrativas</b>	Verificação da classificação tarifária	<b>Ajuste das condições hidráulicas</b>	Redução de desníveis geométricos
	Verificação da demanda contratada		Redução de perdas de carga
	Alteração de estrutura tarifária		Redução de perdas de água no sistema
	Desativação de unidade consumidora		Modernização dos ativos de recalque
	Erros de leitura ou sincronização de relógio		Aumento dos volumes de reservação
	Correção do fator de potência		Controle de velocidades
	Alteração da tensão de entrada		Automação
	Melhoria no fator de carga (FC)		Melhorias nos pontos de operação

Fonte: MANZI (2020)

### 2.7.1. REDUÇÃO DE DESPESAS SEM REDUÇÃO DO CONSUMO

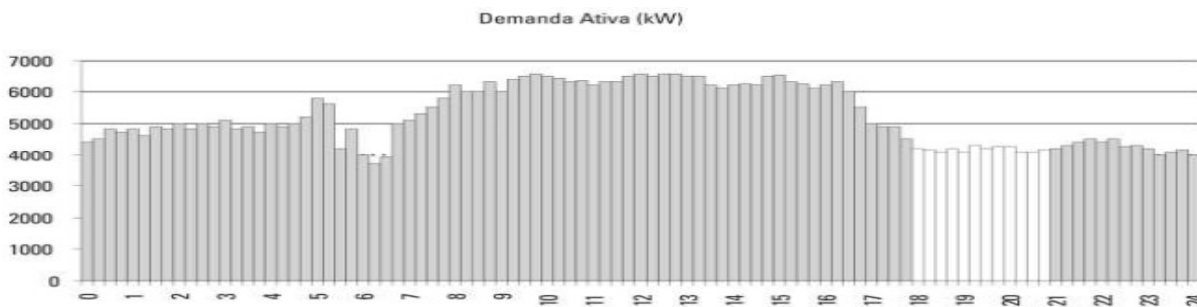
Neste item serão verificadas as principais atividades de redução de perdas sem consumo de energia elétrica, conforme apresentado no Quadro 3.

#### 2.7.1.1. DEMANDA CONTRATADA

As instalações de recalque com potências superiores a 2.500 kW devem contratar um valor de demanda independente do consumo, que pode ser constante ao longo do dia (tarifa verde) ou horossazonal, com custos distintos adentro e fora do horário de ponta (tarifa azul). É muito comum que esta demanda, sobretudo nos instantes de ponta, onde as tarifas são expressivamente superiores, seja mal dimensionada ou operada, levando a desperdícios por Demandas pagas e não utilizadas ou despesas excessivas e multas por ultrapassagem dos valores contratados (MANZI, 2020).

Para facilitar a compreensão dos conceitos e definições utilizaremos a obra de Eletrobras et al. (2010), iniciando com a Figura 7, que apresenta curva das potências medidas em intervalos de 15 em 15 minutos de uma unidade consumidora.

**Figura 7 – Curva das potências medidas**

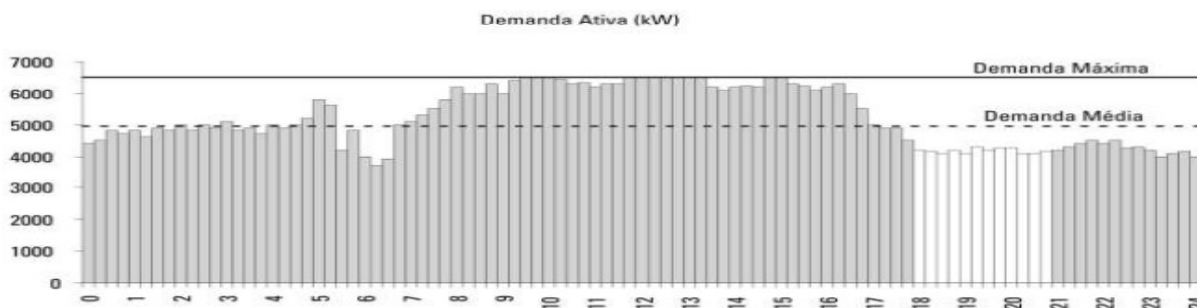


Fonte: ELETROBRAS ET AL. (2010)

A energia elétrica ativa é o uso da potência ativa durante qualquer intervalo de tempo, e sua unidade usual é o quilowatt-hora (kWh). Uma outra definição é “energia elétrica que pode ser convertida em outra forma de energia”. Já a energia elétrica reativa é a energia elétrica que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampere-reativo-hora (kvarh).

A demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. Assim, esta potência média, expressa em quilowatts (kW), pode ser calculada dividindo-se a energia elétrica absorvida pela carga em um certo intervalo de tempo  $\Delta t$ , por este intervalo de tempo  $\Delta t$ . A demanda máxima é a demanda de maior valor verificada durante um certo período. A demanda média é a relação entre a quantidade de energia elétrica (kWh) consumida durante um certo período e o número de horas desse período. A Figura 8 apresenta o comportamento da demanda média.

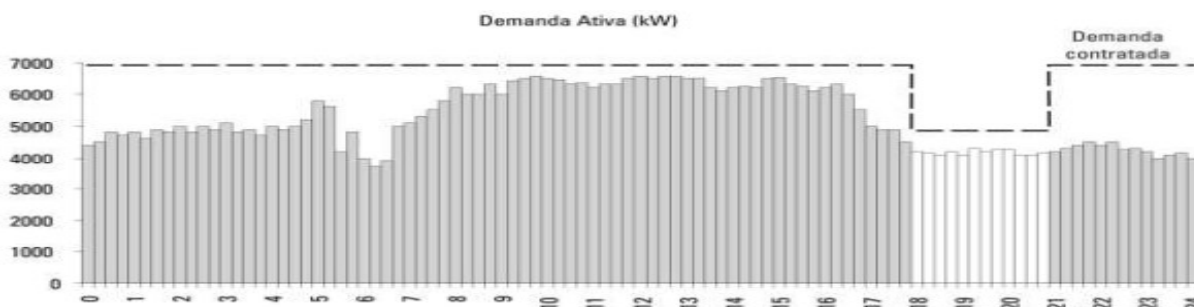
**Figura 8 – Ilustração do comportamento da demanda média**



Fonte: ELETROBRAS ET AL. (2010)

A demanda medida é a maior demanda de potência ativa, verificada por medição integralizada no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW). A demanda contratada é a demanda de potência ativa a ser obrigatoriamente e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW). A Figura 9 apresenta o comportamento da demanda contratada.

**Figura 9 – Ilustração da demanda contratada**



Fonte: ELETROBRAS ET AL. (2010)

## 2.7.1.2. CLASSIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES

No estudo apresentado pela Eletrobras et al. (2011), no Brasil as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A, que tem tarifa binômica e Grupo B, que tem tarifa monômica. O agrupamento é definido, principalmente, em função do nível de tensão em que são atendidos e, como consequência, em função da demanda (kW). As unidades consumidoras atendidas em tensão abaixo de 2.300 volts são classificadas no Grupo B (baixa tensão). Em geral, estão nesta classe as residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais, grande parte dos edifícios comerciais e a maioria dos prédios públicos federais, uma vez que, na sua maioria são atendidos nas tensões de 127 ou 220 volts. O Grupo B é dividido em subgrupos, de acordo com a atividade do consumidor, conforme apresentados a seguir:

- Subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Os consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2300 volts, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais, são classificados no Grupo A. Esse grupo é subdividido de acordo com a tensão de atendimento, como mostrado a seguir:

- Subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.

Os poucos prédios públicos classificados no Grupo A, em geral, estão no Sub-Grupo A4. Os consumidores atendidos por redes elétricas subterrâneas são classificados no Grupo A, Sub-Grupo AS, mesmo que atendidos em tensão abaixo de 2.300 volts (baixa tensão). Para fazer uso deste benefício é necessário que a unidade consumidora esteja localizada em área servida por sistema subterrâneo ou previsto para ser atendido pelo referido sistema, de acordo com o programa de obras da concessionária e que possa ser atendido um dos seguintes requisitos:

I) verificação de consumo de energia elétrica ativa mensal igual ou superior a 30MWh em, no mínimo, 3 (três) ciclos completos e consecutivos nos seis meses anteriores a opção;

II) celebração de contrato de fornecimento fixando demanda contratada igual ou superior a 150 kW.

### 2.7.1.3. ESTRUTURA TARIFÁRIA

A obra de Manzi (2020) apresenta duas modalidades tarifárias, que são: verde e azul. A modalidade verde possui tarifa de consumo de energia elétrica em função dos horários de ponta ou fora de ponta, mas uma tarifa constante de demanda ao longo do dia. O risco de ultrapassagem de demanda não existe, mas às custas de uma tarifa relativamente mais alta para a demanda. Na modalidade azul há tarifação em função do posto tarifário de ponta ou fora de ponta, tanto para consumo como para demanda. A variação significativa entre os valores dessas tarifas em relação à modalidade Verde.

