



AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Guia para a folha de cálculo de eficiência energética

Primeira edição



Iniciativa de Água e Saneamento



Iniciativa de Energia Sustentável e
Mudança Climática

Banco Interamericano de Desenvolvimento

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Guia para a folha de cálculo de eficiência energética

Primeira edição

Iniciativa de Água e Saneamento
Iniciativa de Energia Sustentável e Mudança Climática
Washington, D.C.
2011

A produção desta publicação esteve a cargo da Assessoria de Relações Externas do BID

© Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2011. Todos os direitos reservados.
As opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente
a posição oficial do Banco Interamericano de Desenvolvimento

Para mais informações ou consultas, contatar: agua@iadb.org ou secci@iadb.org

IDB-MG-114

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	vii
INTRODUÇÃO	1
DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE EQUIPAMENTOS DE BOMBEAMENTO	3
PASSO 1. LEVANTAMENTO DE DADOS	3
1.1 Sistema elétrico	3
1.2 Dados nominais do motor	6
1.3 Dados nominais da bomba	7
1.4 Características do fluido	9
PASSO 2. MEDIÇÕES EM CAMPO	9
2.1 Medições hidráulicas	9
2.2 Medições elétricas	13
2.3 Medições de temperatura	16
PASSO 3. AVALIAÇÃO E PROCESSO DE INFORMAÇÃO	17
3.1 Avaliação dos condutores elétricos	18
3.2 Avaliação do motor elétrico	19
3.3 Avaliação da bomba	22
3.4 Balanço de energia atual	25
3.5 Comentários e oportunidades de economia	27
PASSO 4. PROJETO DE ECONOMIA DE ENERGIA	31
4.1 Descrição das propostas de economia	31
4.2 Especificações do equipamento	33
4.3 Plano de ação	33
PASSO 5. AVALIAÇÃO DAS ECONOMIAS	34
5.1 Avaliação dos condutores elétricos	34
5.2 Avaliação de eficiência do motor	34
5.3 Balanço de energia esperado	34
PASSO 6. ANÁLISE ECONÔMICA	36
6.1 Cálculo de economias	36
6.2 Cálculo do custo dos investimentos	36
6.3 Análise da taxa de retorno do investimento	37

APRESENTAÇÃO

Como parte de sua cooperação técnica Eficiência Energética em Empresas de Água e Saneamento no Caribe, a Iniciativa de Energia Sustentável e Mudança Climática (SECCI, da sigla em inglês) do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) financiou o desenvolvimento de uma metodologia regional para melhorar a eficiência energética e a manutenção de empresas fornecedoras de serviço de água nos países da América Latina e do Caribe. Essa metodologia, desenvolvida pelas firmas de consultoria Econoler International e a Alliance to Save Energy, enfoca principalmente a eficiência eletromecânica dos sistemas de bombeamento de água no Caribe. Esta publicação apresenta um guia para a folha de cálculo. A folha de cálculo, um manual de avaliação da eficiência energética e um manual de manutenção para a avaliação dos sistemas estão também disponíveis no portal de publicações do <http://www.iadb.org/publications/> e no portal da Iniciativa de Água e Saneamento: <http://www.iadb.org/en/topics/water-sanitation/energy-efficiency-for-utilities,4492.html>.

A supervisão da preparação deste manual esteve a cargo das seguintes pessoas da Unidade de Energia Sustentável e Mudança Climática (ECC, na sigla em inglês) e da Divisão de Água e Saneamento (WSA, na sigla em inglês): Christoph Tagwerker (ECC), Marcello Basani (WSA), Rodrigo Riquelme (WSA) e Gerhard Knoll (WSA). O manual foi desenvolvido pelos engenheiros Arturo Pedraza e Ramón Rosas da Econoler International e da Alliance to Save Energy.

Iniciativa de Água e Saneamento
Iniciativa de Energia Sustentável e Mudança Climática

INTRODUÇÃO

Embora não seja uma panaceia, compreender a complexidade da problemática do setor da água e as medidas de eficiência em água e energia no contexto de um sistema de água potável e saneamento pode ser um passo importante para abordar os problemas dentro dessa área. A eficiência em matéria de energia e água, quando aplicada dentro de um processo de planejamento integrado, pode adiar e, em alguns casos, eliminar a necessidade de investimento em infraestrutura adicional.

Melhorias na eficiência em serviços municipais de água são também os investimentos que mais valem a pena, pois retornam impressionantes rendimentos na forma de economias operacionais e gerais, transformando-se em um melhor serviço e otimizando a sustentabilidade financeira do operador.

Com o objetivo de seguir uma metodologia de forma ordenada, a avaliação de eficiência energética consiste na aplicação de um conjunto de técnicas para identificar o nível de eficiência de uso da energia, além de especificar quanta energia é desperdiçada.

A conclusão da avaliação de eficiência energética é a identificação e quantificação de medidas de baixo custo ou com investimentos rentáveis para a economia de energia nessa instalação e, assim, faz parte do desenvolvimento de um projeto integral de eficiência energética.

Para realizar a avaliação de eficiência energética, sugere-se seguir uma sequência ordenada que conduza aos melhores resultados.

Baseada na distribuição de perdas, a avaliação de eficiência energética em um sistema de água potável e saneamento deve incluir a análise dos sistemas padrão onde a energia é consumida, que segundo a ordem de importância são:

- Conjunto motor-bomba, incluindo eficiências, condições de operação e aspectos de manutenção;
- Sistema de distribuição, incluindo tubulações, tanques de regulação e outros acessórios;
- Sistema eletromotriz, incluindo o transformador;
- Fornecimento energético, incluindo as características do contrato de fornecimento.

Seguem abaixo as medidas padrão de economia que são obtidas por meio dessa metodologia:

- Otimização do fator de potência;
- Operação de bombas em zona de máxima eficiência;
- Utilização de motores de alta eficiência;
- Redução de perdas de carga em tubulações;
- Seleção da bitola ideal dos condutores.

Outras medidas de economia aplicadas, tais como seleção da tarifa mais econômica, tarifa HM e parada de equipamentos em horário de pico, autogeração em horário de pico, aplicação de velocidade variável e economias de energia por otimização da operação hidráulica, poderão ser sugeridas como resultado de outro tipo de análise.

Este manual descreve a metodologia de cálculo a ser aplicada durante a avaliação de eficiência energética em um sistema de bombeamento, contando com o auxílio de uma folha de cálculo, que contém essa metodologia passo a passo.

Obs.: Esta folha de cálculo foi preenchida com informações de um exemplo, que em cada sistema e equipamento sob exame devem ser substituídas pelas informações correspondentes. Na folha de cálculo foram salientados em AMARELO os campos que devem ser substituídos ou preenchidos, e em VERDE os que farão os cálculos de forma automática e, portanto, não devem ser alterados. Sugere-se salvar o arquivo com o nome do sistema de bombeamento correspondente antes de começar a preencher a folha de cálculo.

OBJETIVO

Esta metodologia visa a avaliar e analisar um sistema de bombeamento, por meio da avaliação do balanço energético desse sistema, bem como a avaliação das medidas de economia de energia propostas.

As fórmulas utilizadas neste modelo estão relacionadas com as unidades de medida descritas em cada item, portanto, é muito importante respeitar as unidades com as quais o modelo deve ser preenchido; portanto, para o bom funcionamento do equipamento, as informações pedidas devem ser transformadas nas unidades de medida correspondentes.

Para preencher o modelo, deve-se seguir a metodologia abaixo:

CABEÇALHO

Para começar, deve-se colocar no cabeçalho do modelo as informações sobre:

Local: Local ou região onde o equipamento sob exame está localizado.

Data: Data em que as medições e a análise do equipamento foram realizadas.

Agência: Companhia, empresa ou órgão responsável pela operação do equipamento sob exame.

Sistema: Sistema hidráulico ao qual o equipamento sob exame pertence. Se for parte de um subsistema de um principal, também se deve escrever o sistema e o subsistema ao qual pertence.

Equipamento: Nome do equipamento sob exame.

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE EQUIPAMENTOS DE BOMBEAMENTO

LOCAL: GÓMEZ PALACIO, DGO. **DATA:** 24 DE MARÇO DE 2009

ORGÃO:	SIDEAPA, GÓMEZ PALACIO, ÁREA URBANA
SISTEMA:	Frankie Ejido Cuba EQUIPAMENTO: P37

Uma vez preenchido o cabeçalho, deve-se preencher o modelo conforme o que se segue.

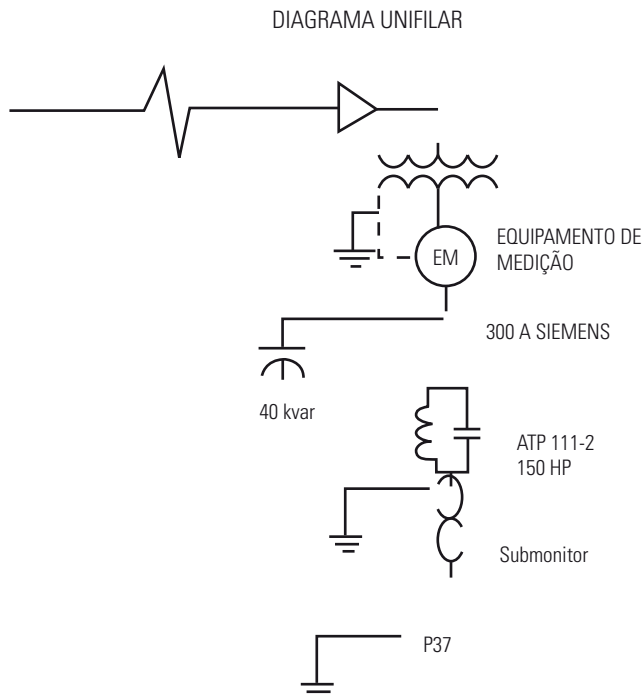
PASSO 1. LEVANTAMENTO DE DADOS.

Preencher os seguintes itens com unidades do Sistema Internacional.

1.1 SISTEMA ELÉTRICO

Os dados abaixo deverão ser preenchidos:

DIAGRAMA UNIFILAR: É sumamente importante esquematizar o diagrama das conexões do equipamento, terminal de ligação, cabeamento, transformador, disjuntor principal, se tem ou não chave de partida.



FORNECIMENTO ELÉTRICO: Refere-se ao fornecedor do serviço elétrico e os dados correspondentes ao contrato com essa companhia.

FORNECIMENTO ELÉTRICO	
Fornecedor:	CFE
Nº de serviço:	632001006521
Tarifa contratada:	06

Fornecedor: Nome da empresa que fornece o serviço elétrico.

Nº de serviço: O número de contrato do recibo ou nota fiscal de eletricidade para este equipamento.

Tarifa contratada: A senha ou nome do esquema tarifário onde está esse contrato.

TRANSFORMADOR:

TRANSFORMADOR		
Tipo:	OA COSTA	
Capacidade:	112,5	kva
Rel. de transf.:	13200/440/254	V

Tipo: O tipo de transformador que abastece o equipamento; no caso de fornecimento direto, colocar a legenda FORNECIMENTO DIRETO.

