



**XXIV SNPTEE
SEMÍNÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPT/16

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

DIAGNÓSTICO DE BALANÇO HÍDRICO EM USINAS TERMOELÉTRICAS E UNIDADES DE TRATAMENTO DE GÁS DA PETROBRAS

**João Zaiden (*)
Radix**

**Luis T. Furlan
Petrobras**

**Flávio B. Bezerra
Petrobras**

**Bernard S. Cruzeiro
Radix**

**Milena Scheffer
Petrobras**

**Taisis Bloomfield
Petrobras**

**Daniel S. T. de Souza
Radix**

**Cláudio R. Modenesi
Petrobras**

**Paula Araújo
Hope**

RESUMO

A água é necessária para produzir quase todas as formas de energia. Contudo, as restrições à água podem ser um desafio para as operações existentes no setor elétrico, bem como a viabilidade física, econômica e ambiental de futuros projetos. Este trabalho apresenta um estudo realizado em 22 unidades da Petrobras (18 Usinas Termoeletricas e 4 Usinas de Processamento de Gás Natural) com o objetivo de subsidiar a melhoria da gestão de recursos hídricos com maior eficiência na utilização de água através de suas operações, mediante: Balanço hídrico; Avaliação dos instrumentos de medição de água das instalações industriais; Proposta de projetos conceituais para reduzir o uso de água. O balanço hídrico foi calculado para as instalações cobertas pelo estudo fornecendo uma representação efetiva dos balanços de massa sobre o uso da água em cada instalação. Um algoritmo de reconciliação de dados baseado na qualidade da informação foi aplicado para assegurar que as equações do balanço de massa foram devidamente respeitadas. O diagnóstico de instrumentação indicou que equipamentos adicionais devem ser implementados na maioria das instalações para permitir que eles monitorem o balanço hídrico de suas plantas em tempo real através do sistema PI. Considerando o cenário operacional adotado para cada instalação, foi identificada uma série de oportunidades de economia de água. Os resultados indicaram que, se todas as propostas fossem implementadas em conjunto, haveria uma redução de 35% do volume de água doce total usado por todas as instalações juntas em um ano.

PALAVRAS-CHAVE

Balanço Hídrico, Reaproveitamento Hídrico, Diagnóstico instrumentação, Redução consumo água, reconciliação de dados.

1.0 - INTRODUÇÃO

A água é necessária para produzir quase todas as formas de energia. Na geração de energia, a água fornece refrigeração e outras necessidades relacionadas ao processo em usinas termoeletricas. Para os combustíveis primários e secundários, a água é utilizada na extração, transporte, refinação e transformação de combustíveis. Estes usos podem, em alguns casos, implicar volumes significativos de água (WEO, 2012). Por outro lado, o estresse hídrico é uma preocupação mundial crescente e há uma consciência crescente de que os recursos de água doce são limitados (CDP Water Report, 2015). Segundo o Carbon Disclosure Project (CDP) Water Program, um fornecimento estável de água doce de boa qualidade já não pode ser garantido em muitas regiões do globo e uma queda global de 40% na oferta está prevista para 2030.

Muitos fatores afetam os recursos de água doce em escala global. Tanto a quantidade como a qualidade dos recursos de água doce diminuirão devido aos efeitos combinados da seca, do aquecimento e das atividades humanas. Isso revela que as mudanças climáticas têm implicações importantes para os recursos de água doce. As

secas, por exemplo, tornaram-se mais comuns e podem afetar o suprimento de água para fins domésticos, industriais e agrícolas (Kundzewicz et al., 2007).

Para o setor da energia, as restrições à água podem desafiar a confiabilidade da oferta para as operações existentes, bem como a viabilidade física, econômica e ambiental de futuros projetos. A adaptação às mudanças na disponibilidade de água terá que ser feita por usuários individuais (Kundzewicz et al., 2007). Espera-se que a demanda por água aumente em todos os setores de produção para os próximos anos. Algumas empresas já enfrentaram restrições ao crescimento devido à escassez de água, reavaliando sua estratégia corporativa principalmente na mudança de padrões de comportamento do consumidor (CDP Water Report, 2015). Igualmente importante para os riscos relacionados com a água enfrentados pelo setor de energia, o uso da água para a produção de energia pode afetar os recursos de água doce, afetando tanto a sua disponibilidade quanto a qualidade (WEO, 2012).