Define-se estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento. No Brasil, as tarifas do Grupo A são constituídas em três modalidades de fornecimento, relacionadas a seguir:

- Estrutura tarifária Convencional;
- Estrutura tarifária horossazonal Verde;
- Estrutura tarifária horossazonal Azul.

#### **2.7.1.4. FATOR DE POTÊNCIA**

A obra de Manzi (2020) apresenta que fator de potência é a relação trigonométrica entre as potências ativa, reativa e aparente de uma instalação elétrica. A energia reativa na instalação não resulta em trabalho e é ligada a ineficiências como motores e instalações sub ou superdimensionadas, conjuntos girando em vazio ou muitos motores de baixa potência. Esta ineficiência gera consumo de energia elétrica sem gerar trabalho hidráulico, podendo receber multa das concessionárias quando o fator de potência se apresentar abaixo de 0,92.

Conforme estudo da Eletrobras et al. (2011), o limite é indicado de forma indireta, através de um parâmetro denominado “fator de potência”, que reflete a relação entre as energias ativa e reativa consumidas. De acordo com a Resolução ANEEL nº 456/2010, as instalações elétricas dos consumidores devem ter um fator de potência não inferior a 0,92 (capacitivo ou indutivo).

Quando o “fator de potência” é inferior a 0,92, é cobrada a utilização de energia e demanda de potência reativa na fatura de energia elétrica, como Consumo de Energia Reativa Excedente e Demanda Reativa Excedente. A energia reativa capacitiva é medida entre 0 h e 6 h e a energia reativa indutiva no restante do dia. Quando não é possível se medir a energia reativa capacitiva, a medição da energia reativa indutiva é feita durante as 24 horas do dia.

Os consumidores do Grupo A, tarifa Convencional, pagam tanto o consumo de energia reativa – UFER, quanto a demanda reativa – UFDR. Abaixo estão as equações para os cálculos dos faturamentos. Os consumidores do Grupo A, tarifa azul, pagam tanto o consumo de energia reativa (UFER quanto da demanda reativa (UFDR, para as horas de ponta e horas fora de ponta. Não existe cobrança de ultrapassagem para a demanda reativa. Existem fórmulas próprias para cálculo dos valores de UFER e UFDR, mostradas na Resolução ANEEL nº 456/2000, porém apresentá-las e discuti-las foge aos objetivos deste Manual.

#### **2.7.1.5. ALTERAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA**

As tarifas de energia elétrica em alta tensão (superiores a 380 V) são mais baratas. A alteração da modalidade de fornecimento, deve também considerar os custos com a eventual necessidade de adaptações ou substituições do padrão de fornecimento de energia elétrica e a necessidade de instalação de transformadores (MANZI, 2020).

### 2.7.1.6. FATOR DE CARGA

O Fator de Carga – FC é a relação entre a potência média consumida em uma instalação e a demanda máxima instalada. Instalações ociosas levam a baixos Fatores de carga, que são taxados pelas Concessionárias. Recomenda-se operação de pelo menos 14 horas ao dia para bons valores de FC.

### 2.7.2. REDUÇÃO DE DESPESAS COM REDUÇÃO DO CONSUMO

A obra de Manzi (2020) apresenta que as ações que geram redução das despesas com energia elétrica, mediante redução do consumo, estão intrinsecamente ligadas à eficiência hidráulica dos sistemas consumidores, baseando no cálculo da potência elétrica, conforme apresenta a eq. 1.

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m} \quad (1)$$

Onde:

P – Potência elétrica

$\gamma$  – Peso específico do fluido bombeado

Q – Vazão

$H_m$  – Altura manométrica

$\eta_b$  – Rendimento da bomba

$\eta_m$  – Rendimento do motor

#### 2.7.2.1. REDUÇÃO DE DESNÍVEIS GEOMÉTRICOS

A concepção dos sistemas de abastecimentos de água normalmente acompanha o crescimento urbano, que nem sempre considera as condições topográficas e de disponibilidade de mananciais como variáveis de decisão. O resultado é a operação de sistemas urbanos de água e esgoto concebidos e implantados em diferentes instantes de tempo, atendendo a preocupações imediatas. Não raro, existem sistemas de recalque que abastecem uma sucessão de reservatórios, com ou sem recalques intermediários, com uso desnecessário de energia elétrica (MANZI, 2020). Ainda acrescenta, que a mudança de infraestruturas e suas regras operativas deve ser precedida de análises dos custos de implantação e de operação.



## 2.7.2.2. REDUÇÃO DE PERDAS DE CARGA

As perdas de carga participam de forma direta no consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento, sobretudo em sistemas de transporte de água bruta. A determinação em ensaios de campo permite intervenções periódicas para a manutenção de níveis econômicos de perdas (MANZI, 2020). A Figura 10 apresenta exemplos de diminuição da seção interna por acúmulo de resíduos, que exigem manutenções.

Figura 10 – Exemplos de perda de seção nas adutoras



Fonte: AMVE (2022)

A obra do ProEESA (2016) apresenta que os sistemas de bombeamento de água bruta e tratada precisam bombear acréscimo de vazão e vencer alturas manométricas maiores devido ao aumento da vazão que levou ao aumento da velocidade dentro dos tubos e a um acréscimo nas perdas de carga e ao envelhecimento natural dos tubos de ferro fundido, principalmente devido à corrosão, o que levou ao aumento da rugosidade e do atrito interno, reduzindo o valor do coeficiente de perda de carga da fórmula de Hazen-Williams, gerando mais um acréscimo às perdas de carga. A rugosidade pode ser calculada conforme eq. 2 abaixo.

$$C = \frac{Q}{0,2785 \cdot D^{2,63} \cdot \left(\frac{P_1 - N_B + Z_1}{L}\right)^{0,54}} \quad (2)$$

em que:

- C – Rugosidade
- Q – Vazão em m<sup>3</sup>/s
- D – Diâmetro interno da adutora em m
- P<sub>1</sub> – Pressão da saída do recalque em m
- N<sub>B</sub> – Cota do reservatório de chegada em m
- Z<sub>1</sub> – Cota da bomba em m
- L – Comprimento da adutora em m

A obra de Manzi (2020) apresenta a utilização do *polly-pig* para alternativa de melhorar a rugosidade das adutoras. O *polly-pig* é muito utilizado no setor industrial, sendo uma solução de baixo custo e implementação simples para reabilitação da capacidade de vazão de adutoras e linhas de recalque. A Tabela 1 apresenta resultados práticos da utilização da limpeza interna de adutoras, na qual resultaram em uma recuperação do consumo específico de energia elétrica da instalação com a limpeza de 5,54%.

**Tabela 1 – Comportamento do coeficiente de rugosidade antes e após limpeza**

Rugosidades	DN (mm)	C inicial	C final	Recuperação (%)
Adutora 1	600	87	107	23%
Adutora 2	700/500	88	119	35%
Adutora 3	600	86	120	40%
Adutora 4	700	84	121	44%
Média	-	86,3	116,8	35,4%

Fonte: Manzi (2020)

### 2.7.2.3. REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NO SISTEMA

O setor saneamento, com uso intensivo de bombeamento, alia a possibilidade de conjugar o uso racional da água com o uso eficiente da energia, tendo sido identificada a possibilidade de redução de consumo no setor em até 45%, dos quais 20% decorrentes de medidas de eficiência energética e 25% de redução de perdas de água (SNIS, 2018). As técnicas para melhorar o controle e perdas de água podem ser explorados no Manual do Programa de Perdas de Água – PRP, que foi instituído pelo anexo I da Resolução CSR nº 005/2021 da AGESAN-RS (AGESAN-RS, 2021).

### 2.7.2.4. MODERNIZAÇÃO DOS ATIVOS DE RECALQUE

A obra de Gomes e Carvalho (2012) apresenta as principais causas relacionadas à substituição dos conjuntos motobomba são a presença de sistemas sub e superdimensionados, baixo rendimento das bombas e motores, e/ou grande quantidade de motores de pequena potência. A troca dos motores de baixo rendimento ou de rendimento padrão por máquinas de alto rendimento é, normalmente, a ação mais direta para a diminuição do consumo de energia elétrica nos sistemas de bombeamento. O consumo de energia elétrica é inversamente proporcional ao rendimento do conjunto elevatório. Atualmente, é comum as companhias de abastecimento terem como primeira ação dos departamentos de eficiência energética e operacional a substituição de motores antigos por motores de alto rendimento.

O estudo de Junior et al. (2017) apresenta que a indústria em geral e o alto emprego dos motores elétricos para as mais diversas tarefas, na qual os motores instalados no país possuem uma idade média de 17 anos, fazem que esses possuam uma tecnologia ultrapassada e, normalmente são até reconicionados, situação que afeta ainda mais significativamente nos seus rendimentos. Assim, no estudo dessa obra, realizou-se a substituição de motores antigos por motores de alto rendimento, alcançado *payback* significativos, conforme apresenta a Tabela 2.