Capacidade: A capacidade do transformador ou transformadores; se o fornecimento for por meio de mais de um transformador, colocar a capacidade de kva de cada um deles.

Rel. de transf.: Deve-se anotar a tensão de entrada e saída do transformador ou a taxa de tensão de transformação, em volts separados por uma barra oblíqua. Para o caso em que o transformador tenha mais de uma tensão de saída, deve-se escrever a tensão real com a qual estiver trabalhando nesse momento.

DISJUNTOR PRINCIPAL: As informações do disjuntor principal do equipamento, isto é, o disjuntor aonde chega a energia proveniente do transformador ou a alimentação do equipamento.

DISJUNTOR PRINCIPAL	
Marca:	SIEMENS
Capacidade:	125
Ajuste:	RÁPIDO

Marca: A marca do disjuntor ou fabricante.

Capacidade: A capacidade nominal do disjuntor em amperes (A).

Ajuste: Se o disjuntor for do tipo ajustável, deve-se descrever a capacidade nominal sob a qual o disjuntor está ajustado, em amperes (A)

CHAVE DE PARTIDA: Se o equipamento de bombeamento tiver chave de partida, devem-se detalhar as informações seguintes.

CHAVE DE PARTIDA		
Tipo:	ATP111-12	
Capacidade:	60	HP

Tipo: Tipo de chave de partida.
Capacidade: Capacidade da chave de partida em HP. Deve-se indicar se é direta, D-Y, PS, VDF.

PROTEÇÃO: São as informações da proteção contra sobrecarga do motor que está na chave de partida.

PROTEÇÃO		
Marca:	SUB MONITOR	
Capacidade:		
Ajuste:		

Marca: Fabricante ou marca do elemento térmico de proteção do motor.
Capacidade: Colocar a faixa de calibração do elemento térmico em amperes (A).
Ajuste: O ponto em que o elemento térmico está calibrado.

CAPACITORES: Se o equipamento possuir um banco de capacitores, anotar a capacidade total do banco em kvar.

CAPACITORES		
Capacidade:	40	kvar

SISTEMA DE ATERRAMENTO: Deve-se cruzar o quadro correspondente, conforme a pergunta, e colocar a bitola do cabo com o qual o elemento descrito está aterrado.

SISTEMA DE ATERRAMENTO			
Existem sistemas de aterramento?	SIM	NÃO	
O neutro e o terra estão separados?	SIM	NÃO	
O transformador está aterrado?	SIM	NÃO	Bitola: 8
A chave de partida está aterrada?	SIM	NÃO	Bitola: 8
O motor está aterrado?	SIM	NÃO	Bitola: —

CONDUTORES: As informações requeridas na tabela abaixo fazem referência à bitola e comprimento dos condutores em dois trechos: o primeiro que vai do ponto de abastecimento do serviço (seja um transformador ou uma instalação de entrada) até a chave de partida ou o disjuntor do motor; o segundo trecho, que vai da chave de partida até o motor. Em ambos os casos, o seguinte deve ser descrito:

CONDUTORES		
Transformador-chave de partida		
Bitola:	1HXF-4/0 AWG	
Comprimento:	18	m
Agrupamento:	C-3H+N-8	
Chave de partida-motor		
Bitola:	1XHF-4/0 AWG	
Comprimento:	152,50	m
Agrupamento:	C-3H+N-8	

Bitola: É a bitola do condutor, seja em mm² ou em AWG, que pode ser obtida no revestimento do condutor.

Comprimento: O comprimento total dos condutores no trecho descrito.

Agrupamento: É a descrição de como esses condutores são agrupados e o meio de canalização utilizado.

OBSERVAÇÕES: Neste quadro deverão ser descritas quaisquer situações específicas presentes no sistema elétrico do equipamento e que possam ajudar a compreender melhor esse sistema.

OBSERVAÇÕES:	A chave de partida é aterrada pela estrutura da tubulação do poste à chave de partida e o motor
---------------------	---

1.2 DADOS NOMINAIS DO MOTOR.

Deve-se obter a informação dos dados nominais do motor e do relatório de manutenção do equipamento sob exame.

DADOS DE PLACA OU NOMINAIS: Essas informações são descritas na placa do motor ou, em caso de defeito, se a placa estiver ilegível, deve-se procurar a ordem de compra ou o documento onde as características do motor do equipamento sob exame forem descritas.

DADOS DE PLACA OU NOMINAIS:							
Marca:	Saers	Tensão:	440	V	Tipo:	Submersível	
Capacidade:	40	HP	Corrente:	53	A	Quadro:	-
Velocidade:	3600	RPM	Eficiência:	84,0%	F.S.:	1,15	

Marca: Marca ou fabricante do motor.

Capacidade: A capacidade nominal do motor em HP.

Velocidade: Velocidade de rotação do motor em R.P.M.

Tensão: A tensão nominal do motor em volts (V).

Corrente: A corrente nominal do motor (A).

Eficiência: A eficiência segundo o fabricante ou a do motor novo em %.

Tipo: Tipo de motor.

Quadro: É o tipo de armação ou número de armação que o motor tem.

F.S: É o fator de serviço que também é lido na placa. Quando o F.S. não for indicado na placa, deve ter o valor de 1, e indica a porcentagem de sobrecarga de trabalho do motor; um fator maior que 1 indica que o motor suporta essa sobrecarga.

HISTÓRICO: É o histórico de manutenção do motor; os dados de interesse para a auditoria energética para o equipamento são os seguintes:

HISTÓRICO:			
Idade:	0,5 anos	Operação:	8.736 horas/ano
		Nº de re-enrolamentos:	0

Idade: A idade ou o tempo em anos que o motor trabalhou desde sua primeira instalação.

Operação: A média de horas de trabalho do motor em um ano, em horas/ano.

Nº de re-enrolamentos: O número de re-enrolamentos que foram realizados ao motor na vida de serviço.

OBSERVAÇÕES: Qualquer situação em particular sobre este motor deve ser descrita, seja em sua manutenção, troca de peças ou de operação.

OBSERVAÇÕES:	Motor submersível controlado por uma chave de partida a tensão reduzida, Modelo ATP112-2 DE 150 hp. Falta que os dados de placa do motor instalado sejam visíveis na tampa da chave de partida
---------------------	--

1.3 DADOS NOMINAIS DA BOMBA

Neste item, os dados nominais ou de projeto da bomba deverão ser descritos. Para isso será necessário, caso não haja dados no campo ou que sejam ilegíveis, contar com os documentos do equipamento no momento da compra. Os dados requeridos são os seguintes:

CORPO: Os dados referentes ao corpo da bomba são os seguintes:

CORPO	
Marca:	Grundfoss
Tipo:	Submersível
Modelo:	0
Idade:	anos

Marca: Marca ou fabricante da bomba.

Tipo: Tipo de bomba, submersível, turbina vertical, horizontal, centrífuga, etc.

Modelo: O modelo de bomba segundo o fabricante.

Idade: A idade ou tempo durante o qual o equipamento esteve em operação, desde sua instalação, em anos.

IMPULSOR: São os dados correspondentes ao impulsor da bomba, e os seguintes dados devem ser obtidos:

IMPULSOR	
Tipo:	Fechado
Material:	A Inox.
Diâmetro:	m
Idade:	anos

Tipo: O tipo de impulsor da bomba.

Material: O material de fabricação do impulsor.

Diâmetro: Diâmetro nominal do impulsor em metros.

Idade: A idade do impulsor ou tempo durante o qual o impulsor esteve operando, em anos. Cabe apontar que o impulsor poderia ter uma idade diferente da idade da bomba, se esse elemento foi trocado durante a vida da bomba.

DATA: Os dados da data do eixo de transmissão entre o motor e a bomba.

DATA: **Diâmetro:** _____ pol. **Comprimento:** _____ m

Diâmetro: O diâmetro do eixo em polegadas (pol).

Comprimento: O comprimento do eixo em metros (m).

DADOS DE PROJETO: São as características hidráulicas de projeto do equipamento de bombeamento e que, segundo o modelo do fabricante, são descritas no ponto de operação ótimo da bomba da curva característica, com os dados seguintes.

DADOS DE PROJETO: **Carga:** 150 m.c.a. **Fluxo:** 10 l/s

Carga: A carga de projeto em metros de coluna de água (m.c.a.)

Fluxo: O fluxo de projeto em litros por segundo (l/s).

OBSERVAÇÕES: Qualquer situação particular da bomba deve ser descrita, seja na manutenção, troca de peças ou troca de operação.

OBSERVAÇÕES:	Bomba lubrificação por óleo. Descarga à rede interconectada
---------------------	---

1.4 CARACTERÍSTICAS DO FLUIDO

Fluido:	Água	Temp.:	22 °C	Peso Específico:	1.000 kg/m³
Observações					

Neste item somente se colocarão as características principais do fluido a bombear, que vão depender de se tratar de água potável ou água tratada. Os dados a serem obtidos são os seguintes:

Fluido: Descrição do fluido: água potável, água tratada, ou outro.

Temp.: Temperatura de trabalho ou temperatura média em que se encontra o fluido em °C.

Peso específico: O peso específico do fluido a ser bombeado, em kg/m³.

Observações: Descrever quaisquer condições particulares do fluido que está sendo bombeado.

Com a obtenção desses dados, acaba o primeiro passo da auditoria energética.

PASSO 2: MEDIÇÕES EM CAMPO

O segundo passo desta metodologia é a coleta de dados de campo por meio da medição de parâmetros hidráulicos, elétricos e de temperatura. A seguir são descritas as medições que deverão ser realizadas em cada um dos itens apontados.

2.1 MEDIÇÕES HIDRÁULICAS

As medições de parâmetros hidráulicos se referem à obtenção de pressões, vazões e níveis, conforme o que se segue.

NÍVEIS: A medição dos níveis de trabalho do equipamento de bombeamento é sumamente importante para uma correta interpretação de resultados de eficiência. Neste caso, deverão ser obtidos os seguintes níveis de trabalho:

NÍVEIS					
Nível do tanque de sucção (A):	137	m	Comprimento tubo de sucção:	142,50	m
Distância de descarga do manômetro(C):	4	m	Altura do manômetro de descarga (D):	0	m

Nível do tanque de sucção (A): É a distância que existe entre o nível da água e um ponto de referência em metros (m); segundo o tipo de sistema, essa medição será feita conforme o que se segue:

- **Em poços profundos:** Distância entre o nível dinâmico e o cabeçote do poço por onde a sonda é introduzida (ver a figura 1).
- **Em reservatórios de bombeamento:** Distância entre o nível da água e o suporte da bomba (ver a figura 2).
- **Em rebombeamentos diretos de rede:** Neste caso, o nível do tanque de sucção é substituído pelo nível do manômetro de sucção, e se mede a distância entre o nível de referência (Nr) e o centro do manômetro de sucção. O nível de referência pode ser o nível do piso, ou

o nível do centro da tubulação de sucção, desde que esse mesmo nível de referência seja respeitado para todas as medições no rebombeamento (ver a figura 3).