A fim de alcançar um uso eficiente da água, é importante estabelecer uma compreensão detalhada do uso da água da usina. O balanço hídrico é uma ferramenta muito poderosa para conduzir a estratégia de conservação da água e alcançar a sustentabilidade ambiental. Um balanço hídrico demonstra os fluxos, saídas e usuários internos de um sistema de uso de água. Esta ferramenta pode ajudar a identificar áreas da planta que consomem quantidades excessivas de água e priorizar seus esforços de conservação de água nessas áreas. Um balanço hídrico detalhado também permite o uso diário eficiente de sistemas de água, descrevendo um estado operacional normal, auxiliando na solução de problemas e acelerando a correção de falhas do sistema que aumentam a perda de água (Liu et al., 2012). A otimização do uso da água pelas indústrias é importante porque pode reduzir as retiradas de água das fontes de água locais, aumentando a produtividade por entrada de água e reduzindo as descargas de águas residuais. Onde a qualidade da água doce está diminuindo localmente, ou quando os suprimentos de água doce não são confiáveis devido à escassez de água, à seca ou ao declínio dos níveis de água subterrânea, a reutilização industrial de água no local se torna uma opção cada vez mais atraente. Cada metro cúbico de água que é reutilizado no local representa um metro cúbico que não é retirado de uma fonte de água (Grobicki, 2008). A forma como a reutilização da água é feita no local deve ser orientada pelo princípio da correspondência entre a qualidade da água e os requisitos de utilização. Normalmente, a água para reutilização é conduzida a uma aplicação de menor qualidade, quase sempre após o tratamento. Isto depende da natureza do processo de fabrico, bem como do grau de tratamento de águas residuais que é realizado no local. O resfriamento é uma das aplicações mais comuns para água de menor qualidade.

Este trabalho apresenta um estudo realizado em 22 unidades da Petrobras visando subsidiar a melhoria da gestão dos recursos hídricos com maior eficiência de uso da água em suas operações por meio do cálculo do balanço hídrico; Avaliar os instrumentos de medição de água das instalações industriais; E propondo projetos conceituais para reduzir o uso de água.

2.0 - ESCOPO E METODOLOGIA DE ESTUDO

O estudo foi realizado entre 2013 e 2015, com 22 instalações do Sistema Petrobras espalhadas por todo o território brasileiro. A metodologia compreendeu três etapas principais: o cálculo do balanço hídrico; O diagnóstico da instrumentação de medição de água; E o desenvolvimento de projetos conceituais para a redução de uso de água e projetos de reúso de água.

Para iniciar o estudo, documentação técnica como diagramas de fluxo de processo (PFD); Diagramas de tubulação e de instrumentos (P & ID); descritivo do processo; e tabelas de vazão foram necessários para obter informações preliminares sobre como a água é utilizada nas 18 Usinas Termoelétricas e 4 Usinas de Processamento de Gás Natural cobertas pelo estudo. Com base nas informações reunidas nesta etapa, foram desenhados diagramas de blocos preliminares. Os diagramas foram divididos pelos principais processos de consumo de água nas plantas industriais e apresentaram as correntes de água juntamente com o equipamento a elas acoplado. A Figura 1 mostra um exemplo de um diagrama de blocos desenhado para uma usina termoelétrica, sendo o mesmo dividido nos principais processos que utilizam água para facilitar o entendimento.