**Tabela 2 – Resultados obtidos com a substituição de motores**

Motor	Longa duração (24 horas)			Longa duração (12 horas)		
	Investimento (R\$)	Economia (kWh/ano)	Payback (anos)	Investimento (R\$)	Economia (kWh/ano)	Payback (anos)
W22 IR2	10.500,00	17.082,27	1,26	9.294,44	7.320,96	3,33
W22 IR3	11.838,72	18.780,09	1,46	11.838,72	8.048,61	3,42
W22 IR4	13.587,56	20.452,65	1,54	13.587,56	8.765,42	3,60

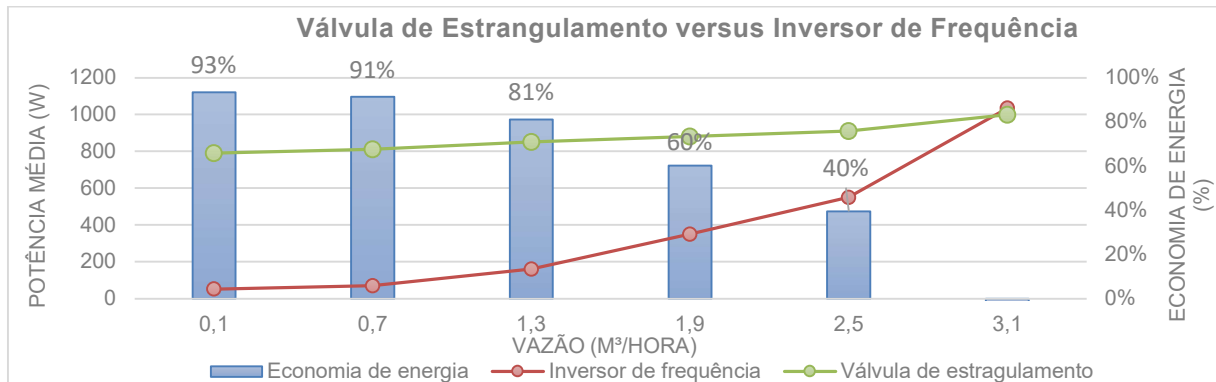
Fonte: Junior et al. (2017)

#### 2.7.2.5. CONTROLE DE VELOCIDADES

O estudo de Sousa e Silva (2012) apresenta a aplicação do inversor de frequência, que pode ser usado para o controle de vazão em processos de bombeamento, substituindo os controles tradicionais de forma muito mais eficiente, tais como: válvula de controle, *by-pass* e sistema *on-off*. Esses processos, largamente utilizados em indústrias, possuem potencial de redução de energia elétrica na ordem de até 30% teoricamente. A tecnologia dos inversores evoluiu proporcionando características de controle de velocidade e de torque em um motor de indução.

O estudo de Sousa e Silva (2012) acrescenta que os inversores ajustam seus parâmetros de modo a manter o rendimento de um motor na condição nominal de carga ou próximo dela, portanto, o inversor adapta-se conforme as solicitações da carga acionada pelo motor. A economia proporcionada pelo inversor de frequência é dada em função da redução da potência de entrada, do número de horas de funcionamento e do preço da energia elétrica. A Figura 11 apresenta o comportamento da potência média consumida um sistema, que utilizou para controle da vazão a válvula de estrangulamento e o inversor de frequência. Observa-se em vazões menores a economia de energia é muito superior quando utilizado inversores de frequência.

Figura 11 – Comparação dos resultados de potência consumida



Fonte: Adaptado de Sousa e Silva (2012)

### 2.7.2.6. MELHORIAS NOS PONTOS DE OPERAÇÃO

A obra de Manzi (2020) também apresenta outras técnicas capazes de obterem resultados de eficiência energética no bombeamento melhores, que são: aumento do rendimento do conjunto motobomba com ponto de operação de um sistema de bombeamento, redução do tempo de operação no horário de ponta com utilização de reservação de água, aplicação da automação no sistema de abastecimento capaz de aperfeiçoar processos para redução de consumo de energia elétrica.

### 2.8. APLICAÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO NORMALIZADO – CEN

O método CEN proposto por Ferreira et al. (2019) será o referencial de estudo neste item. Complementarmente, utilizar-se-ão ferramentas de avaliação do CEN repassadas pelo ProEESA.

#### 2.8.1. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS REPASSADOS PARA A TARIFA

Em seguida, apresentam-se os cálculos e critérios utilizados para determinar os custos evitáveis e repassados desnecessariamente para a tarifa. Os passos adotados para os cálculos do CEN são:

- Cálculo do desempenho atual;
- Determinação do desempenho técnico satisfatório;
- Cálculo do potencial técnico de poupança;
- Cálculo dos custos evitáveis;
- Determinação do valor de *retrofit* da estação elevatória;

- F) Determinação do critério de economicidade;
- G) Cálculo dos custos evitáveis.

## A) CÁLCULO DO DESEMPENHO ATUAL

Com base no Indicador da Ph5 da *International Water Association* (IWA), calcula-se o desempenho energético atual da estação elevatória. O período de referência é de seis a doze meses, preferencialmente. Esse indicador corresponde ao Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado – CEN em kWh/m<sup>3</sup>x100m e permite que diferentes estações elevatórias sejam comparadas em uma mesma base manométrica, indicando quanta energia elétrica é usada para elevar 1 m<sup>3</sup> de água a 100 m de altura. A eq. 3 apresenta a expressão para cálculo do CEN.

$$CEN = \frac{E \cdot 100}{V \cdot H} \quad (3)$$

Onde:

E = energia elétrica consumida para bombeamento no período de referência (kWh);

V = volume de água elevado no período de referência (m<sup>3</sup>);

H = altura manométrica média verificada no período de referência (mca).

## B) DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO SATISFATÓRIO

Para efeitos do presente estudo, definiram-se os níveis de eficiência técnica que são patamares desejáveis e encontram-se detalhados na Figura 12, considerados conservadores e realistas. Os valores provêm da Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015, que define limites mínimos de eficiência energética eletromecânica em sistemas de bombeamento em operação, assim como os métodos de ensaio para aferir a eficiência. A tabela distingue tipos de conjuntos motobombas, e apresenta valores de desempenho recomendáveis para diferentes faixas de potência elétrica instalada. Note-se que limites de eficiência mais exigentes podem ser adotados, com base nos catálogos dos fabricantes. Assim, para cada *i*-ésima estação elevatória existe um CEN<sub>técnico i</sub> que corresponde a um bom desempenho de seu respectivo CEN<sub>i</sub> (kWh/m<sup>3</sup>x100m).

**Figura 12 – Níveis de eficiência técnica**

Tipo de motor	externo				submerso			
	0	16	38	96	0	16	38	96
Potência a partir de [kW]								
Bom desempenho (%)	64	68	72	72	50	57	62	63
Bom desempenho (kWh/m <sup>3</sup> x100m)	0,426	0,401	0,378	0,378	0,545	0,478	0,440	0,433

Fonte: Ferreira et al. (2019)

## C) CÁLCULO DO POTENCIAL TÉCNICO DE POUPANÇA (kWh)

Sabendo o nível de eficiência em que a estação elevatória se encontra e o nível que seria desejável, pode-se calcular o potencial técnico de poupança. O cálculo é realizado para cada estação elevatória individualmente. Esse potencial equivale à energia evitável e que é determinado pela eq. 4.

$$\text{Energia evitável}_{\text{limite técnico}} = \sum_{\text{bomba } i}^{\text{bomba } n} (\text{CEN}_{\text{atual } i} - \text{CEN}_{\text{técnico}}) \cdot V_{i \text{ mensal}} \cdot \frac{H_i}{100} \quad (4)$$

Onde:

Energia evitável<sub>limite técnico</sub> = energia elétrica total evitável para todas as *i*-ésimas estações elevatórias;

*i* = estação elevatória / conjunto motobomba;

CEN<sub>atual i</sub> = consumo específico de energia elétrica normalizado da estação elevatória *i* (kWh/m<sup>3</sup>x100m);

CEN<sub>técnico i</sub> = consumo específico normalizado de energia elétrica da estação elevatória *i* (kWh/m<sup>3</sup>x100m);

V<sub>i mensal</sub> = volume mensal elevado na estação elevatória *i* (m<sup>3</sup>);

H<sub>i</sub> = altura manométrica da estação elevatória *i* (m).