Comprimento do tubo de sucção (B): É o comprimento da tubulação medido do ponto de sucção ao nível do cabeçote de descarga em metros (m). Segundo o tipo de sistema de bombeamento, essa distância poderá ser medida conforme o que se segue:

- **Em poços profundos:** Se a bomba for submersível, será a distância entre a bomba e o coto-velo de saída no cabeçote do poço; se a bomba for do tipo turbina, será a distância entre os impulsos e a saída no cabeçote do poço (ver a figura 1).
- **Em reservatórios de bombeamento:** Será a distância ou comprimento da tubulação que está dentro do reservatório, até o nível da laje ou do piso (ver a figura 2).
- **Em rebombeamentos diretos de rede:** Nesse caso a distância B será zero.

Distância de descarga do manômetro (C): É a distância que existe entre o ponto de descarga da bomba até o ponto da localização do manômetro, em metros (m). Segundo o tipo de sistema de bombeamento, essa distância poderá ser medida conforme o seguinte:

- **Em poços profundos:** Se a bomba for submersível, será a distância entre a tubulação de saída e o manômetro, e entre o ponto do início da tubulação de descarga e o manômetro, se for uma bomba do tipo turbina (ver a figura 1).
- **Em reservatórios de bombeamento:** Distância entre o ponto de início da tubulação de descarga e o manômetro (ver a figura 2).
- **Em rebombeamentos diretos de rede:** Neste caso, a distância (C) será zero, já que para a avaliação das perdas será considerada a diferença de pressões de sucção e descarga.

Altura do manômetro de descarga (D): É a distância entre o nível do piso e o manômetro de descarga em metros (m), e que não varia segundo o tipo de sistema de bombeamento (ver as figuras correspondentes).

FIGURA 1 Medições hidráulicas para poços profundos

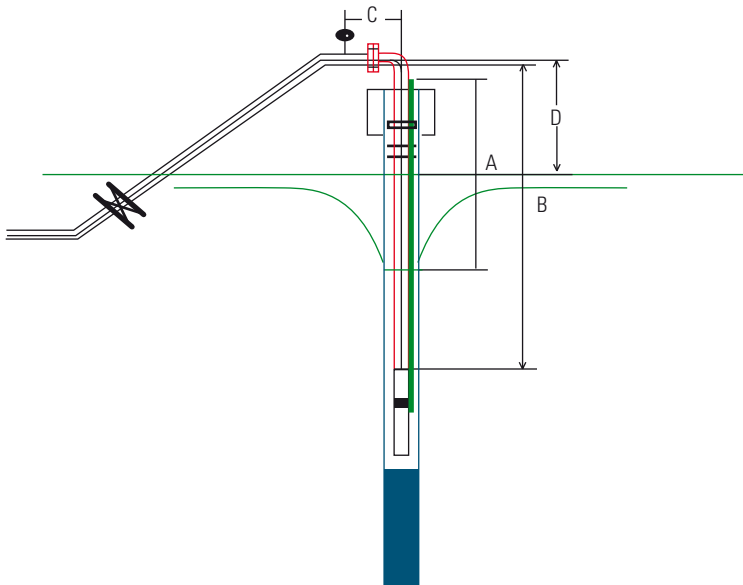


FIGURA 2 Medições hidráulicas para reservatórios de bombeamento

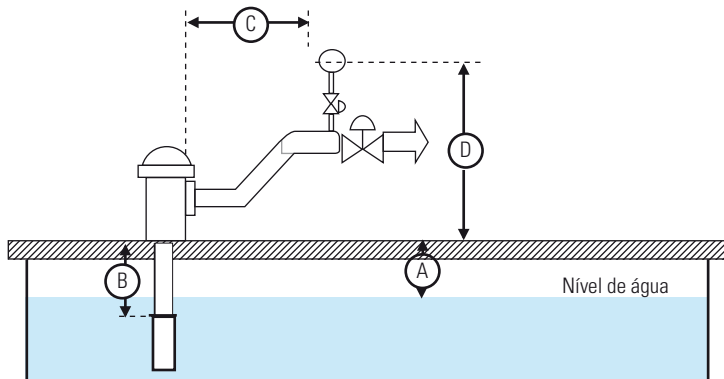
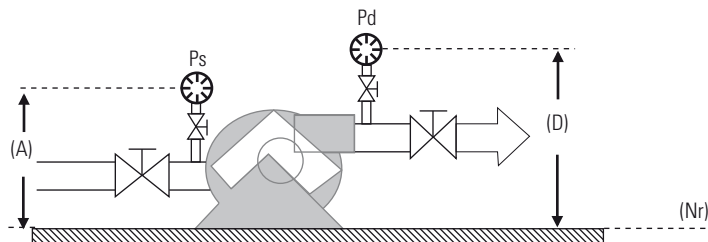


FIGURA 3 Medições hidráulicas para rebombeamentos diretos da rede



SUCÇÃO E DESCARGA: As características hidráulicas da sucção e a descarga devem ser medidas conforme tabela e dados abaixo:

	Diâmetro (m)	Material	Pressão (kg/cm ²)	Fluxo (l/s)	Velocidade (m/s)
Sucção	0,2032	A.C.- C40	0,62	9,2	0,2837
Descarga	0,1016	A.C.- C40	0,59	9,2	1,1348

Diâmetro: É o diâmetro da tubulação conforme correspondência em metros (m).

Material: Deve colocar-se o tipo de material da tubulação de sucção e de descarga para se obter, assim, o coeficiente de atrito correspondente.

Pressão: Deverão ser colocados manômetros ou, se o sistema já tiver um manômetro instalado, indicar a pressão de sucção e descarga que ele marcar em kg/cm². Se não houver manômetro na tubulação de sucção e não for possível medir a pressão nesse ponto, este espaço deverá ficar em branco.

Fluxo: é preciso medir a vazão na tubulação de sucção, bem como na descarga, em litros por segundo (l/s); quando a vazão só puder ser medida na tubulação de descarga, o valor será o mesmo que na tubulação de sucção.

Velocidade: É a velocidade do fluido na tubulação de sucção, bem como na de descarga, em m/s. Se o medidor de vazão utilizado possuir esse dado, ele poderá ser colocado no espaço correspondente, caso contrário, deverá ser calculado baseando-se no diâmetro e na vazão (fluxo) obtidos. O modelo já tem inserida a fórmula de cálculo de velocidade correspondente.

TOPOGRAFIA: Devem-se obter os dados topográficos das elevações dos pontos do local onde estiver instalado o equipamento de bombeamento e também do ponto de entrega para, depois, poder calcular o desnível em (m) que a bomba deverá liberar para a entrega do fluido.

TOPOGRAFIA **Altura no local do equipamento:** 2345 m.s.n.m **Altura do local mais alto de entrega:** 2346 m.s.n.m

Altura do local do equipamento: É a altura onde se localiza o equipamento de bombeamento, expressa em metros acima do nível médio do mar.

Altura do local mais alto de entrega: É a altura do ponto mais alto de entrega, que pode ser anotada da forma seguinte:

- **Se entregar a um tanque,** será o ponto onde estiver a tubulação de descarga desse tanque.
- **Se a entrega for à rede de distribuição,** deve-se colocar o ponto mais alto ou com maior elevação dentro da área de influência da rede de distribuição.

OBSERVAÇÕES: Devem-se anotar as condições sob as quais as medições foram feitas ou as particularidades do sistema hidráulico correspondente.

OBSERVAÇÕES:	Sonda pneumática, referência fluxo 9,2 l/s instalado
---------------------	--

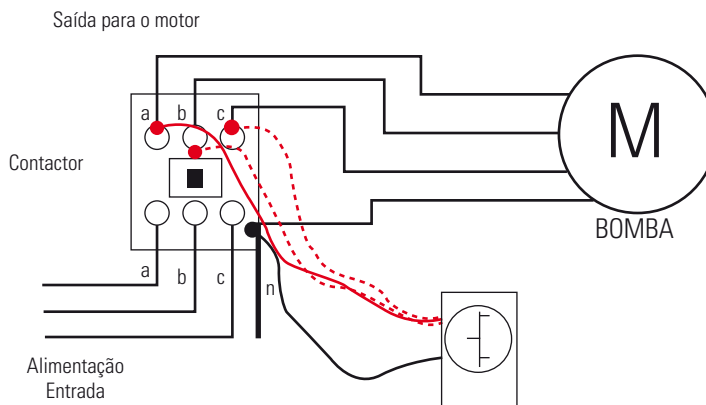
2.2 MEDIÇÕES ELÉTRICAS

As medições elétricas são fundamentais para a análise do balanço e auditoria energética. É de suma importância que os parâmetros elétricos sejam medidos conforme o que se segue.

TENSÃO POR FASE: É a tensão de abastecimento do motor, que deverá ser medida por meio de um voltímetro, tomando-se as leituras em cada uma das fases ao terra ou, na falta deste, ao neutro, nos cabos de saída do disjuntor ou contactor que abasteça diretamente o motor (ver figura de referência).

TENSÃO POR FASE **Van:** 265,59 **Vbn:** 267,32 **Van:** 267,9

FIGURA 4 Medição da tensão por fase



Van: É a tensão medida da fase “a” ao neutro ou terra em volts (V).

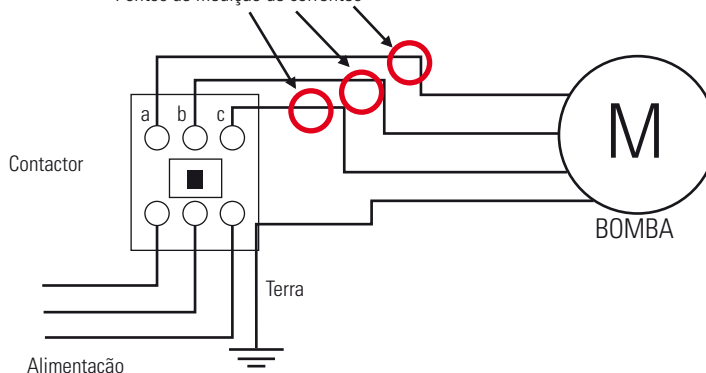
Vbn: É a tensão medida da fase “b” ao neutro ou terra em volts (V).

Vcn: É a tensão medida da fase “c” ao neutro ou terra em volts (V).

Obs.: Caso haja um analisador de redes elétricas com o qual se obtenham as voltagens entre fases (ab, ac, bc), deve-se dividir o valor obtido por 1,732, e então anotar a tensão da fase correspondente de forma particular.

CORRENTE POR FASE: É a medição da corrente elétrica em cada um dos condutores que alimentam o motor, isto é, em cada uma das fases, e deve ser realizada por meio de um amperímetro colocando-se os anéis de medição em cada um dos condutores (ver a figura 5).

FIGURA 5 Medição da tensão por fase
Pontos de medição de correntes



Ia: Corrente elétrica que passa pela fase “a” em amperes (A).