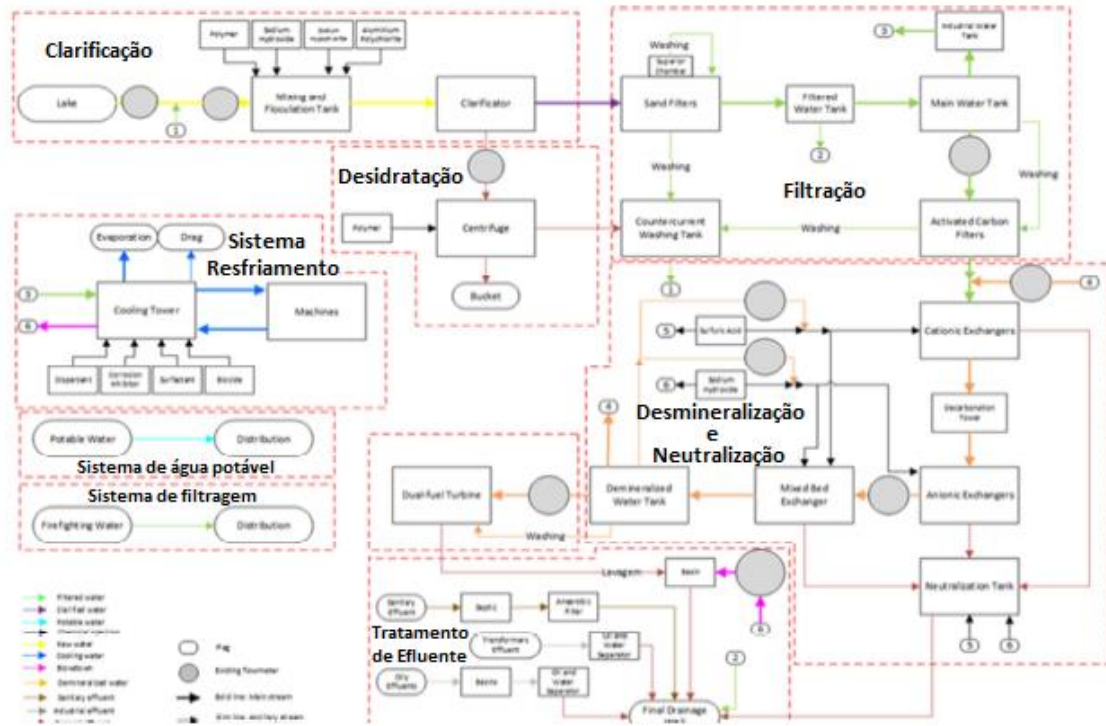


Figura 1: Diagrama de blocos de uma usina termelétrica de ciclo aberto.

Com os diagramas, os pontos onde o medidor de vazão portátil ultra-sônico deve ser usado e as amostras de água para análise devem ser coletadas também foram estabelecidas. Essas atividades fizeram parte do levantamento de campo. O levantamento de campo foi realizado através de visitas técnicas a cada instalação, a fim de atender aos seguintes pontos:

- Confirmar as informações obtidas a partir da análise de documentos e validar a representatividade do diagrama de blocos em relação aos processos que utilizam água;
- Identificar todos os sistemas usuários de água, seu regime operacional e suas singularidades, bem como as vazões de água que compõem os processos, incluindo vazamentos;
- Recolher amostras de água para realizar análises químicas e verificar a qualidade da água dos principais tipos de correntes (com base nos tipos correntes mostradas na Figura 1);
- Medir o fluxo das correntes de água usando um medidor de vazão ultra-sônico portátil nos pontos que foram escolhidos antes da visita;
- Obter a estimativa das vazões de água restantes que não pode ser obtida a partir do equipamento acima mencionado;
- Identificar todos os medidores de vazão instalados e coletar informações sobre sua condição. Junto com os dados quantitativos foi feita uma descrição de cada equipamento e suas condições operacionais para contextualizar os cenários para o cálculo do balanço hídrico.

3.0 - CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

Um balanço de água da instalação fornece uma melhor compreensão das necessidades de água. É uma ferramenta útil para reduzir o uso de água, bem como ajuda a identificar quaisquer perdas e vazamentos dentro das unidades de processamento. Compreender a relação de equilíbrio de massa das unidades de processamento e ajuda a calcular a água utilizada nesses sistemas. O balanço de massa é o equacionamento da quantidade de água que entra no sistema com a quantidade de água que sai. Na Figura 2 é apresentado um resumo esquemático das etapas realizadas para estabelecer o balanço hídrico para cada instalação coberta pelo estudo.



Figura 2: Etapas realizadas para estabelecer o balanço hídrico de cada instalação.