## D) CÁLCULO DOS CUSTOS EVITÁVEIS - NÍVEL TÉCNICO (R\$)

Os custos evitáveis determinam-se multiplicando o custo unitário de energia elétrica (R\$/kWh) médio na *i*-ésima estação elevatória pelo potencial de economia técnico (kWh). Para cada estação elevatória utilizasse o seu respectivo custo unitário médio de energia elétrica, pois o horário de operação pode incidir em maior ou menor grau no horário de ponta. Em caso de sistemas enquadrados em tarifação horossazonal, gerando assim custos unitários médios de energia elétrica distintos, deve-se utilizar o valor da tarifa estipulado pela revisão tarifária periódica ANEEL. A eq. 5 apresenta a expressão matemática para determinação dos custos evitáveis com energia elétrica.

$$\text{Custos evitáveis}_{\text{limite técnico}} = \text{Energia evitável}_{\text{limite técnico}} \cdot t_{\text{energia } i} \quad (5)$$

Onde:

Custos evitáveis<sub>limite técnico</sub> = custos totais evitáveis para todas as *i*-ésimas estações elevatórias;

*i* = estação elevatória / conjunto motobomba;

t<sub>energia i</sub> = custo unitário médio de energia elétrica na estação elevatória *i* (R\$/kWh).

## E) DETERMINAÇÃO DO VALOR DE RETROFIT DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA (R\$)

Para obter o potencial de economia (R\$) identificado no passo anterior, ou seja, custos evitáveis da eq. 5, é necessária a realização de intervenções, podendo ser de manutenção ou substituição, nas estações elevatórias. Os investimentos associados são estimados para calcular o *payback* da medida. Custos de *retrofit* sobre-estimados terão um impacto mais

atenuante em uma possível punição por ineficiência. Custos subestimados de *retrofit* agravam uma eventual punição.

#### **F) CÁLCULO DO PAYBACK DO RETROFIT (meses)**

Para determinar o *Payback*, divide-se o montante do *retrofit* em (R\$) pelos custos evitáveis encontrados na eq. 5 (custos evitáveis). Assim, o *payback* é calculado para cada uma das estações elevatórias por meio da eq. 6.

$$\text{Payback}_i = \frac{\text{Retrofit}}{\text{Custos evitáveis}_i} \quad (6)$$

Onde:

*Payback*<sub>i</sub> = é o tempo de retorno do investimento executado para *retrofit* do sistema elevatório;

*i* = estação elevatória / conjunto motobomba;

*Retrofit* = valor de investimento para repor uma situação de eficiência técnica na estação elevatória *i* (R\$);

*Payback* = período de recuperação do investimento (meses);

Custos evitáveis *i* = custos evitáveis mensais conforme eq. 5.

#### **G) DETERMINAÇÃO DO CRITÉRIO DE ECONOMICIDADE – Payback (meses)**

Após o passo 6, é conhecido o *payback* das intervenções de melhoria na eficiência para todas as estações elevatórias. Para determinar quais das estações elevatórias devem ser sujeitas a uma intervenção, determina-se um *payback* considerado razoável. Para este estudo, determinou-se o período de três anos – 36 meses.

#### **H) CÁLCULO DOS CUSTOS EVITÁVEIS - NÍVEL ECONÔMICO (R\$)**

Com base no critério anterior de *payback*, selecionam-se as estações elevatórias que estão gerando custos adicionais por alguma ineficiência. Os custos evitáveis identificados para esse subconjunto de estações elevatórias com a eq.5 (custos evitáveis) constituem os custos que poderiam ser evitados em nível econômico e que se encontram atualmente suportados pela tarifa e demais receitas do prestador.

#### **2.8.2. DETERMINAÇÃO DE NÍVEL TÉCNICO E ECONÔMICO DE EFICIÊNCIA**

Os 5 passos a seguir são usados para determinar os níveis técnicos e econômicos de eficiência eletromecânica dos conjuntos motobombas. Assim, será apresentado o indicador de consumo específico de energia (kWh/m<sup>3</sup>) mais indicado para colocar metas de níveis de desempenho por ser mais intuitivo e comunicável. Os passos adotados são:

- A) Cálculo do consumo específico atual;
- B) Determinação da energia necessária em um nível de eficiência técnico;
- C) Cálculo do consumo específico técnico;
- D) Determinação da energia elétrica necessária em um nível de eficiência econômico;
- E) Cálculo do consumo específico econômico.

## A) CÁLCULO DO CONSUMO ESPECÍFICO ATUAL

O consumo específico atual de energia elétrica calcula-se por meio da eq. 7:

$$CE_{PS \text{ atual}} = \frac{\sum E_i}{\sum V_i} \quad (7)$$

Onde:

$CE_{PS \text{ atual}}$  = consumo específico atual para todas as  $i$ -ésimas estações elevatórias consideradas;

$CE_{\text{atual}}$  = consumo específico de energia elétrica atual do prestador de serviço (kWh/m<sup>3</sup>);

$E_i$  = consumo de energia elétrica da estação elevatória  $i$  (kWh);

$V_i$  = volume de água bombeado na estação elevatória  $i$  (m<sup>3</sup>).

## B) DETERMINAÇÃO DA ENERGIA PARA UM NÍVEL DE EFICIÊNCIA TÉCNICO (kWh)

Para determinar a energia elétrica necessária em um nível de eficiência técnico (kWh) utiliza-se a eq. 8.

$$\sum E_{\text{técnico } i} = \sum CEN_{\text{técnico } i} \cdot V_i \cdot \frac{H_i}{100} \quad (8)$$

Onde:

$E_i$  = consumo de energia da estação elevatória  $i$  (kWh) para um rendimento bom tecnicamente;

$i$  = estação elevatória / conjunto motobomba;

$CEN_{\text{técnico } i}$  = consumo específico normalizado da estação elevatória  $i$  (kWh/m<sup>3</sup>.100m)

$V_i$  = Volume de água bombeado na estação elevatória  $i$  (m<sup>3</sup>);

$H_i$  = altura manométrica da estação elevatória  $i$  (m);

Alternativamente, e usando a expressão do rendimento em percentual %, a mesma equação assume a expressão matemática da eq. 9.

$$\sum E_{\text{técnico } i} = \sum \left( \frac{0,2725}{\eta_{\text{técnico } i}} \cdot 100 \right) \cdot V_i \cdot \frac{H_i}{100} \quad (9)$$

Onde:

$\eta_{\text{técnico } i}$  = rendimento da estação elevatória  $i$  para um rendimento bom tecnicamente;



## C) CÁLCULO DO CONSUMO ESPECÍFICO TÉCNICO CE técnico (kWh/m³)

Sendo conhecida a quantidade de energia correspondente a um bom desempenho técnico e o volume de água ou esgoto bombeado, calcula-se o consumo específico técnico de energia elétrica com a seguinte eq. 10.

$$CE_{\text{técnico}} = \frac{\sum E_{\text{técnico } i}}{\sum V_i} \quad (10)$$

Onde:

CE técnico = consumo específico de energia elétrica para um bom rendimento bom técnico (kWh/m³);

i = estação elevatória / conjunto motobomba;

V<sub>i</sub> = Volume de água bombeado na estação elevatória i (m³);

E<sub>i</sub> = consumo de energia da estação elevatória i (kWh) para um bom rendimento técnico.

## D) ENERGIA ELÉTRICA NECESSÁRIA EM UM NÍVEL DE EFICIÊNCIA ECONÔMICO

A energia necessária em um nível de eficiência econômico se compõe de duas parcelas: as estações elevatórias que operam eficientemente do ponto de vista econômico e as que não operam nesse regime. Para o subconjunto de estações eficientes, cujos *paybacks* de intervenções são superiores a 36 meses (ou outro limite a estabelecer), a energia elétrica necessária corresponde àquela que está sendo atualmente usada (E<sub>atual</sub>). Para o subconjunto de estações não eficientes, cujos *paybacks* de intervenções são inferiores a 36 meses (ou outro limite a estabelecer), a energia elétrica necessária corresponde aquela quantidade necessária para atingir o nível de eficiência técnica (E<sub>técnico</sub>). A eq. 11 permite a determinação da energia elétrica necessária para um bom desempenho econômico do conjunto motobomba.

$$E_{\text{econômico}} = \sum_{\text{est.elev } i < 36} CEN_{\text{atual } i} \cdot V_i \cdot \frac{H_i}{100} + \sum_{\text{est.elev } i < 36} CEN_{\text{técnico } i} \cdot V_i \cdot \frac{H_i}{100} \quad (11)$$

Onde:

E econômico = Energia elétrica necessária para um bom desempenho econômico do conjunto motobomba;

CEN<sub>atual i</sub> = consumo específico de energia elétrica normalizado da estação elevatória i (kWh/m³.100m)

CEN<sub>técnico i</sub> = consumo específico de energia elétrica normalizado da estação elevatória i (kWh/m³.100m);

V<sub>i</sub> = volume de água bombeado na estação elevatória i (m³);

H<sub>i</sub> = altura manométrica da estação elevatória i (m).