Ib: Corrente elétrica que passa pela fase “b” em amperes (A).

Ic: Corrente elétrica que passa pela fase “c” em amperes (A).

Cabe salientar que, além do esquema apresentado, existem partidas diretas, D-Y, PS, VDF, que não estão consideradas aqui.

POTÊNCIA ATIVA: A potência ativa é a potência que está sendo fornecida ao motor, em watts (W), e se mede por meio de um wattímetro, tomando-se as medições sempre entre cada fase e o terra ou neutro.

POTÊNCIA ATIVA **Pa:** 7,4 **Pb:** 8,9 **Pc:** 8,3

Pa: Potência ativa na fase “a” em watts (W).

Pb: Potência ativa na fase “b” em watts (W).

Pc: Potência ativa na fase “c” em watts (W).

FATOR DE POTÊNCIA: Medir o fator de potência em cada uma das fases.

FATOR DE POTÊNCIA **Fpa:** 0,77 **Fpb:** 0,78 **Fpc:** 0,77

Fpa: Fator de potência medido na fase “a” em decimais.

Fpb: Fator de potência medido na fase “b” em decimais.

Fpc: Fator de potência medido na fase “c” em decimais.

DISTORÇÃO HARMÔNICA: Só se pode medir este parâmetro se houver um analisador de harmônicos, portanto, se não possuir esse aparelho, a medição não será necessária.

DISTORÇÃO HARMÔNICA **THD-V** 2,3 **THD-I** 3,1

THD-V: É o fator de distorção obtido com o analisador, referente às variações e oscilação da tensão.

THD-I: É o fator de distorção obtido com o analisador, referente às variações e oscilação da corrente.

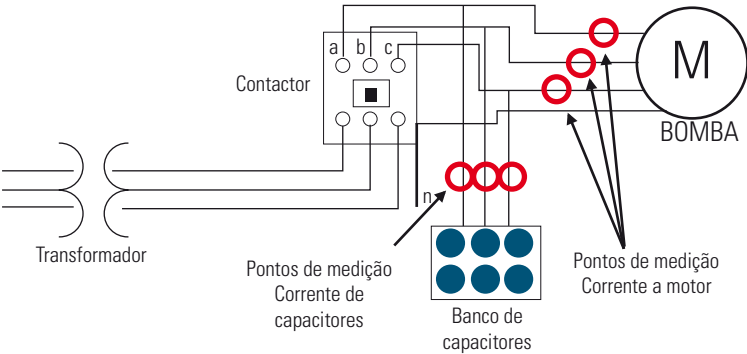
PONTO DE MEDIÇÃO: Deve-se anotar como referência o ponto da instalação elétrica onde as medições dos parâmetros elétricos mencionados foram realizadas.

Ponto de medição: Na entrada do disjuntor principal

CORRENTE DO CAPACITOR. Se houver um banco de capacitores, a corrente deverá ser medida em cada um dos condutores desse banco, segundo a figura 6. Deve-se, também, ter cuidado com o ponto de medição da corrente para o motor (na figura são ilustrados os pontos onde as correntes correspondentes deverão ser medidas).

CORRENTE DO CAPACITOR **Ia:** _____ 28 **Ib:** _____ 31 **Ic:** _____ 29

FIGURA 6 Medição da corrente do capacitor



Ia: Corrente elétrica que passa pela fase “a” do banco de capacitores em amperes (A).

Ib: Corrente elétrica que passa pela fase “b” do banco de capacitores em amperes (A).

Ic: Corrente elétrica que passa pela fase “c” do banco de capacitores em amperes (A).

SISTEMA DE ATERRAMENTO: É conveniente também conferir a rede de aterramento por meio da medição dos parâmetros seguintes. Para a medição destes parâmetros, é necessário um medidor de aterramento.

SISTEMA DE ATERRAMENTO **Continuidade:** ☐ SIM ☐ NÃO **Corrente:** _____ A **Resistência:** _____ Ω

Continuidade: Conferir que o fio terra não esteja quebrado em algum ponto. Colocar um X no quadrado correspondente.

Corrente: A corrente medida no fio terra em amperes (A) com o medidor de aterramento.

Resistência: A leitura obtida da resistência da rede de aterramento em ohms (Ω), com o medidor de aterramento.

OBSERVAÇÕES: Devem-se anotar os incidentes acontecidos durante o processo de medição dos parâmetros elétricos, bem como as causas que possam ter impedido a realização de alguma das medições apontadas.

2.3 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

As medições de temperatura são importantes, já que podem fornecer informações adicionais sobre o comportamento, operação e ações de manutenção que deverão ser realizadas no sistema elétrico do equipamento de bombeamento.

Deverão ser realizadas medições de temperatura nos elementos seguintes:

NO EQUIPAMENTO DE CONTROLE: As medições de temperatura no equipamento de controle são realizadas para identificar uma possível sobrecarga de corrente nos condutores, ou uma falta de ajuste nos parafusos ou elementos de fixação dos terminais dos condutores. Para isso, deve-se fazer a medição de temperatura nos seguintes elementos do equipamento de controle:

No equipamento de controle	Entrada do disjuntor			Saída do disjuntor			Entrada da chave de partida			Saída da chave de partida		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	39	41	39	37	37	37	33	34	34	37	38	38

Entrada do disjuntor: Fazer a medição de temperatura nos terminais dos condutores que vêm do transformador para o disjuntor principal em cada uma das fases (A, B e C).

Saída do disjuntor: Medir a temperatura nos terminais de saída do disjuntor principal para o motor em cada uma de suas fases (A, B e C).

Entrada da chave de partida: Medir a temperatura dos terminais nos condutores de entrada da chave de partida em cada uma das suas fases (A, B e C).

Saída da chave de partida: Medir a temperatura dos terminais dos condutores de saída da chave de partida que vão para o motor, em cada uma das suas fases (A, B e C).

NO MOTOR: A medição de temperatura no motor pode identificar falta de manutenção no motor, uma sobrecarga nele ou atrito ou instabilidade dos eixos.

Para o motor, as medições de temperatura deverão ser tomadas nos elementos seguintes:

MOTOR		
Carcaça	Rolamentos	
	Sup.	Inf.
N/A	N/A	N/A

Carcaça: Medir a temperatura na carcaça do motor.

Rolamentos: A temperatura deve ser medida nos rolamentos ou elementos de rotação do motor, isto é, no começo e no final do eixo. (superior/inferior).

NO TRANSFORMADOR: Da mesma forma que no equipamento de controle, as medições de temperatura são realizadas para se identificar possível sobrecarga de corrente nos condutores, ou uma falta de ajuste dos parafusos ou elementos de fixação dos terminais dos condutores no transformador, bem como a falta de manutenção do transformador. Para isso, deve-se tomar a medição de temperatura nos seguintes elementos do transformador.

TRANSFORMADOR										
Bornes alimentador			Bornes de baixa tensão				Carcaça		Radiador	
X ₁	X ₂	X ₃	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
N/A	N/A	N/A	31	28	27	36	26	23	23	19

Bornes do alimentador: Medir a temperatura nos terminais ou bornes do alimentador do terminal principal de ligação do serviço de energia elétrica que se conecta com o transformador, isto é, no lado da alta tensão em cada uma de suas fases (X₁, X₂ e X₃).

Bornes de baixa tensão: Medir a temperatura nos terminais de saída do transformador, isto é, nos terminais de baixa tensão, tanto no terminal do condutor neutro (X₀) como em cada uma das fases (X₁, X₂ e X₃).

Carcaça: Medir a temperatura da carcaça do transformador na parte superior e na parte inferior. Essa medição ajuda a identificar a temperatura de trabalho do transformador e estabelecer uma possível sobrecarga.

Radiador: Medir a temperatura no radiador do transformador, desde que o tipo de transformador tenha esse elemento; as medições deverão ser realizadas na parte superior, bem como na inferior, do radiador. Essa medição identifica de forma indireta o diferencial de temperatura do óleo do transformador.

OBSERVAÇÕES: As incidências ocorridas ao realizar as medições de temperatura dos equipamentos deverão ser registradas.

Observações:	Medir as temperaturas dos equipamentos.
---------------------	---

PASSO 3: AVALIAÇÃO E PROCESSO DE INFORMAÇÃO

O passo seguinte é realizar a avaliação e análise das informações obtidas e das medições realizadas. Essa avaliação visa identificar as perdas energéticas e a eficiência dos diferentes componentes do sistema de bombeamento.

A avaliação deve ser realizada conforme o que se segue.

3.1 AVALIAÇÃO DOS CONDUTORES ELÉTRICOS

As perdas nos condutores elétricos devem ser analisadas, pois neles se apresentarão perdas pelo efeito Joule, que são função da resistência do condutor e do quadrado da corrente elétrica que por ele circula.

Para identificar essas perdas, a folha de cálculo desta metodologia o faz de forma automática, com o fornecimento de alguns dados adicionais requeridos, conforme o que se segue.

	Trecho	Bitola	Comprimento	Resistência		Corrente	Oper.	Perdas	
			m	Ω/km	Ω			kW	kWh/ano
Condição atual	Transf-chave de partida	40 AVG	18	0,1640	0,002952	39,3	8736	0,014	120
	Arrancador-motor	40 AVG	152,5	0,1640	0,02501	39,3	8736	0,116	1,014

INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS.

BITOLA: É a bitola dos condutores elétricos no trecho correspondente; é preciso registrá-la conforme o visto no item 1.1. Sistema elétrico.

RESISTÊNCIA (Ω/km): É a resistência do condutor por quilômetro e depende da bitola e material do condutor. O valor que deve ser registrado é obtido da tabela do fabricante. A seguir, mostra-se uma tabela com os valores de resistência de condutores de cobre para algumas bitolas comuns.

Bitola AWG	Resistência Ohms/km
1/0	0,3290
2/0	0,2610
3/0	0,2070
4/0	0,1640
250	0,1390
300	0,1157
350	0,0991
400	0,0867
500	0,0695
600	0,0578

INFORMAÇÕES CALCULADAS PELA FOLHA DE CÁLCULO

Uma vez digitadas essas informações, a folha de cálculo identifica de forma automática os valores seguintes para cada trecho correspondente.

COMPRIMENTO (m): É o comprimento dos condutores elétricos no trecho correspondente, que a folha de cálculo obtém automaticamente das informações do item 1.1.

RESISTÊNCIA (Ω): É a resistência total do condutor no trecho, que se obtém multiplicando-se a resistência por quilômetro pelo comprimento dos condutores. É identificada de forma automática pela folha de cálculo.

CORRENTE (A): É a média da corrente medida nas três fases, conforme o anotado no item 2.2, calculada de forma automática.

OPER. (h/ano): É o tempo de operação. É obtido pela folha de cálculo conforme o anotado no item 1.2.

PERDAS: A folha de cálculo identifica de forma automática as perdas por trecho geradas pelos condutores elétricos, primeiro em kW (resistência pelo quadrado da corrente) e, depois, multiplicando-as pelo tempo de operação anual, para obter assim as perdas em kWh/ano.