De acordo com os passos mostrados na Figura 2, o balanço hídrico para cada instalação foi calculado a partir de pressupostos especificados para cada uma em particular. Os valores para as vazões de água foram obtidos a partir de estimativas baseadas em dados coletados a partir da documentação técnica, juntamente com as medidas feitas durante o levantamento de campo. Devido às incertezas associadas a estes dados recolhidos a partir de diferentes fontes de informação, as equações do balanço hídrico não seriam respeitadas. Devido a isso, um algoritmo de reconciliação de dados foi aplicado para um cálculo de equilíbrio de massa. Este algoritmo leva em consideração o erro associado ao instrumento (De Souza, L.S., 2001). No entanto, a maioria dos dados de vazão de água não pode ser obtida a partir da medição, devido à falta de cobertura de instrumentos ou dados armazenados sobre eles. Além disso, o conjunto de condições necessárias para o medidor de vazão portátil ultra-sônico usado no levantamento de campo realizar medições adequadas, como uma superfície lisa tubo externo ou falta de incrustação interna, às vezes não foram cumpridas. Dado estes fatos, foi escolhida uma abordagem diferente para aplicar o algoritmo: o método de informação de qualidade. Este método permite atribuir valores aos fluxos de acordo com sua representatividade e confiabilidade. Baseia-se no fato de que há medições insuficientes para todas as variáveis do balanço (Kiperstock et al., 2010). Neste algoritmo um valor subjetivo ligado à confiabilidade da fonte de informação da vazão inicial é atribuído a cada corrente de água. Por exemplo, o valor de uma variável fornecido por um operador recebe uma pontuação menor em termos de informação de qualidade quando comparado com o mesmo valor de variável fornecido por uma medição de instrumento. Finalmente, a função objetivo dada pela Equação 1 deve ser minimizada, levando em consideração as equações do balanço de massa do volume de controle do sistema, como pode ser visto na Equação 2.

$$\min \sum_{i=1}^N (V_{ri} - V_{mi})^2 \cdot (\frac{QI}{V_{mi}})^2$$

Onde:

- N: número de correntes consideradas;
- i: número da corrente;
- V_r: vazão reconciliada;
- V_m: vazão medida;
- QI: qualidade de informação

$$\sum_{i=1}^L V_{ri_{inlet}} = \sum_{k=1}^M V_{rk_{outlet}}$$

Onde:

- L: número total de correntes de água de entrada;
- I: número corrente da vazão de entrada de água (identificação);
- M: número total da vazão de água de saída;
- K: número atual da vazão de água de saída (identificação)
- V_r: fluxo reconciliado

Uma amostra do balanço de água final calculado para uma usina térmica é mostrada na Figura 3. Os valores são apresentados em massa. As correntes são apresentados em toneladas por hora (t / h).