A eq. 12 também conduz aos mesmos resultados da eq. 11.

$$E_{\text{econômico}} = \sum_{\text{est.elev } i < 36} CE_{\text{atual } i} \cdot V_i + \sum_{\text{est.elev } i < 36} CE_{\text{técnico } i} \cdot V_i \quad (12)$$

Onde:

$E_{\text{econômico}}$  = Energia elétrica necessária para um bom desempenho econômico do conjunto motobomba;  
 $i$  = estação elevatória / conjunto motobomba;  
 $CE_{\text{atual } i}$  = consumo específico da estação elevatória  $i$  para um rendimento bom tecnicamente ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ );  
 $CE_{\text{técnico } i}$  = consumo específico da estação elevatória  $i$  para um rendimento bom tecnicamente ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ );  
 $V_i$  = volume de água bombeado na estação elevatória  $i$  ( $\text{m}^3$ );

## E) CÁLCULO DO CONSUMO ESPECÍFICO ECONÔMICO

Sendo conhecida a quantidade de energia elétrica correspondente a um bom desempenho econômico e o volume de água bombeado, calcula-se o consumo específico econômico ( $CE_{\text{econômico}}$ ) de energia elétrica em  $\text{kWh}/\text{m}^3$ , conforme a eq. 13.

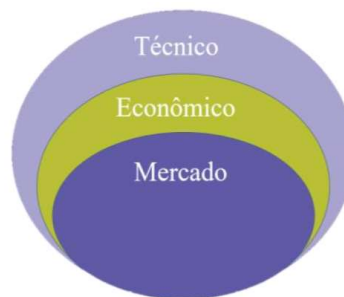
$$CE_{\text{econômico}} = \frac{\sum \text{econômico}}{\sum V_i} \quad (13)$$

Onde:

$CE_{\text{econômico}}$  = Consumo específico de energia elétrica econômico para todas estações elevatórias;  
 $i$  = estação elevatória / conjunto motobomba;  
 $CE_{\text{econômico } i}$  = consumo específico de energia elétrica da estação elevatória  $i$  ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ );  
 $V_i$  = volume de água bombeado na estação elevatória  $i$  ( $\text{m}^3$ );  
 $\sum E_{\text{econômico } i}$  = consumo de energia, conforme eq. 11 ou 12.

Após o cálculo dos vários níveis de consumo específico de energia elétrica ( $CE_{\text{atual}}$ ,  $CE_{\text{técnico}}$ ,  $CE_{\text{econômico}}$ ) foram interpretadas as relações entre eles em todas as combinações, sendo ilustrado na Figura 13 uma dessas possíveis combinações.

Figura 13 – Potenciais de conservação de energia



Fonte: Ferreira et al. (2019)

## 2.9. CONDIÇÕES DOS MOTORES ELÉTRICOS

As condições de trabalho dos motores elétrico podem ser avaliadas pela manutenção preditiva, que é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que indicam o seu nível de desgaste ou processo de degradação. Trata-se de um conjunto de processos para tentar estimar o tempo de vida útil dos componentes das

máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado. Assim, atua-se com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho do equipamento, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática (MELO, 2007).

A obra de Melo (2007) acrescenta que a manutenção preditiva pode ser comparada a uma inspeção sistemática para o acompanhamento das condições dos equipamentos. A manutenção preventiva condicionada é realizada em função do estado dos componentes do equipamento, isto é, através de análises tribológicas (análises de óleos, análise da existência de detritos provenientes do desgaste das peças em contacto), termografia (processo que consiste na análise das temperaturas de diferentes órgãos ou componentes), ultrassons (técnica que permite identificar diferenças de ruídos anormais em peças como rolamentos, etc.), análise de correntes elétricas em motores de corrente alternada (CA), recolha e análise de vibrações (método que permite determinar o estado do componente facilitando assim a predição da sua avaria).

O estudo de Lima e Miranda (2021) apresenta que as melhorias nas condições de trabalho dos motores podem reduzir em até 15% do consumo da energia elétrica. A obra também apresenta algumas preditivas que melhoram o desempenho iniciando pela leitura das correntes elétricas nas fases do motor (R, S, T), conforme apresenta a Figura 14, é realizado com o equipamento em funcionamento, a fim de monitorar um aumento em uma das fases do motor, que pode ser ocasionado por um desalinhamento do conjunto.

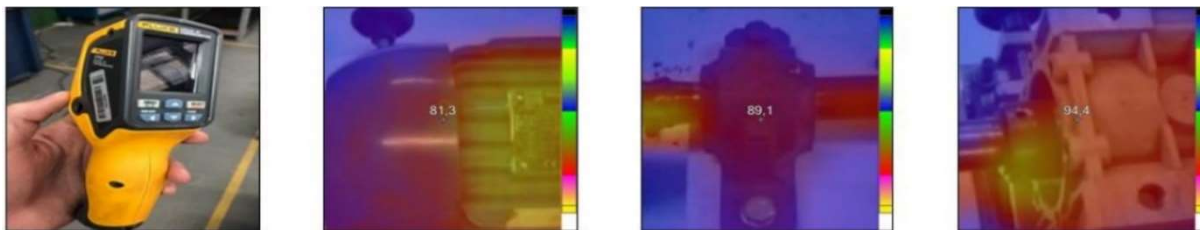
**Figura 14 – Medição das correntes do motor**



**Autor: Lima e Miranda (2021)**

Lima e Miranda (2021) relatam a utilização da câmera termográfica utilizada na termografia, que é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que busca identificar a temperatura real de um determinado corpo em tempo real. A Figura 15 apresenta imagens realizadas pela câmera termográfica.

Figura 15 – Imagens termográficas



Autor: Lima e Miranda (2021)

Lima e Miranda (2021) apresentam a caneta medidora de vibração que realiza leitura de nível global de velocidade de vibração. Esse equipamento pode encontrar vibração, comparado antes e depois da intervenção de alinhamento de eixos e polias a laser, de forma a analisar no tópico de resultados. Na Figura 16 apresenta o equipamento avaliando a vibração do conjunto do motor.

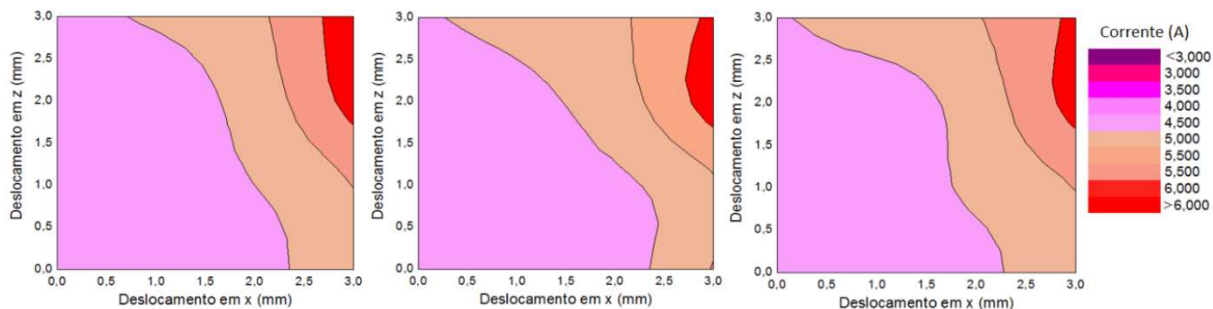
Figura 16 – Caneta medidora de vibração



Autor: Lima e Miranda (2021)

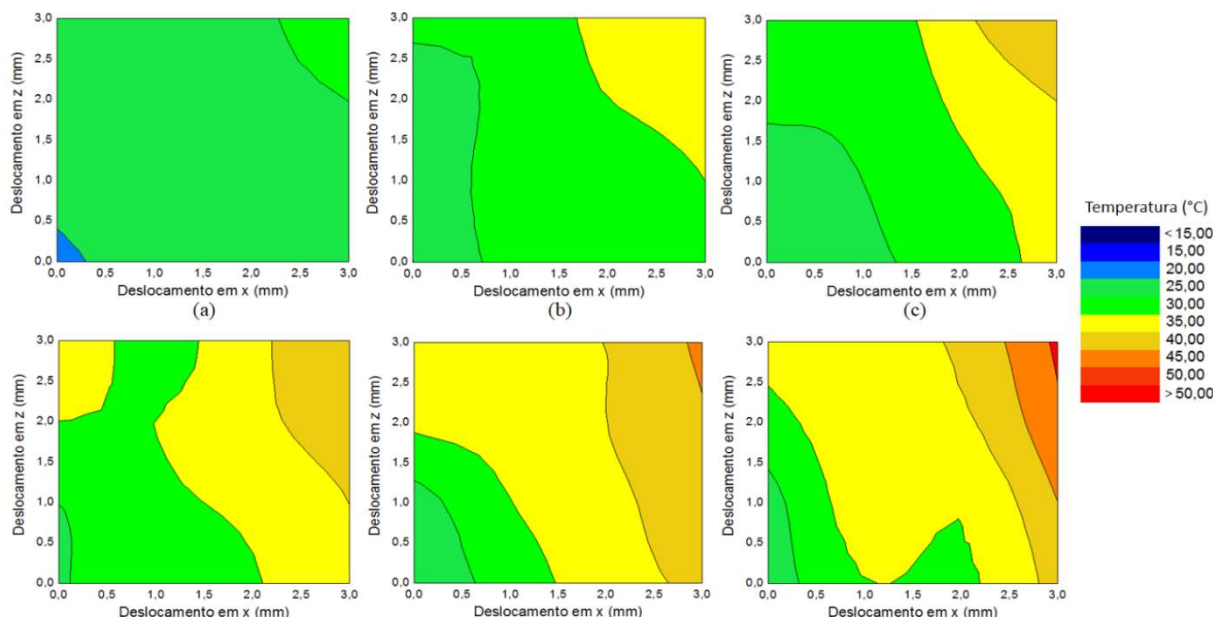
Lima e Miranda (2021) apresentam o comportamento da corrente elétrica das fases dos motores em função ao desalinhamento dos eixos (Figura 17), afirmando que o aumento da corrente é consequência do motor estar trabalhando de forma forçada, levando um aumento de 4,5% do consumo de energia elétrica. Também, apresenta na Figura 18, o comportamento das correntes das fases em função a temperatura, afirmando que esse aumento de temperatura ocasionado por um desalinhamento acaba dissipando boa parte da energia que deveria ser convertida em trabalho, isso devido ao contato em excesso dos componentes, levando uma redução direta de até 15% do consumo da energia elétrica.