3.2 AVALIAÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

A avaliação do motor elétrico, no caso desta metodologia, refere-se principalmente à identificação da eficiência real desse motor, pois a eficiência de um motor elétrico é a medida de sua capacidade de transformar a potência elétrica que recebe da linha em potência mecânica útil. É usualmente expressa em percentagem da relação entre a potência mecânica e a potência elétrica. Para o cálculo dessa eficiência existem vários métodos.

O método proposto se baseia na fórmula do fator de carga e consiste, primeiramente, na identificação dos padrões de desbalanceamento de parâmetros elétricos e, sobretudo, na tensão (por questões técnicas, melhor seria se o desbalanceamento fosse equivalente a 0); depois, calculam-se as perdas de eficiência no motor devido à sua idade, a terem sido re-enrolados ou sofrido manutenção e ao fator de carga, conforme se segue:

	Média	Desbalanceamento	Qualificação	V/vn
TENSÃO (V)	461,35	0,51%	mínimo	4,9%
CORRENTE (A)	39,33	9,92%	alto	
POTÊNCIA (kW)	24,48	9,76%	alto	
FAT. POT.	77,9%	0,86	mínimo	

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA	
F. carga	69,37%
η nominal	84,61%
Redução	0,07%
η real	84,54%

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DO MOTOR									
HP	Efic'	FC	Efic. nom	Efic. 75%	Efic. 100%	FA ant	FA reb	FA vv	FA dv
40	0,8454	0,6936564	84,61%	84,5%	84,0%	0,00%	0,00%	-0,0006443	99,99%

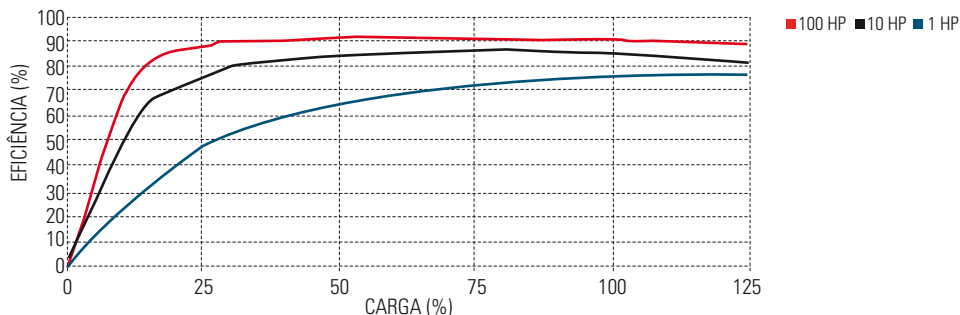
Neste caso, a folha de cálculo faz os cálculos correspondentes de forma automática, uma vez digitadas as informações nas tabelas seguintes.

INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS

TABELA DE AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DO MOTOR

Efic. 75 % e Efic. 100 %: Estas informações devem ser digitadas conforme a curva nominal de eficiência do motor, segundo o fabricante. A eficiência com 75 % de carga e com 100 % de carga deve ser digitada segundo essa curva. Na figura abaixo são apresentadas algumas curvas de eficiência padrão para os motores de 1, 10 e 100 HP.

FIGURA 7 Eficiência típica de motores padrão de indução tipo gaiola de esquilo de 1800 RPP



Efic.: A informação que deve ser digitada neste quadro é iterativa; no começo, deve-se digitar o valor da eficiência da placa. Cabe salientar que alguns motores não o trazem na placa. Uma vez digitado esse valor, a folha de cálculo gerará os valores correspondentes e calculará uma eficiência real do motor (η_{real}) no bloco AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA. Deve-se digitar então o valor de (η_{real}) nessa tabela, e uma nova (η_{real}) voltará a ser calculada. Deve-se colocar iterativamente o valor da eficiência real do motor (η_{real}) nessa tabela até que não exista diferença entre os valores (ver a figura 7).

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA			
F carga	69,37%		
η nominal	84,61%		
Redução	0,07%		
η real	84,54%	48	0,8454
			0,6936564

INFORMAÇÕES CALCULADAS PELA FOLHA DE CÁLCULO

Uma vez digitados esses valores, a folha de cálculo identificará os valores correspondentes nas tabelas seguintes:

CÁLCULO DE VALORES ELÉTRICOS				
	Média	Desbalanceamento	Qualificação	V/Vn
TENSÃO (V)	461,35	0,51%	mínimo	4,9%
CORRENTE (A)	39,33	9,92%	alto	
POTÊNCIA (kW)	24,48	9,76%	alto	
FAT. POT.	77,9%	0,86	mínimo	

TENSÃO (V): Calcula a média da tensão conforme o medido no item 2.2, o desbalanceamento de tensão entre a média calculada e a tensão medida em cada fase; coloca uma qualificação no desbalanceamento correspondente, segundo o desbalanceamento calculado entre fases, e, finalmente, calcula a razão entre a tensão média medida e a tensão nominal da placa do motor obtida no item 1.2.

CORRENTE (A): Calcula a média da corrente conforme as medidas no item 2.2, o desbalanceamento da corrente média e cada uma das medições de cada fase e, finalmente, coloca uma qualificação no desbalanceamento correspondente segundo o desbalanceamento calculado entre fases.

POTÊNCIA (kW): Calcula a média da potência ativa conforme as medições do item 2.2, o desbalanceamento da potência ativa média e cada uma das medições de cada fase e, finalmente, coloca uma qualificação no desbalanceamento correspondente, conforme o desbalanceamento calculado entre fases.

FAT. POT: Calcula a média do fator de potência conforme valores medidos no item 2.2, o desbalanceamento dos fatores da potência média e cada uma das medições de cada fase e, finalmente, coloca uma qualificação no desbalanceamento correspondente, segundo o desbalanceamento calculado entre fases.

TABELA DE AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DO MOTOR

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DO MOTOR									
HP	Efic'	F.C.	Efic. nom	Efic. 75%	Efic. 100%	FA ant	FA reb	FA vv	FA dv
40	0,8454	0,6936564	84,61%	84,5%	84,0%	0,00%	0,00%	-0,0006443	99,99%

H.P: É o valor da potência mecânica nominal do motor, obtida da placa do motor no item 1.2.

F.C: É o fator de carga da operação do motor, obtido com a fórmula seguinte: $F.C. = P_e / Efic' \times HP \times 0,746$, calculado automaticamente pela folha de cálculo.

Efic. nom: É a eficiência nominal do motor e a folha de cálculo a obtém fazendo uma interpolação entre as eficiências digitadas a 75 % e 100 % da curva nominal do motor.

FA ant.: É um fator de perda de eficiência nominal, conforme a idade do motor, e é calculado de forma automática, baseado nas informações de idade do item 1.2.

FA reb: É um fator de perda de eficiência nominal conforme o número de re-enrolamentos realizados no motor na manutenção, e se baseia nos re-enrolamentos obtidos no item 1.2.

FA vv: É também um fator de perda de eficiência do motor, que neste caso depende do desbalanceamento ou da razão entre a tensão real fornecida ao motor e a tensão nominal de placa (V/V_n) da tabela de cálculos elétricos.

FA dv: É um fator de perda de eficiência do motor relacionado neste caso com o desbalanceamento de tensão entre fases da tabela de cálculos elétricos.

TABELA DE AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA

Esta tabela apenas apresenta um resumo do calculado acima.

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA	
F. carga	69,37%
η nominal	84,61%
Redução	0,07%
η real	84,54%

F. Carga: É o fator de carga calculado acima, obtido da tabela correspondente.

η nominal: É a eficiência nominal do motor calculada acima e obtida da tabela correspondente.

Depreciação: É a perda de eficiência devida a manutenções, desbalanceamentos de tensão, trabalho em tensão diferente da nominal e idade, que já foi calculada anteriormente.

η **real**: É a eficiência real do motor, que se obtém calculando-se a eficiência nominal menos as perdas de eficiência correspondentes. Esse valor é o resultado esperado com a avaliação do motor elétrico.

3.3 AVALIAÇÃO DA BOMBA

Da mesma forma que a avaliação do motor, a avaliação da bomba consiste na identificação da sua eficiência. A eficiência global com a qual a bomba opera é calculada como o quociente entre a potência hidráulica de saída (Ph) entre a potência mecânica absorvida (Pm). Para calcular essa eficiência, deve-se obter a carga líquida de bombeamento, levando-se em consideração as perdas nas linhas de sucção e descarga e a potência manométrica.

A metodologia consiste em obter os parâmetros hidráulicos abaixo:

CARGA DE BOMBEAMENTO									
Perdas na linha de sucção:			0,06 m		Perdas na tubulação de descarga:			0,053 m	
Peso específico do fluido:			1000 kg/m³		Velocidade na tubulação de desc.			1,171 m/s	
Carga líquida de bombeamento:			143,19 m.c.a.		Desvio em relação ao projeto:			-4,8%	
FLUXO:									
Fluxo medido:			0,0092 m³/s		Desvio em relação ao projeto:			-8,0%	
POTÊNCIA MANOMÉTRICA									
De projeto:			14,748354 kW		Segundo medições:			12,92 kW	
					Desvio:			-12,38%	
EFICIÊNCIA:									
Eficiência eletromecânica:			52,78%		Eficiência da bomba:			62,43%	
Perdas na tubulação									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m³/s	m²	m/s	m²/s		mm			mca
Sucção	0,0092	0,0314	0,293	9,6E-07	6,117E+04	0,046	2,30E-04	0,0200	0,0599
Descarga	0,0092	0,0079	1,171	9,6E-07	1,223E+05	0,046	4,60-04	0,0190	0,0532

Neste caso, a folha de cálculo faz de forma automática os cálculos para a obtenção da eficiência da bomba, a partir da medição de parâmetros hidráulicos e elétricos obtidos nos itens 2.1 e 2.2, uma vez digitadas as informações nas células.

INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS

Neste caso, o cálculo de perda de carga nas tubulações de sucção e descarga é fundamental para a obtenção da carga líquida de bombeamento; por isso, somente as informações seguintes serão digitadas na tabela PERDAS NA TUBULAÇÃO.