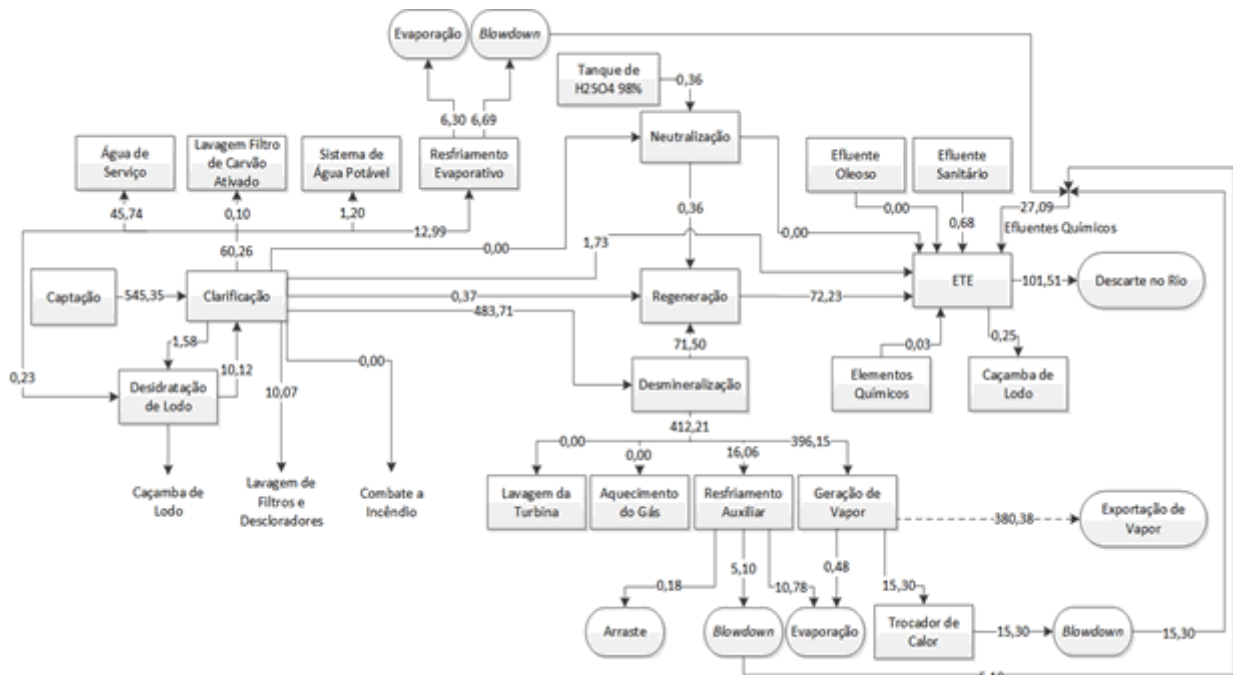


Figura 3. Balanço de água final calculado para uma usina térmica.

Com base na Figura 3, a maior parte da perda de água para a instalação mencionada ocorre nos sistemas de arrefecimento e geração de vapor, principalmente devido à perda de água em evaporação e descarga de descarga respectivamente. Isso demonstra que a compreensão da degradação da água de diferentes processos em toda a instalação pode ajudar a identificar quais processos consomem e / ou descarregam a maior quantidade de água. Assim, realizar e compreender o balanço hídrico pode resultar em potenciais melhorias operacionais impulsionadas pela conservação da água. O balanço hídrico também fornece subsídios para a instalação de medidores de água ou válvulas de controle para melhor gerenciar o uso da água, bem como identificar processos e operações em que a água doce poderia ser substituída por água reutilizada.

4.0 - DIAGNÓSTICO DE INSTRUMENTAÇÃO

O diagnóstico de instrumentação foi realizado para avaliar se os instrumentos de medição de vazão de água instalados em cada instalação estavam em condições satisfatórias de operação; Devidamente calibrados e integrados no sistema de Informação da Planta (PI). A condição dos instrumentos é o fator chave, uma vez que mostra se o instrumento é capaz de fornecer dados confiáveis ou não. O programa de calibração garante que o equipamento permaneça confiável. Finalmente, a integração de instrumentos com o sistema PI é crucial para um adequado armazenamento de dados, bem como para funcionar como uma ferramenta de apoio para o cálculo do balanço hídrico em tempo real. Os resultados globais obtidos nesta fase podem ser vistos na Figura 4. A avaliação indicou que 91% das instalações mantêm seus medidores de vazão de água em boas condições e 64% têm um programa de calibração implementado. Por outro lado, apenas 18% das instalações obtiveram integração total dos seus instrumentos instalados com o sistema PI.

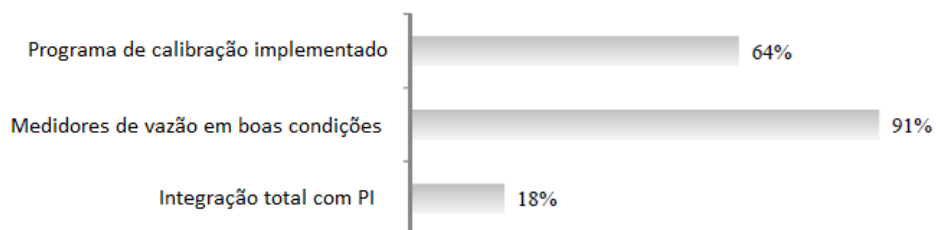


Figura 4: Resultados do diagnóstico de instrumentação

A avaliação também forneceu uma visão geral sobre a cobertura dos instrumentos de medição do fluxo de água nos processos das instalações. Quando apropriado foi indicado a aquisição de equipamentos adicionais para permitir monitorar o balanço hídrico das plantas em tempo real através do sistema PI. Verificou-se que seria necessário a instalação de um total de 93 instrumentos de medição de fluxo adicionais exclusivamente para permitir o cálculo das equações do balanço de massa de uma integração completa com o sistema PI de cada

instalação abrangida pelo estudo. O estabelecimento de programas de manutenção e calibração também foi proposto como resultado da avaliação. Conforme mencionado na seção acima, a instalação de medidores de vazão de água ou válvulas de controle fornece uma melhor gestão do uso da água através do monitoramento de dados provenientes desses instrumentos.