**Figura 17 – Corrente elétrica em função ao desalinhamento dos eixos**



Autor: Lima e Miranda (2021)

**Figura 18 – Corrente elétrica devido**

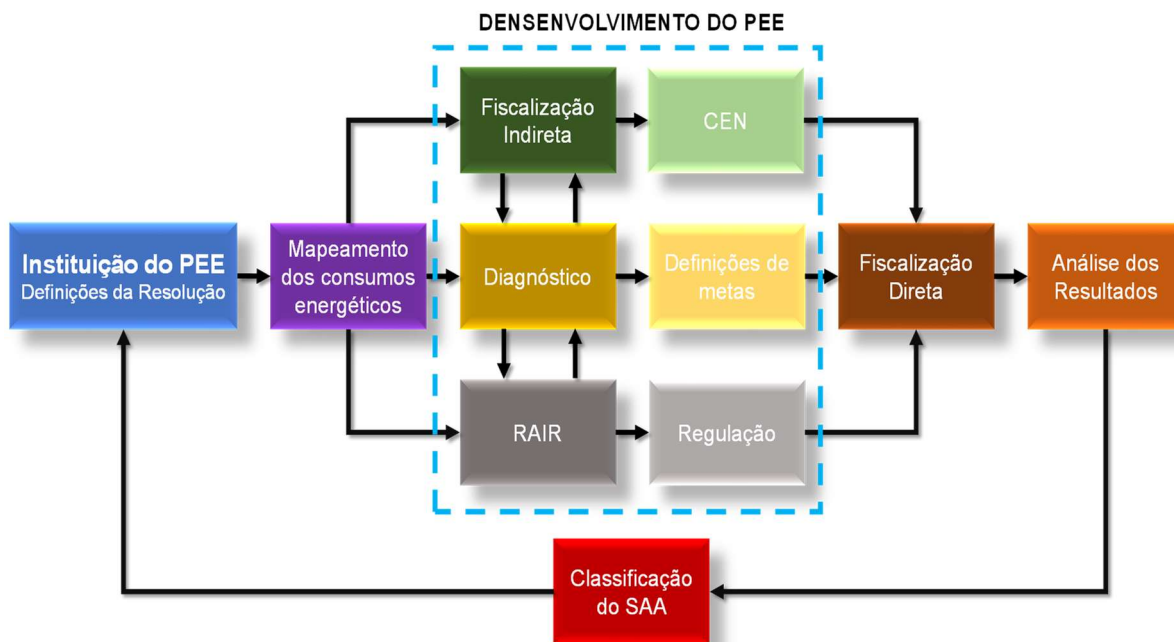


Autor: Lima e Miranda (2021)

### 3. METODOLOGIA

A metodologia para o Programa de Eficiência Energética – PEE da AGESAN-RS foi desenvolvida para atuar no sistema de abastecimento de água (SAA) e no sistema de esgotamento sanitário (SES). Portanto, todos os estudos verificados para SAA serão aplicados ao SES, devido existirem uma maior gama de estudo para SAA. O programa tem o caráter contínuo, porém com atividades periódicas. A metodologia propõe tratar em paralelo as questões de diagnósticos, de fiscalização e de regulação com objetivo de fomentar os resultados individualmente por município regulado. A Figura 19 apresenta o fluxograma macro da metodologia do PEE, que serão discutidas na sequência.

Figura 19 – Fluxograma da Metodologia do Programa de Eficiência Energética



Fonte: Autores

### 3.1. INSTITUIÇÃO DO PEE

O PEE da AGESAN-RS deverá entrar em vigor com a publicação da resolução específica para o tema, devidamente homologada pelo Conselho Superior de Regulação – CSR. A resolução apresenta temas que envolvam o tema, que são:

- Caracterização dos sistemas energéticos, tais como funções, potências, tensões, fatores de potência, localizações;
- Definição dos planos que deverão ser apresentados anualmente pelo prestador de serviço, tais como leitura de energia elétrica, leitura dos volumes processados, preditivas e preventivas, energias alternativas, instalação de inversores de frequência, substituição de motores de auto rendimento e projetos de eficiência energética;
- Informações periódicas, tais como consumo de energia elétrica, bombeamento em volume de água, demais consumos ou produções identificadas;
- Manutenções no sistema, tais como limpeza de adutoras, manutenção preditiva e preventiva em motores, dentre outras;
- Melhorias no desempenho, tais como instalação de motores de alto rendimento, instalação de inversores de frequência, implantação de automação nos sistemas;
- Definições gerais, tais como projetos hidráulicos, alterações de projetos, fontes alternativas de energia elétrica, dentre outros.

### **3.2. MAPEAMENTO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS**

Os mapeamentos dos consumos de energia elétrica por município têm a atribuição de montar a localização de todos ou os principais equipamentos dos SAA e SES. O mapeamento permitirá que a agência reguladora desenvolva um cadastro dos equipamentos, gerando informações adequadas para os planejamentos as fiscalizações direta e indireta. O bombeamento do recalque e das elevatórias estão como os principais consumidores de energia elétrica, conseqüentemente o mapeamento poderá ter exclusividade estes equipamentos. As principais informações que deverão conter no mapeamento serão endereço ou gerenciamento, características dos equipamentos, funções dos equipamentos, potência demandada, potência média consumida e horários de funcionamento.

### **3.3. DESENVOLVIMENTO DO PEE**

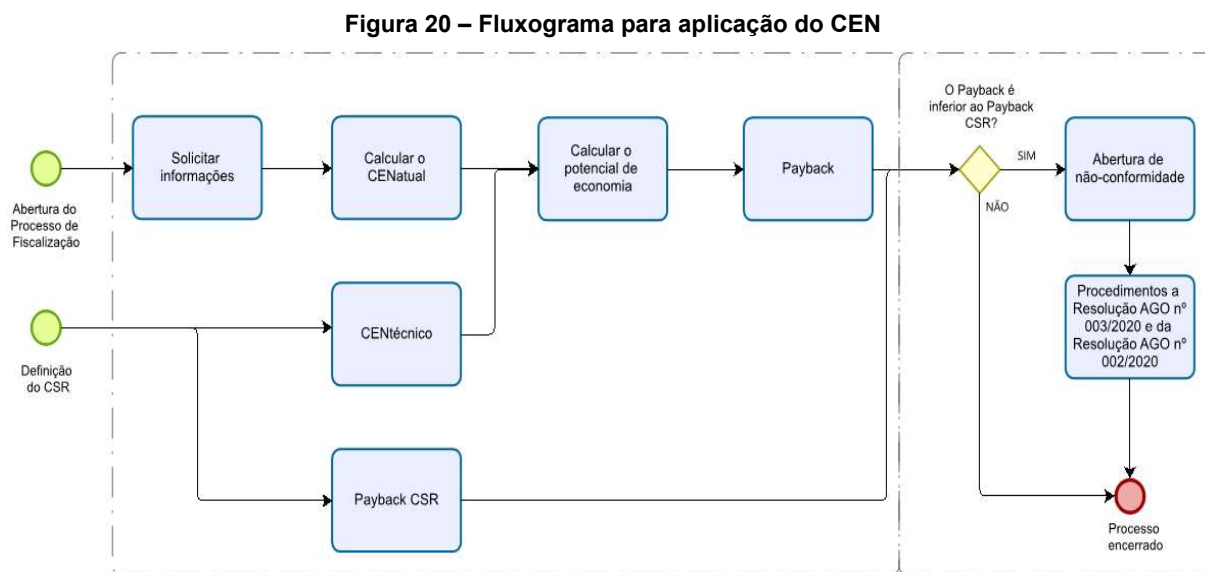
A instituição do PEE permitirá a exploração de informações mais precisas sobre os SAA e SES. Conseqüentemente, o mapeamento eficiente dos equipamentos poderá ser realizado. Dessa forma, com o cenário montado, desenvolver-se-á o programa de eficiência energética, na qual os processos de fiscalização indireta, o diagnóstico dos sistemas e a análise do impacto regulatório consolidação ao PEE.