Perdas na tubulação									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m³/s	m²	m/s	m²/s		mm			m.c.a.
Sucção	0,0092	0,0314	0,293	9,6E-07	6,117E+04	0,046	2,30E-04	0,0209	0,0649
Descarga	0,0092	0,0079	1,171	9,6E-07	1,223E+05	0,046	4,60-04	0,0197	0,0552

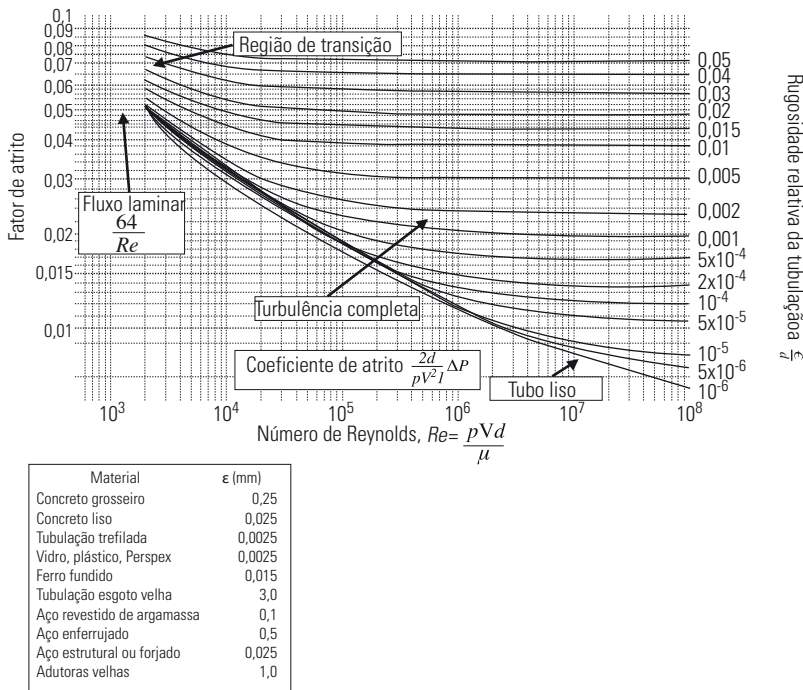
Rug. Abs (mm): É a rugosidade absoluta do material da tubulação sob exame e depende desse material. Esse valor é obtido com o quadro seguinte.

QUADRO 1
Rugosidade absoluta do material da tubulação

Material	Valores de e para diferentes tubulações (mm)
Aço rebitado	0,9–9
Concreto	0,3–3
Ferro fundido	0,25
Ferro galvanizado	0,15
Ferro fundido asfaltado	0,12
Aço comercial ou ferro forjado	0,046
Tubulação trefilada (PVC)	0,0015

fr: É o fator de atrito ou coeficiente de atrito, obtido do diagrama de Moody para cada uma das tubulações de sucção e descarga, digitando-se o valor da rugosidade relativa calculada nesse quadro e o valor do número de Reynolds, também calculado pela folha de cálculo nesse quadro. O valor obtido no diagrama deve ser digitado no quadro correspondente.

FIGURA 8 Diagrama de Moody



A fórmula acima é do tipo implícito, portanto, deve ser iterada. Alternativamente, a fórmula abaixo, que é explícita, pode ser aplicada (sem necessidade de iteração) e utiliza os mesmos parâmetros.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Fonte: Guerrero O. (1995). Equação Modificada de Colebrook-White. Revista Engenharia Hidráulica do México, Vol. X, pp. 43-48, janeiro-abril.

DADOS CALCULADOS PELA FOLHA DE CÁLCULO

Uma vez digitados esses valores, a folha de cálculo identificará os valores correspondentes nos quadros abaixo:

Perdas na tubulação									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m³/s	m²	m/s	m²/s		mm			m.c.a.
Sucção	0,0092	0,0314	0,293	9,6E-07	6,117E+04	0,046	2,30E-04	0,0209	0,0649
Descarga	0,0092	0,0079	1,171	9,6E-07	1,223E+05	0,046	4,60-04	0,0197	0,0552

Q (m³/s): É o fluxo de trabalho da bomba, obtido das medições do item 2.1.

A (m): É a área da tubulação correspondente, conforme o diâmetro do item 2.1.

V (m/s): É a velocidade do fluido calculada como fluxo entre áreas.

Visco (m²/s): É a viscosidade cinemática do fluido, calculada em função das características do fluido quanto a temperatura e peso específico, obtidas no item 4.1.

Reynolds: É o número de Reynolds, obtido pela multiplicação da velocidade do fluido pelo diâmetro e dividindo-se o resultado pela viscosidade cinemática do fluido.

Rug. rel: É a rugosidade relativa da tubulação, obtida dividindo-se a rugosidade absoluta pelo diâmetro da tubulação.

Hfr: São as perdas totais de carga por efeitos do atrito do fluido com as paredes da tubulação correspondente, sendo obtidas com a fórmula abaixo:

$$Hfr = fr \times \frac{\text{Comprimento tubulação}}{\text{diâmetro}} \times \frac{v^2}{2g}$$

TABELA DE CÁLCULOS PARA A EFICIÊNCIA DA BOMBA

CARGA DE BOMBEAMENTO			
Perdas na linha de sucção:	<u>0,06 m</u>	Perdas na tubulação de descarga:	<u>0,053 m</u>
Peso específico do fluido:	<u>1000 kg/m³</u>	Velocidade na tubulação de desc.	<u>1,171 m/s</u>
Carga líquida de bombeamento:	<u>143,19 m.c.a.</u>	Desvio com relação ao projeto:	<u>-4,8%</u>
FLUXO:			
Fluxo medido:	<u>0,0092 m³/s</u>	Desvio com relação ao projeto:	<u>-8,0%</u>
POTÊNCIA MANOMÉTRICA			
De projeto: <u>14,748354 kW</u>	Conforme medições: <u>12,92 kW</u>	Desvio:	<u>-12,38%</u>
EFICIÊNCIA:			
Eficiência eletromecânica:	<u>52,78%</u>	Eficiência da bomba:	<u>62,43%</u>

Uma vez calculadas as perdas de carga nas tubulações de sucção e descarga, são calculados automaticamente os valores abaixo.

CARGA DE BOMBEAMENTO: Identifica-se a carga líquida de bombeamento, levando-se em consideração os dados dos níveis medidos no item 2.1 e das perdas das tubulações de sucção e descarga calculadas no item acima. Identifica-se também o desvio dessa carga em relação à carga de projeto obtida no item 1.3.

FLUXO: Identifica-se o fluxo em m³/s e seu desvio em relação ao fluxo de projeto ou nominal da bomba obtido no item 1.3.

POTÊNCIA MANOMÉTRICA: Calcula-se a potência manométrica de projeto, potência real de trabalho e seu desvio, em kW, em função da carga e fluxos correspondentes.

EFICIÊNCIA: Por último, identifica-se a eficiência da bomba conforme o que se segue.

Eficiência eletromecânica: Calcula-se dividindo-se a potência manométrica, segundo medições calculadas anteriormente, pela potência elétrica calculada no item 3.2.

Eficiência da bomba: Essa eficiência é obtida dividindo-se a eficiência eletromecânica obtida pela eficiência real do motor obtida no item 3.2.

3.4 BALANÇO DE ENERGIA ATUAL

A finalidade do balanço de energia é identificar as instalações ou elementos do sistema de bombeamento onde estão os maiores consumos energéticos, e serve de base para o planejamento das medidas de economia correspondentes. O valor mais significativo que é obtido desse balanço é o TRABALHO ÚTIL, que indica a quantidade de energia que é realmente utilizada pelo sistema, sendo que todos os demais valores obtidos no balanço são perdas de energia.

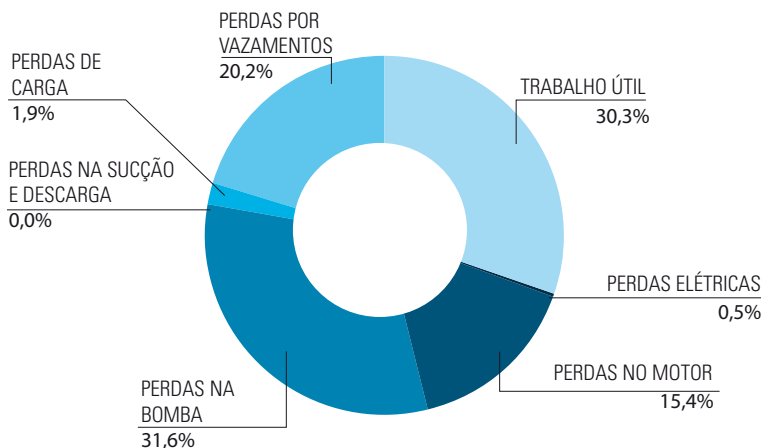
Para realizar este balanço na metodologia proposta, a folha de cálculo faz as operações correspondentes baseando-se nos resultados obtidos nos itens 3.1 a 3.3 e no resultado das medições dos itens 2.1 e 2.2, e obtém a separação dos consumos de energia em cada elemento do sistema conforme o que se segue:

QUADRO 2

Exemplo de desagregação de parâmetros para o cálculo do balanço de energia atual

Parâmetro	Unidades	Quantidade
Consumo total de energia	kWh/ano	215.025
Eficiência do motor	%	84,54%
Eficiência da bomba	%	62,43%
Perdas por vazamentos	%	40%
Carga útil	m.c.a.	138
Perdas elétricas	kWh/ano	1.134
Perdas no motor	kWh/ano	33.060
Perdas na bomba	kWh/ano	67.934
Perdas na sucção e descarga	kWh/ano	89
Perdas de carga	kWh/ano	4.092
Perdas por vazamentos	kWh/ano	43.486
Trabalho útil	kWh/ano	65.229

FIGURA 9 Exemplo de cálculo do balanço de energia atual



Para identificar o balanço de energia, bastará digitar a porcentagem de perdas por vazamentos, conforme a estimativa ou estudo prévio do balanço de água que tenha sido feito de todo o sistema de distribuição na rede hidráulica;isso depende do estado da rede de distribuição e pode variar de 20 % até 65 %.

Assim, os parâmetros do balanço de energia são calculados conforme o que se segue.

Consumo total: É a energia total consumida pelo sistema elétrico em um ano de operação calculada como a soma da média da potência ativa em todas as fases, mais as perdas de energia nos dutos do trecho do transformador ao disjuntor principal, calculada no item 3.1, multiplicada pelo tempo de operação. Assim é obtido o consumo total de energia em kWh.

Eficiência do motor: É a eficiência real do motor calculada no item 3.2 em %.

Eficiência da bomba: É a eficiência da bomba calculada no item 3.3 em %.

Perdas por vazamentos: Deve-se registrar a estimativa de perdas por vazamentos na rede de distribuição segundo exames prévios.

Carga útil: É a carga que a bomba deve ter por causa do desnível topográfico do sistema, mais a distância que existe entre a sucção e o cabeçote da bomba, expressa em metros de coluna de água m.c.a.

Perdas elétricas: São as perdas de energia por causa dos elementos elétricos, nesse caso, as devidas às perdas de energia nos dutos calculadas no item 3.1.

Perdas no motor: São as perdas de energia havidas no motor por sua eficiência real de trabalho, conforme o calculado no item 3.2.

Perdas na bomba: São as perdas de energia havidas na bomba por sua eficiência de trabalho, conforme o calculado no item 3.3.

Perdas na sucção e descarga: São as perdas de energia provocadas pelo atrito do fluido nas tubulações de sucção e descarga, conforme o calculado no item 3.3.

Perdas de carga: São as perdas totais de carga da bomba calculadas em relação à carga líquida da bomba e à carga útil correspondente (desnível).

Perdas por vazamentos: São as perdas de energia estimadas a partir do fluido perdido por vazamentos na rede de distribuição, calculadas em função do fator de vazamentos.