5.0 - PROPOSTAS DE REUSO DE ÁGUA

Com base nas informações obtidas no levantamento de campo e no cálculo do balanço hídrico, foi realizada uma análise para identificar os processos e operações em que a água doce poderia ser substituída por água reutilizada, resultando em melhorias potenciais na conservação da água. O cálculo do balanço hídrico forneceu informações sobre a degradação da água nos processos e operações em cada instalação. Toda a análise pode ser resumida da seguinte forma:

- Identificar as correntes de água cuja utilização pode ser melhorada;
- Identificar as perdas que não podem ser eliminadas, como a evaporação da torre de resfriamento;
- Apresentar propostas para reduzir o consumo de água e reutilização de cursos de água;
- Realizar uma análise preliminar de viabilidade tecnológica e de custo, identificando as propostas com maior probabilidade de sucesso econômico.

Durante o levantamento de campo, também foram coletadas amostras de água para análises químicas. A qualidade da água é uma chave e que unidade de processamento poderia receber o fluxo de água para ser reutilizado. A partir dos resultados, a análise foi realizada levando em consideração as características das correntes de água para a definição de propostas de redução e reutilização de água, de acordo com a seguinte ordem de prioridade: redução do consumo de água; Reutilização da água sem tratamento; E reutilização da água com tratamento prévio.

A redução de propostas de uso de água foi a primeira categoria realizada devido a geralmente este tipo de iniciativa não implica custos adicionais significativos. Também reduz a carga de água através da instalação, diminuindo o custo de potenciais planos de reutilização. As propostas incluíam iniciativas como segue:

- Instalação de dispositivos para reduzir a geração de efluentes sanitários, como torneiras de ativação automática e mictório;
- Aumentar os ciclos da torre de resfriamento;
- Identificação e eliminação de fugas de água;
- Construção de uma torre de resfriamento para eliminar esquemas de resfriamento;
- Otimização da desmineralização de troca iônica;
- Reduzir a produção excessiva de vapor.

A reutilização de água sem tratamento é uma categoria que permite que um fluxo de água seja enviado diretamente para outra unidade de processamento ou operação. Esta manobra é muito importante, uma vez que reduz ainda mais a quantidade de água nova necessária para ser utilizada na instalação. No entanto, antes da utilização é necessário verificar se o equipamento receptor pode lidar com a carga contaminante. Além disso, como a carga de contaminantes permanece exatamente a mesma, é de notar que todos os equipamentos a jusante têm de ser verificados. As propostas para esta categoria incluíam iniciativas como segue:

- Reciclar a água de limpeza do filtro;
- Reutilizar o efluente da prensa filtrante no início do tratamento da água;
- Reciclar a purga da caldeira;
- Reciclar a água condensada da umidade do ar;
- Reutilizar efluentes como irrigação.

A última categoria foi a reutilização de água com tratamento prévio. Esta etapa final ocorre quando todas as alternativas foram descartadas. Esta categoria geralmente envolve altos custos de implementação e operação do equipamento proposto também. A nova carga de contaminantes e os restantes fluxos de água são conhecidos

permitindo o dimensionamento das estações de tratamento de acordo com a capacidade de reutilização. As propostas para esta categoria envolvem iniciativas da seguinte forma:

- Tratamento de purga de água do sistema de arrefecimento utilizando osmose inversa;
- Tratamento de águas residuais da lavagem com permutador de íons por meio de osmose reversa;
- Tratamento de efluentes sanitários.

Considerando o cenário operacional adotado para cada instalação foi identificado um total de 57 oportunidades de economia de água. Essas oportunidades envolvem principalmente propostas relacionadas à deslocalização e reutilização de cursos de água nas plantas industriais. A distribuição das oportunidades identificadas para a poupança de água nas categorias acima mencionadas pode ser observada na Figura 5. Apesar do equilíbrio existente entre as três categorias em termos de número de propostas, de um modo geral, foram identificadas propostas envolvendo reutilização de água sem tratamento numa maior número. As oportunidades identificadas nesta categoria, juntamente com as oportunidades de redução do consumo de água, revelam um maior potencial de implementação. Isto ocorre devido à sua menor complexidade e custos mais baixos quando comparados com uma implementação de equipamento de osmose inversa, por exemplo.