#### **3.3.1. FISCALIZAÇÃO INDIRETA**

A fiscalização indireta seguirá os procedimentos definidos pela Resolução AGO nº 003/2020, que trata do Manual de Fiscalização dos Prestadores de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da AGESAN-RS. O principal objetivo será o acompanhamento dos consumos de energia e das produções dos equipamentos, sendo possível avaliar os rendimentos das motobombas individuais ou em conjunto. Os agentes de fiscalização terão totalmente autonomia de avaliação dos dados e definições para o prestador de serviço, desde que devidamente embasados. Entretanto, as técnicas do Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado – CEN (kWh/m<sup>3</sup>.100m) e o Consumo Específico de Energia – CE (kWh/m<sup>3</sup>) deverão ser utilizadas nas avaliações dos equipamentos. Dessa forma, apresentaremos os procedimentos a serem adotados para avaliação das duas técnicas.

### 3.3.1.1. APLICAÇÃO DO CEN PARA ABERTURA DE NÃO-CONFORMIDADE

O procedimento irá embasar tecnicamente a equipe de fiscalização para realizar as atividades de monitoramento e de fiscalização, gerando resultados práticos ao prestador de serviço, referente a aplicação do CEN. A Figura 20 apresenta o fluxograma da aplicação da avaliação CEN para abertura de NC, sendo passíveis de penalidades.



Fonte: Autor.

### 3.3.1.2. SOLICITAR INFORMAÇÕES SOBRE O BOMBEAMENTO

Os bombeamentos existentes, mapeamentos anteriormente, serão referência para solicitação de informações. As informações principais informações serão solicitadas por meio de definições em resolução, referente ao período mínimo de 6 meses e máximo 1 ano, sendo discriminadas mensalmente. As informações adicionais que contemplaram as análises deverão ser solicitadas por meio de ofício. As informações definidas por resolução serão: energia elétrica consumida para bombeamento no período de referência em kWh; volume de água elevado no período de referência em m<sup>3</sup>; altura manométrica média verificada no período de referência em m; valor monetário de reposição dos equipamentos em reais.

### 3.3.1.3. CÁLCULOS DO CEN

O CEN atual e o potencial de economia deverão ser calculados conforme equacionamentos apresentados na revisão teórica. Também pode ser utilizada a planilha



eletrônica específica para os referidos cálculos, que foi fornecida pelo Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água – ProEESA. A Figura 21 apresenta a imagem na planilha eletrônica citada.

Figura 21 – Planilha eletrônica do ProEESA para cálculo do CEN

Fonte: ProEESA (2022)

O  $CEN_{\text{técnico}}$  estará apresentado em resolução, assim como o  $Payback_{\text{CSR}}$  (tempo de retorno padrão). O  $CEN_{\text{técnico}}$  definido pelo ProEESA (2021b) está apresentado pela Tabela 3 (valores em kWh/m<sup>3</sup>.100m). A Tabela 4 apresenta as eficiências em percentual (%) dos conjuntos moto-bomba, correspondentes à Tabela 3. O  $Payback_{\text{CSR}}$  em comparação com o  $Payback$  calculado será parâmetro para avaliação da necessidade de abertura de não-conformidade ao prestador de serviço.

Tabela 3 – Valores de referência para rendimento de conjuntos moto-bomba (kWh/m<sup>3</sup>x100m)

Tipo de motor	Externo				Submerso			
	0	15,7	38	96	0	15,7	38	96
<b>Potência do motor a partir de [kW]</b>	0	15,7	38	96	0	15,7	38	96
<b>Desempenho insuficiente e informação de baixa confiabilidade</b>	1,703	1,703	1,703	1,703	1,703	1,703	1,703	1,703
<b>Desempenho insuficiente</b>	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
<b>Desempenho mediano</b>	0,524	0,487	0,454	0,426	0,779	0,580	0,478	0,462
<b>Bom desempenho</b>	0,426	0,401	0,378	0,378	0,545	0,478	0,440	0,433
<b>Bom desempenho, mas baixa confiabilidade na informação</b>	0,328	0,313	0,299	0,299	0,495	0,440	0,407	0,401
<b>Valor sem credibilidade</b>	0,228	0,218	0,208	0,208	0,345	0,306	0,284	0,278

Fonte: ProEESA (2021b)

**Tabela 4 – Valores de referência para rendimento de conjuntos moto-bomba (%)**

Tipo de motor	Externo				Submerso			
	0	15,7	38	96	0	15,7	38	96
Potência do motor a partir de [kW]	0	15,7	38	96	0	15,7	38	96
Desempenho insuficiente e informação de baixa confiabilidade	0	0	0	0	0	0	0	0
Desempenho insuficiente	16	16	16	16	16	16	16	16
Desempenho mediano	25	25	25	25	25	25	25	25
Bom desempenho	52	56	60	64	35	47	57	59
Bom desempenho, mas baixa confiabilidade na informação	64	68	72	72	50	57	62	63
Valor sem credibilidade	83	87	91	91	55	62	67	68

Fonte: ProEESA (2021b)

#### 3.3.1.4. ABERTURAS DE NÃO-CONFORMIDADES

O parâmetro de comparação dos *Paybacks* será critério para abertura de não-conformidades – NC, conforme exposto anteriormente. Assim, a abertura da NC seguirá as definições da Resolução AGO nº 003/2020. Dessa forma, o corpo técnico deverá emitir um Relatório Técnico de Fiscalização – RTF, acompanhado do Termo de Não-Conformidades – TNC, caso houver. Conseqüentemente, o prestador de serviço seguirá os demais ritos.

As penalizações deverão seguir os procedimentos da Resolução AGO nº 002/2020, que dispõe sobre os procedimentos relativos às infrações e penalidades aplicáveis, pela AGESAN-RS, ao prestador de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Entretanto, as formas e os valores das penalizações poderão ser definidos especificamente para o Programa de Eficiência Energética, por meio de resolução.

#### 3.3.2. DIAGNÓSTICO

A análise mais aprofundada sobre o sistema de abastecimento de água referente aos consumos energia elétrica ou consumos específicos de energia poderão ser realizados pelo corpo técnico da AGESAN-RS ou terceiros. Os objetivos do diagnóstico do SAA são verificar as condições atuais, possibilitando visualizar subsistemas com desempenhos inferiores ou com possibilidades de melhorias.

Os principais pontos que deverão conter no diagnóstico, são unidades consumidoras – UC ativas e desativadas, verificação da classificação tarifárias das UC, verificação da demanda contratada, fator de potência e sua correção, tensões das UC, mapeamento dos desníveis geométricos, mapeamento das perdas de cargas, impacto das perdas de água, detalhamento dos ativos, volume de reservação do SAA, controles de velocidades dos bombeamentos, utilização de automação, pontos críticos na operação e balanço energético.

### **3.3.2.1. METAS**

Os principais indicadores a serem utilizados para monitoramento do processo serão o consumo específico de energia elétrica normalizado – CEN (kWh/m<sup>3</sup>.100m) e o consumo específico de energia elétrica – CE (kWh/m<sup>3</sup>). Contudo, outro indicador poderá ser demandado através dos diagnósticos ou das fiscalizações indiretas. O estabelecimento poderá ser realizado para especificamente para uma elevatória ou um central bombeamento, assim como para um SAA ou SES.

Dessa forma, com a utilização do histórico dos desempenhos dos equipamentos ou sistemas poder-se-á utilizar as seguintes metodologias individualmente ou associadas para estabelecimentos de metas: estatística, desempenho histórico, progressividade, *benchmarking* e informações técnicas de fabricantes. O estabelecimento de metas que gerarão penalizações pecuniárias ao prestador de serviço deverá obrigatoriamente serem homologadas pelo Conselho Superior de Regulação.

### **3.3.3. RELATÓRIO DE ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO – RAIR**

As normativas que forem demandas pelo Programa de Eficiência Energética deverão ter análise de impacto regulatório – AIR antes da elaboração da minuta de resolução. As informações do AIR serão a Fiscalização Indireta e os Diagnósticos do SAA e SES. O conceito é aprofundar-se nos conhecimentos adquiridos com o programa para avaliação dos impactos, podendo subsidiar os prestadores de serviços com normativa que fomentem as melhores práticas de eficiência energética em seus sistemas.

#### **3.3.3.1. REGULAÇÃO**

As minutas de resolução que serão produzidas por meio do Programa de Eficiência Energética, obrigatoriamente, deverão ser homologadas pelo Conselho Superior de Regulação. Alguns temas possuem mais destaques para a eficiência energética, podendo

destacar: automação de sistemas, inversores de frequência no bombeamento, rugosidade superficial das tubulações, novas fontes renováveis de energia, eficiência em novos projetos e os desníveis de operação.