Trabalho útil: É o trabalho real expresso em unidades de energia que realmente o sistema de bombeamento requer. Isto é, a energia realmente utilizada para que o sistema de bombeamento cumpra o trabalho pedido.

3.5 COMENTÁRIOS E OPORTUNIDADES DE ECONOMIA

Neste item deverão ser descritos os comentários finais do balanço de energia e a análise dos resultados avaliados.

A seguir são fornecidas algumas recomendações que podem ser levadas em consideração para os comentários e para definir as oportunidades de economia.

Este é um exemplo do modelo e estilo de redação:

a) Existem várias anomalias no sistema de aterramento, portanto, recomenda-se uma avaliação completa da norma correspondente.
b) O fator de potência é baixo (77,9 %), portanto, recomenda-se instalar bancos de capacitores para reduzir as perdas em condutores elétricos pelo efeito Joule.
c) A temperatura no disjuntor, na fase B de entrada, é alta, portanto, recomenda-se ajustar os bornes de conexão.
d) Os desbalanceamentos de corrente e potência ativa no motor são altos, portanto, identifica-se que o motor está trabalhando de forma deficiente.
e) A eficiência da bomba é baixa (63 %) e o desvio de carga e fluxo em relação ao projeto sugere sua substituição por uma de maior eficiência, levando em consideração a curva de trabalho.

Análise em relação à avaliação do motor e parâmetros elétricos

A influência que um fator de potência baixo tem sobre o valor da corrente demandada no sistema provoca perdas, dentre as quais se destacam:

- a) Aumento das perdas pelo efeito Joule (RI^2), sendo elas evidenciadas:
 - Nos condutores entre o terminal de ligação e o(s) motor(es).
 - Nos enrolamentos dos transformadores de distribuição.
 - Nos dispositivos de operação e proteção.
- b) Um aumento da queda de tensão nos cabos alimentadores, que pode resultar em uma tensão menor de entrada aos motores e, com isso, perdas de eficiência.
- c) Incremento da potência aparente, com o que se reduz a capacidade de carga instalada. Isso é importante no caso dos transformadores de distribuição.

Essas perdas afetam o produtor e distribuidor de energia, portanto, o usuário é punido, fazendo com que pague mais por seu consumo de energia elétrica.

Uma das causas do baixo fator de potência são motores que trabalham com um fator baixo de carga, isto é, motores superdimensionados.

No quadro abaixo é apresentada uma relação das principais condições de operação ineficientes, que costumam apresentar-se com os motores elétricos, bem como o diagnóstico da origem dessa condição.

QUADRO 3
Ineficiência na operação dos motores elétricos

Condição observada	Diagnóstico
Tensão de alimentação abaixo da nominal.	A tensão no terminal de ligação está abaixo da nominal.
	A tensão no terminal de ligação apresenta variações maiores que 5 %.
	A tensão no terminal de ligação é a nominal e não apresenta variações significativas.
Desbalanceamento da tensão de alimentação do motor.	A tensão no ponto de ligação elétrica está desequilibrada.
	A tensão no terminal de ligação elétrica está balanceada e no secundário do transformador está desbalanceada.
	A tensão nos bornes do secundário do transformador está balanceada e na alimentação do motor está desbalanceada.
Desbalanceamento na corrente demandada pelo motor.	O desbalanceamento em corrente é inversamente proporcional ao desbalanceamento em tensão.
	O desbalanceamento é produzido por uma demanda desbalanceada pelas fases do motor.
A velocidade de operação do motor está abaixo da velocidade a plena carga.	Problemas nos rolamentos.
Alta temperatura e/ou alta vibração nos mancais e/ou rolamentos.	
O motor é de eficiência padrão e tem mais de 10 anos de operação.	A eficiência de operação do motor é baixa.
O motor foi reparado (re-enrolado) mais de duas vezes.	A eficiência do motor está diminuída.
O motor está trabalhando com um fator de carga menor que 45 %	O motor está trabalhando em uma zona onde sua eficiência de operação é baixa.
O motor está trabalhando com um fator de carga maior que 100 %	O motor está trabalhando em uma zona onde sua eficiência de operação é baixa.

Análise da avaliação da bomba

No equipamento de bombeamento é importante diagnosticar vários aspectos que podem ser a causa de um excessivo consumo energético e, ao mesmo tempo, a oportunidade para economizar energia de forma substancial.

Os valores identificados de eficiência tanto eletromecânica como da bomba devem ser comparados ao menos com os valores recomendados em algumas normas e padrões de eficiência energética, aplicáveis aos motores e equipamentos de bombeamento, para identificar os níveis potenciais de economia de energia. Isso servirá como uma boa base para considerar a substituição de equipamentos durante a integração posterior da carteira de projetos de economia de energia.

Algumas normas estabelecem os seguintes valores mínimos de eficiência eletromecânica.

QUADRO 4
Valores mínimos de eficiência eletromecânica

Intervalos de potências		Eficiência eletromecânica (%)
kW	HP	
5,6–14,9	7,5–20	52
15,7–37,3	21–50	56
38,0–93,3	51–125	60
94,0–261	126–350	64

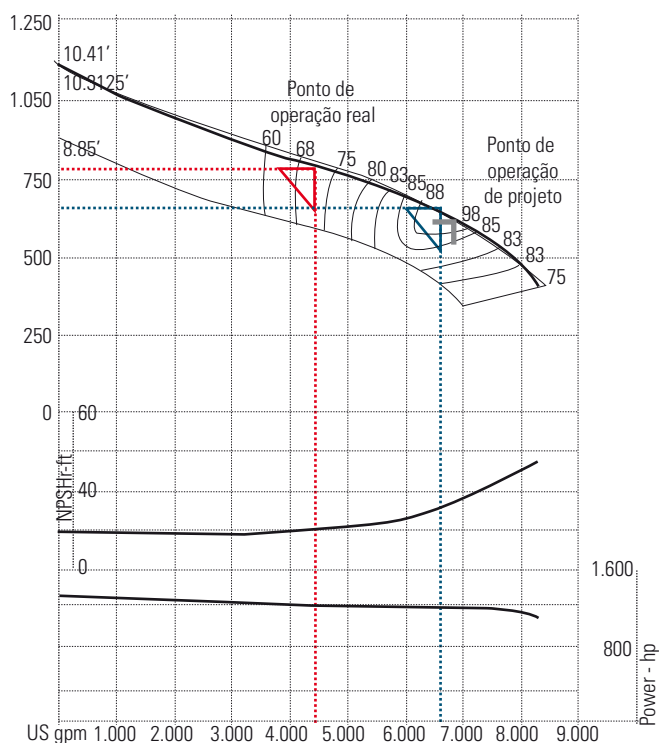
Por outro lado, é muito frequente constatar que os sistemas de bombeamento operam sob condições diferentes daquelas para as quais foram projetados. Segundo o projeto, todos os equipamentos têm um ponto ótimo de operação carga–vazão, onde todas as perdas são minimizadas. Fora desse ponto, apresentam-se problemas como os seguintes:

- Baixo rendimento energético;
- Redução do tempo de vida dos componentes, particularmente dos impulsores e anéis de desgaste;
- Cavitação por vazão baixa na sucção.

O efeito na redução da eficiência do sistema de bombeamento é ilustrado na figura 10, onde se pode observar que uma variação significativa nas condições de operação carga–vazão pode significar variações de até 20 % na eficiência do equipamento.

Essa condição pode ser detectada de acordo com os resultados dos desvios da carga e fluxo em relação aos de projeto calculados no item 3.3.

FIGURA 10 Exemplo de redução da eficiência do sistema de bombeamento



O resultado do desvio indica a porcentagem de desvio que existe entre a linha verde e a linha vermelha; se a porcentagem for negativa, indicará que a bomba está operando à esquerda da linha verde e, se a porcentagem do desvio for positiva, significará que a bomba está operando à direita da linha verde.

Análise das temperaturas obtidas

Por outro lado, as temperaturas medidas no item 1.4 podem indicar falta de manutenção nas instalações elétricas, seja nos bornes dos terminais dos condutores ou no equipamento elétrico. Com a análise dessas temperaturas, deve-se propor uma campanha de ações de manutenção corretiva para solucionar o problema e evitar possíveis desperdícios de energia.

Em geral, esses são alguns dos aspectos recomendados que devem ser analisados para preencher o quadro dos COMENTÁRIOS E MEDIDAS DE ECONOMIA como resultado da avaliação energética do sistema de bombeamento.

PASSO 4. PROJETO DE ECONOMIA DE ENERGIA

O projeto de economia de energia consiste em desenvolver a carteira de projetos e recomendações a serem implantados, para que se abranjam todas as oportunidades possíveis de economia tanto em consumo energético como na simples redução do custo do faturamento energético, baseado na análise das informações obtidas durante a avaliação do sistema de bombeamento do Passo 3. Isso inclui as análises de eficiências, condições operacionais e de manutenção e demais áreas de oportunidade encontradas, com sua respectiva análise de custo-benefício.

Essa metodologia deve ser desenvolvida conforme o que se segue.

4.1 DESCRIÇÃO DAS PROPOSTAS DE ECONOMIA

Na tabela correspondente na folha de cálculo, as propostas de economia deverão ser descritas de forma geral.

4.1 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA DE ECONOMIA
1. Trocar o conjunto de bomba-motor por um de maior eficiência
2. Instalar banco de capacitores

No quadro abaixo são resumidas algumas medidas gerais ou mais frequentemente utilizadas para a redução do consumo energético.

QUADRO 5

Medidas que reduzem o consumo energético

Sistema	Medida genérica	Medida específica	
Sistema motor-bomba	Otimização da eficiência eletromecânica	Baixo investimento	Adequação do equipamento de bombeamento aos pontos de operação reais
			Ajuste da posição dos impulsores em bombas de turbina com impulsor aberto
		Médio investimento	Substituição do motor
			Substituição do conjunto motor–bomba
	Manutenção preventiva e preditiva	Baixo investimento	Monitoração periódica de parâmetros relacionados com a eficiência eletromecânica
Sistema de distribuição hidráulica	Otimização de cargas de bombeamento	Baixo investimento	Monitoração de parâmetros mecânicos, tais como vibração, temperatura, etc.
			Corrigir defeitos na configuração de tubulações de descarga e na operação
	Controle de pressões e vazões	Alto investimento	Reduzir perdas por atritos em condutores
		Médio investimento	Instalação de variadores de frequência
		Alto investimento	Instalação de tanques de regulação
Sistema elétrico	Otimização das instalações elétricas	Baixo investimento	Otimização do fator de potência
			Corrigir os desbalanceamentos de tensão
			Corrigir tensão de abastecimento do motor, para que seja igual ao valor nominal ou de placa
		Médio investimento	Reduzir perdas elétricas pelo efeito Joule
			Reduzir perdas em transformadores

De forma geral, as medidas descritas no quadro podem significar diversas ações a nível particular e podem variar desde a proposta de trocas de equipamento até ações de manutenção corretiva, passando pelas ações de mudanças na operação dos equipamentos, para chegar aos pontos ótimos.