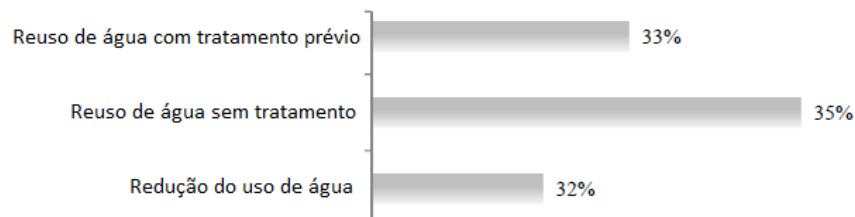


FIGURA 5 - Distribuição das oportunidades identificadas de poupança de água nas categorias

Os resultados indicaram que, se todas as propostas fossem implementadas em conjunto, haveria uma redução de aproximadamente 35% do volume de água doce total usado por todas as instalações juntos em um ano. Vale a pena mencionar que 100% da reutilização não pode ser alcançada em muitos casos devido às particularidades de uso da água de cada instalação.

5.1 Metodologia de Priorização do Projeto

Foi proposto um método de priorização do projecto, a fim de destacar quais projetos devem ser implementados em primeiro lugar. Baseia-se nos benefícios que uma proposta pode oferecer e na complexidade da sua implementação. Estes dois assuntos podem ser divididos em entidades menores como segue:

- Benefícios:
 - Percepção do risco de água: depende da fonte de água. Um córrego subterrâneo é menos provável secar do que um rio na parte árida de Brasil, por exemplo;
 - Valor atual líquido: a medição da rentabilidade do projeto;
 - Redução total de água do projeto;
 - Custo de coleta de água.
- Complexidade:
 - Custo de investimento;
 - Investigação sobre se a unidade deve ser interrompida ou não para implementar o projeto;
 - Tipo de projeto (reutilização directa, reparação, pré-tratamento simples ou pré-tratamento complexo)..

Cada assunto acima mencionado tem um peso arbitrário particular (WB para o peso de benefício e WB para o peso de complexidade) com base na sua importância e valores são atribuídos para cada possibilidade (P). As tabelas abaixo mostram ambos os valores para todas as possibilidades que foram citadas anteriormente.

Tabela 1 - Priorização do projeto benefícios peso parâmetros

Benefícios	
Percepção do risco da água	Peso: 3
Coleta de água superficial	1
Concessionária	0,5
Coleta de água subterrânea	0
Valor presente Líquido (R\$)	Peso: 3
X < 30,000	0
30,000 < X < 300,000	0,25
300,000 < X < 1,000,000	0,50
1,000,000 < X < 3,000,000	0,75
X >= 3,000,000	1,00
Redução total de água (%)	Peso: 2
0	0
10	0,50
>20	1,00
Custo de coleta de água (R\$)	Peso: 1
0,00	0
1,00	0,50
> 4,00	1,00

Tabela 2 - Peso e parâmetros da complexidade de priorização do projeto

Complexidade	
Custo do investimento (R\$)	Peso: 3
0 0	0
0 < x < 800.000	0,5
800.000 <= x < 1.600.000	1,00
Planta necessita de parada?	Peso: 2
Não	0
Sim, mas pode ser feito em uma parada programa	0,50
Sim, mas não pode ser feito em uma parada programa	1,00
Tipo de Projeto	Peso: 2
Reuso direto	0,25
Reparos	0,50
Pré-tratamento simples	0,75
Pré-tratamento complexo	1,00

Em posse dos valores extraídos das tabelas acima, as seguintes equações podem ser resolvidas:

$$Benefício\ ou\ complexidade = \frac{\sum(Peso\ do\ parâmetro * Valor\ da\ Opção)}{\sum(Peso\ do\ parâmetro)}$$

Os resultados são então plotados de acordo com a figura 7 abaixo, que é um gráfico x-y dividido em 3 setores: alta prioridade; prioridade média; e baixa prioridade. Os círculos são exemplos de nomes de projetos.