### **3.4. FISCALIZAÇÃO DIRETA**

O Programa de Eficiência Energética pretende que a equipe de fiscalização realize atividades de inspeção presenciais para alcançar entendimentos sobre os sistemas. A Fiscalização basear-se-á no Manual de Fiscalização da AGESAN-RS, instituído por meio da Resolução AGO nº 003/2020, assim como o acompanhamento das ações planejadas para possíveis NC abertas. Contudo, a fiscalização poderá verificar situações específicas, caso o prestador de serviço se apresente omisso, tais como: realização de manutenções preditivas nos equipamentos, realização de manutenções preventivas e condições estruturais do sistema.

### **3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os resultados alcançados deverão estar disponíveis para consulta pública e deverão ser apresentados ao Conselho Superior de Regulação anualmente. Os municípios que alcançarem resultados desejados receberão o Selo de Eficiência da AGESAN-RS. A avaliação do selo para os municípios regulados tem o objetivo de fomentar as melhores práticas referentes a eficiência energética, deixando disponível no site da agência para consulta de usuários, Prefeituras Municipais e interessados. Os procedimentos do Selo de Qualidade serão apresentados por meio de Normativo de Diretoria Geral.

## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A AGESAN-RS entende que este programa contribua com as prestadoras do SAA e SES na otimização do consumo de energia elétrica. Contudo, este programa, por ser inédito na AGESAN-RS, e por existirem diversidades nas características dos municípios, sofrerá evolução para esta metodologia desenvolvida (versão 0).

A aplicação do RAIR para avaliação dos cenários trará entendimentos sobre as causas que influenciam e impactam nos consumos específicos de energia, de modo que, com isso, o programa de eficiência energética possa ser remodelado para atender às necessidades. Por este motivo exposto e, também, com as contribuições que o Projeto Piloto trará, o PEE deverá sofrer algumas revisões para seu desenvolvimento. A primeira revisão deverá ser realizada

com o término na etapa de definição de metas do Projeto Piloto, sendo que os aprendizados adquiridos deverão agregar na metodologia desenvolvida. A segunda e subsequentes revisões deverão ser realizadas em até dois anos, com contagem do tempo independente por município.

O processo do melhoramento da eficiência energética trará melhores resultados, consequentemente diminuindo custos e gastos envolvidos nestes fatores, possibilitando análises que reportem uma diminuição efetiva na tarifa praticada. Portanto, o PEE está embasado em muitos estudos reconhecidos nacional e internacionalmente e, desse modo, atuará de forma precisa, utilizando as melhores técnicas para os custos e prazos existentes, ajustando sua metodologia apresentada em momento que se identifiquem oportunidades, que venham a agregar em seu aperfeiçoamento ou para atender a um município em específico.

## 5. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA REGULADORA INTERMUNICIPAL DE SANEAMENTO DO RIO GRANDE DO SUL – AGESAN-RS. **Resolução CSR nº 005/2021 – Institui o programa de redução de perdas nos municípios regulados pela AGESAN-RS.** Porto Alegre: AGESAN-RS, 2021. Disponível em: <https://www.agesan-rs.com.br/resolicoes-csr>. Acesso em: 11 out. 2022;
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL); **Projetos de Eficiência Energética em Saneamento - Guia auxiliar para os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL.** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Brasília. Abril de 2019;
- AGÊNCIA PARA A ENERGIA (ADENE). **Guias Técnicos – Uso eficiente de energia nos serviços de águas.** Edição: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Lisboa, dezembro de 2018.
- ALEGRE, H.; COELHO, S. T., 2012. **Infrastructure Asset Management of Urban Water Systems, Water Supply System Analysis - Selected Topics.** Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/water-supply-system-analysis-selected-topics/infrastructure-asset-management-of-urban-water-systems>;
- BRASIL. **Lei n. 11.445/2007 – Estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.** Brasília, 5 de janeiro de 2007;
- BRASIL. **Lei n. 14.026/2020 – Marco Legal do Saneamento Básico.** Brasília, 15 de julho de 2020;
- CANELA. **Plano Municipal de Saneamento Básico.** Canela, setembro 2014;

- GOMES, H. P. **Sistema de Saneamento – Eficiência Energética**. 1ª Edição, João Pessoa: Editora da Universidade Federal da Paraíba, 2010.
- INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION BRASIL – COPPER ALLIANCE. A. **Guia para aplicação da norma ABNT NBR ISSO 50001 – Gestão de energia**. Disponível em: <[https://www.abrinstal.org.br/docs/guia\\_gestao\\_de\\_energia.pdf](https://www.abrinstal.org.br/docs/guia_gestao_de_energia.pdf)>; Acesso em: 28 de julho de 2021;
- MANZI, D. **A hidráulica de todo dia no Saneamento**. 1ª Edição. Curitiba: Appris, 2020;
- MINISTÉRIO DAS CIDADES - MDC. **Eficiência Energética – Ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica**. Versão revisada. Brasília, agosto de 2018;
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR; **Propostas para abordar a Eficiência Energética em Normas de Referência Nacionais de Saneamento**; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Projeto de Eficiência Energética no abastecimento de água, GIZ Brasil – fase 2, julho de 2021;
- ELETROBRAS *et al.* **Energia elétrica: conceito, qualidade e tarifação: guia básico**. Brasília: IEL/NC, 2010. 127 p. Disponível em: <https://www.procelinfo.com.br/>; Acesso em: 06 set. 2022;
- ELETROBRAS *et al.* **Manual de Tarifação de Energia elétrica**. Brasília: 2011. 56 p. Disponível em: [https://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa\\_files/te344%20aula%2009%20-%20manual%20de%20tarif%20en%20el%20-%20procel\\_epp%20-%20agosto-2011.pdf](https://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/te344%20aula%2009%20-%20manual%20de%20tarif%20en%20el%20-%20procel_epp%20-%20agosto-2011.pdf). Acesso em: 06 set. 2022;
- GOMES, H. P.; CARVALHO, P.S. **Manual de sistemas de bombeamento: eficiência energética**. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2012. 189p;
- MELO, H. C. **Plano de manutenção preditiva para motores elétricos – Definição e implementação numa indústria de pasta de papel**. Dissertação para o Mestrado de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2017. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/25461/1/Hugo-Costa-Melo.pdf>; Acesso em: 21 out. 2022;
- LIMA, L. P.; MIRANDA, D. A. Análise do efeito de desalinhamento de motores elétricos para aplicação de manutenção preditiva. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2021. **Anais [...]**. Curitiba: ConBrepo, 2021. Disponível em: <https://aprepro.org.br/conbrepro/2021/anais/>. Acesso em: 21 out. 2022;
- PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (PROEESA). **Linhas orientadoras para elaboração e acompanhamento de Planos de Gestão de Água e Energia em Sistemas de Abastecimento de Água**. Deutsche

Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Projeto de Energética no abastecimento de água, GIZ Brasil, fevereiro de 2018;

- PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (PROEESA, 2021a). **Diagnóstico Digital 2020 do Setor de Saneamento no Brasil - Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Projeto de Eficiência Energética no abastecimento de água, GIZ Brasil – fase 2, fevereiro de 2021;
- PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (PROEESA, 2021b). **Proposta para abordar Eficiência Energética em Normas de Referência Nacionais de Saneamento**. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/proeesa/EficienciaEnergeticaNormasRegulatoriasSaneamento.pdf>. Acesso em: 11 out. 2022;
- PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (PROEESA). **Modelo Demonstrativo de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água Memória de Cálculo**. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Brasília: Ministério das Cidades, 2016. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/modelo\\_demonstrativo\\_calculo.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/modelo_demonstrativo_calculo.pdf). Acesso em: 11 out. 2022;
- SAPIRANGA. **Contrato de Programa para Prestação de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Porto Alegre, 10 março de 2010;
- SEMINÁRIO DE GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. 1., 2022, Blumenau/SC. Palestras... **Associação de Municípios do Vale Europeu – AMVE**. Blumenau: AMVE, 2022;
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE O SANEAMENTO (SNIS). **25º Diagnóstico dos Serviços de Água**. Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento, Brasília: dezembro de 2020;
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE O SANEAMENTO (SNIS). **Eficiência Energética**. Brasília: Ministério das Cidades, 2018. Disponível em: <https://www.snis.gov.br/publicacoes-biblioteca>. Acesso em: 11 out. 2022;
- SOUSA, E. C.; SILVA, V. P. **Inversor de frequência e a sua contribuição para a eficiência energética em sistemas de bombeamento**. São Paulo: Revista Engenharia, 2012. Disponível em: <https://www.brasilengenharia.com>. Acesso em: 11 out. 2022;
- JUNIOR, O. S.; JACOMINI, S.; COSTA, T. F.; DEBASTIANI, G. Eficiência Energética: Análise da viabilidade para implementação de motores de alto rendimento. *In*: Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 15. Encontro Internacional, 1. **Anais [...]**. Cascavel: Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, 2017.