As medidas, de forma particular, deverão ser descritas no quadro correspondente da folha de cálculo.

4.2 ESPECIFICAÇÕES DO EQUIPAMENTO

Se nas medidas de economia descritas no item 4.1 for contemplada a substituição ou troca do equipamento bomba ou motor, ou ambas, as especificações do equipamento proposto deverão ser anotadas no quadro correspondente, conforme o que se segue:

Especificações da bomba	Marca	Goulds
	Modelo	5CHC-9S
	Eficiência da bomba	78,0%
Especificações do motor	Potência H.P.	25,0 HP
	Tensão nominal	440 V
	Eficiência a carga plena	90%
	Número de fases	3
	Velocidade angular	3600 rpm
	Eficiência eletromecânica nova	70,2%
Banco de capacitores	Capacidade	9 kvars
	Tensão nominal	440 V

ESPECIFICAÇÕES DA BOMBA: As principais características da bomba proposta para substituição deverão ser anotadas, sendo elas a marca, o modelo e a eficiência da bomba.

ESPECIFICAÇÕES DO MOTOR: As características nominais do motor proposto deverão ser anotadas, sendo elas: potência (HP), tensão nominal, eficiência a plena carga, número de fases de trabalho e velocidade angular.

Com essas duas especificações, a folha de cálculo identificará de forma automática a EFICIÊNCIA ELETROMECÂNICA NOVA, multiplicando as eficiências do motor e da bomba.

BANCO DE CAPACITORES: Se for proposta a conexão de um banco de capacitores, também se devem anotar as seguintes características: capacidade do banco, em kvars, e a tensão nominal correspondente.

4.3 PLANO DE AÇÃO

Por último, neste quadro deverão ser relacionadas, segundo a ordem de prioridade, as ações a ser realizadas em ordem cronológica, conforme as propostas de economia mencionadas no item 4.1. É preciso ter especial cuidado, na ordem cronológica de atividades, para que se realize cada uma delas e que se faça um acompanhamento adequado, pois se trata de um guia para a revisão.

- Atividades:**
- Substituir o equipamento submersível de bombeamento pelo proposto.
 - Manter em uso a instalação do equipamento de controle e condutores elétricos.
 - Instalar válvula de retenção.
 - Instalar banco de capacitores.

PASSO 5. AVALIAÇÃO DAS ECONOMIAS

Uma vez identificadas as propostas de economia, especificações do equipamento a ser substituído e as atividades a serem realizadas para o projeto de economia de energia, devem-se avaliar as eficiências, perdas e o balanço energético que serão obtidos, e adotar as medidas para poder identificar a economia potencial total esperada com a implantação do plano de economia.

A nova avaliação abrange os pontos seguintes.

5.1 AVALIAÇÃO DOS CONDUTORES ELÉTRICOS

As perdas nos condutores elétricos devidas ao efeito Joule terão de ser avaliadas novamente, já que o que está sendo proposto é a instalação de um banco de capacitores que reduzirá esse efeito.

	Trecho	Bitola	Long.	Resistência	Corrente	Oper.	Perdas	
			m	Ω/km	Ω	A	kW	kWh/ano
Condição atual	Transf-motor de partida	4/0 AWG	18	0,1640	0,002952	29,0	0,007	65
	Chave de partida-motor	4/0 AWG	152,2	0,1640	0,02501	34,3	0,088	770

Essa avaliação é realizada da mesma forma vista no item 3.1 deste manual, isto é, a bitola do condutor e a resistência dele em ohms/km deverão ser digitadas, e a folha de cálculo identificará as novas perdas nos condutores em kWh/ano.

5.2 AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DO MOTOR

Como o motor também estará sendo substituído, deve-se realizar o novo cálculo de sua eficiência.

F.P.	BHP	HP proposto	Efic. Real	FC	Efic. Nom	Efic. 75%	Efic. 100%
0,80	22,21	25,0	0,9002	0,8884	90,09%	90,2%	90,0%

FA ant	FA rew	FA vv	FA dv
0,0%	0,0%	-0,00064	99,99%

Essa avaliação será realizada de forma similar à descrita no item 3.2 deste manual, ressaltando que apenas deverão ser digitadas as eficiências a 75 % e 100 % da curva de eficiência do motor novo, e a folha de cálculo realizará as operações correspondentes.

5.3 BALANÇO DE ENERGIA ESPERADO

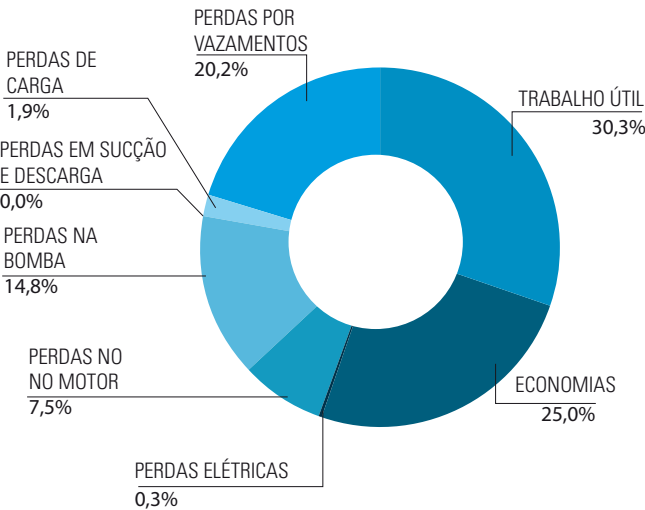
Conforme as avaliações dos componentes do motor e condutores elétricos, e com as especificações da nova bomba proposta, supondo-se que a bomba trabalhará dentro da faixa de máxima eficiência na curva carga-vazão, pode-se realizar um balanço de energia esperado quando as medidas de economia propostas forem implementadas.

O cálculo do balanço esperado é realizado da mesma forma que o descrito no item 3.4 deste manual. Neste caso, o balanço esperado identifica, além disso, a porcentagem de economia que haverá com a implantação dessas medidas de economia, conforme o quadro a seguir.

QUADRO 6
Exemplo de desagregação de parâmetros para o cálculo do balanço de energia esperado

Parâmetro	Unidade	Quantidade
Consumo de energia	kWh/ano	161.372
Potência demandada	kW	18,4
Corrente	A	28,7
Fator de potência	%	80%
Perdas elétricas	kWh/ano	585
Perdas no motor	kWh/ano	16.047
Perdas na bomba	kWh/ano	31.843
Perdas na sucção e descarga	kWh/ano	89
Perdas de carga	kWh/ano	4.092
Perdas por vazamentos	kWh/ano	43.486
Trabalho útil	kWh/ano	65.229
Economias	kWh/ano	53.653

FIGURA 11 Exemplo de cálculo do balanço de energia esperado



Como pode ser observado, segundo o exemplo, esperam-se economias de até 25 % da energia utilizada atualmente pelo sistema de bombeamento.

PASSO 6: ANÁLISE ECONÔMICA

Por último, deve-se realizar uma análise econômica das medidas de economia propostas, para o que deverão ser realizadas as seguintes avaliações.

6.1 CÁLCULO DE ECONOMIAS

O cálculo de economias é identificado a partir de um custo geral da energia elétrica e das economias de energia obtidas no passo 5, conforme o que se segue.

Custo da energia		0.12	US\$/kWh
Economias diretas:	Benefícios diretos por economias na bomba e no motor		
	Economias de energia	53.653,32	kWh/ano
	Custo da economia de energia	6.438,41	US\$/ano
Economias adicionais:	O motor proposto trabalhará com um fator de potência melhorado e demandará menor corrente, o que significa reduzir o efeito Joule nos condutores, diminuindo as perdas		
	Economias de energia nos condutores	548,55	kWh/ano
	Custo da economia de energia	65,83	US\$/ano

Custo da energia: Deve-se colocar o custo geral da energia elétrica em unidades monetárias locais ou em dólares, por kWh. Esse custo depende do fornecedor do serviço de energia elétrica e do esquema tarifário ao qual o sistema de bombeamento sob exame está sujeito.

Economias diretas: São as economias esperadas de forma direta, ao se reduzirem as perdas de energia derivadas do novo balanço energético após substituir a bomba e o motor do sistema. Essa economia é obtida da linha de Economias do balanço energético esperado em kWh/ano. O custo da economia de energia é obtido ao se multiplicar a energia economizada pelo custo da energia.

Economias adicionais: Embora o valor dessas economias seja pequeno, não deve ser desprezado. Essas economias se referem às economias adicionais que haverá com a instalação do banco de capacitores; no exemplo, descrevem-se apenas as economias por redução de perdas nos condutores, porém, caso trabalhar com um baixo fator de potência envolva um custo adicional de multa pelo fornecedor do serviço de energia elétrica, o custo dessas multas no último ano de operação também poderá ser acrescido à análise.

Nessa metodologia basta inserir o valor do custo da energia no quadro correspondente, e essas economias serão calculadas automaticamente.

6.2 CÁLCULO DO CUSTO DOS INVESTIMENTOS

Como as propostas de economia envolveram a aquisição de equipamentos, deve-se considerar o cálculo do investimento correspondente.

Conta	Descrição	Quantidade	Preço unitário (US\$)	Custo total (US\$)
1	Fornecimento de uma bomba submersível	1	3.431,00	3.431,00
2	Remoção do equipamento atual e instalação do equipamento novo	1	1.000,00	1.000,00
3	Fornecimento e instalação do banco de capacitores	1	245,00	245,00
TOTAL				5.377,40

Nesta tabela deverão ser inseridos todos os custos de investimento que a realização dos projetos de economia de energia envolver, discriminando-se um a um os elementos da proposta de economia que impliquem a aquisição de equipamento, instalação e mão-de-obra.

6.3 ANÁLISE DA TAXA DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Por último, deve-se realizar uma análise da taxa de retorno do investimento a ser feita para concretizar os projetos de economia de energia propostos, devendo-se para isso preencher os seguintes detalhes para que o cálculo seja feito de forma automática.

Economias totais:	Redução no consumo de energia	53.645,32
	Economia (US\$/ano)	6.437,44
Investimentos totais:	US\$	5.377,40
Taxa de retorno:	0,84 anos	

ECONOMIAS TOTAIS: É o custo da economia total calculada no item 6.1.

INVESTIMENTOS TOTAIS: É o custo total dos investimentos descritos no item 6.2.

TAXA DE RETORNO: A taxa de retorno indica o tempo de recuperação do investimento, em anos, em função do que se contará com recursos monetários oriundos da economia, com os quais esse investimento poderá ser pago; calculada como a divisão do custo total do investimento pelo custo total das economias.

COM ESTE CÁLCULO SE FINALIZA A METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DE AUDITORIA ENERGÉTICA E A IDENTIFICAÇÃO DAS ECONOMIAS POTENCIAIS AO APLICAR AS MEDIDAS CORRESPONDENTES.



www.iadb.org