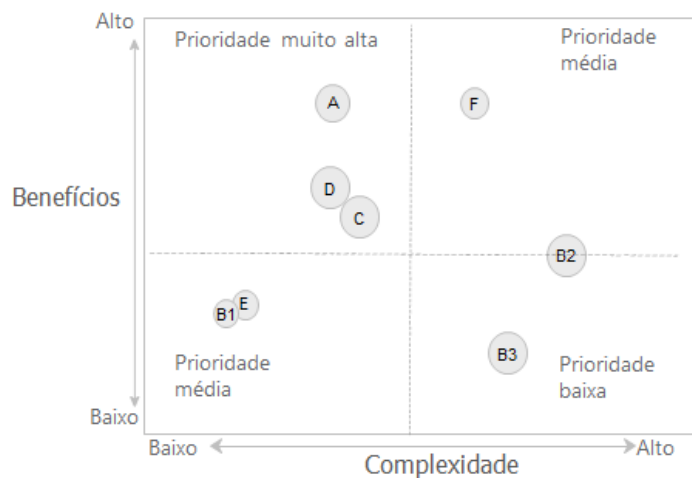


FIGURA 7 - Gráfico de priorização do projeto

6.0 - CONCLUSÕES

O balanço hídrico foi calculado para as 22 instalações cobertas pelo estudo, onde se fornece uma representação efetiva dos balanços de massa sobre o uso da água em cada instalação. O método da qualidade da informação pode ser considerado adequado para o cálculo do balanço hídrico, tendo em conta as várias fontes de informação necessárias para a plena contextualização dos cenários operacionais assumidos para o estudo. O diagnóstico de instrumentação indicou que os instrumentos de medição de vazão de água existentes nas instalações foram mantidos em boas condições. No entanto, a integração destes instrumentos com o sistema PI continua a ser parcial. Além disso, será necessário adquirir equipamentos adicionais para permitir monitorar o balanço hídrico das plantas em tempo real através do sistema PI. Ainda considerando o cenário operacional adotado para cada instalação, foi identificada uma série de oportunidades de economia de água. Os resultados indicaram que, se todas as propostas fossem implementadas em conjunto, haveria uma redução de 35% do volume de água doce total usado por todas as instalações juntas em um ano. A maioria deles não depende de altos investimentos a serem implementados. Assim, implementar melhorias na conservação da água focada no cálculo do balanço hídrico e sua eficiência de uso supõe uma diminuição do consumo de água em plantas industriais principalmente no caso de uma substituição do uso de água doce pela reutilização de águas residuais.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CDP (CARBON DISCLOSURE PROJECT). CDP Global Water Report 2015 Accelerating action. URL: <https://www.cdp.net/CDPResults/CDP-Global-Water-Report-2015.pdf> (acessado: 11 de maio de 2016)
- (2) DE SOUZA, L.S. Propagação de Incerteza na Reconciliação de Dados com Restrições Lineares. Salvador, 2001
- (3) FARAHANIA, M. H. D. A.; SEYED MEHDI BORGHEIA, S. M.; VATANPOUR, V. Recovery of cooling tower blowdown water for reuse: The investigation of different types of pretreatment prior nanofiltration and reverse osmosis. *Journal of Water Process Engineering*, v10, p. 188–199, 2016
- (3) GROBICKI, A. The Future of Water Use in Industry. Global Ministerial Forum on Research for Health. Geneva: World Health Organization. URL: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GROBICKI%20The%20Future%20of%20Water%20Use%20in%20Industry.pdf (Acessado: 11 de maio de 2016).
- (4) KIPERSTOCK, A., KALID, R., SOUZA, L., AMARO, C., MARTINS, M. New Objective Function for Data Reconciliation in Water Balance from Industrial Processes. *Journal of Cleaner Production*, p. 1184-1189, 2010
- (5) KUNDZEWICZ, Z.W., L.J. MATA, N.W. ARNELL, P. DÖLL, P. KABAT, B. JIMÉNEZ, K.A. MILLER, T. OKI, Z. SEN AND I.A. SHIKLOMANOV, 2007: Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210. LIU, N.
- (6) AJIT, S.; WONG, A. Water Balance for Operability & Sustainability At Genentech's South San Francisco Campus. San Jose State University - Faculty of the Department of General Engineering. 90 p. 2012.
- (7) WORLD ENERGY OUTLOOK 2012. Paris, France: International Energy Agency. URL: <http://www.worldenergyoutlook.org/pressmedia/recentpresentations/presentationweo2012launch.pdf> (Acessado: 11 de maio de 2016).