

ESTIMATIVA DA PEGADA HÍDRICA DA ÁGUA TRATADA ESTUDO DE CASO: FEIRA DE SANTANA, BA**Marília Crusoé Figueiredo**

Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – UEFS. E-mail: mariliacrusoef@hotmail.com.

Eduardo Henrique Borges Cohim Silva

Professor adjunto, DTEC (UEFS). Doutor em Saneamento e Sustentabilidade Ambiental, UFBA. E-mail: edcohim@gmail.com

Syntia Meneses Silva

Licenciatura em Química. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UEFS, Feira de Santana, Brasil. E-mail: syntia_quimica@hotmail.com

Endereço⁽¹⁾: Av. Transnordestina, s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161-8000.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo estimar a pegada hídrica cinza da água tratada, levando em consideração a quantificação de água gasta para diluição do alumínio proveniente da aplicação do coagulante sulfato de alumínio. A unidade funcional para a pegada hídrica cinza foi de 1 Litro de água, utilizando dados obtidos da Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA) referentes a produção de água no período de 2008 a 2011 na Estação de Tratamento de água de Feira de Santana, Bahia. Este estudo, utilizou a metodologia do WFN – Water Footprint Network, encontrando uma pegada hídrica cinza para o ano de 2008 de 60,49 L; em 2009 de 68,43 L, em 2010 de 66,22 L e; em 2011 de 69,88 L. O gasto de água na diluição de poluentes que seriam lançados “in natura” nos corpos d’água, no sistema de produção de água potável para o consumo humano, demonstra que a água permeia quase todos os processos produtivos e os valores expressivos encontrados, sinalizam, que devido a baixa turbidez da água bruta captada, é necessário uma aplicação de grande quantidade de coagulante químico e consequente gasto de água para diluição dos mesmos, visando atender os padrões de lançamento do corpo receptor.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, pegada hídrica cinza, sulfato de alumínio.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para manutenção da vida no planeta e de significativo papel no desenvolvimento econômico e social de uma região, é um elemento limitado que se encontra passível de escassez, devido a sua degradação progressiva, a partir da utilização excessiva e consequente poluição. Diante do exposto, a definição de um indicador do uso da água para análise quantitativa de consumo total de uma cadeia produtiva, seja ele de forma direta ou indireta, em escala industrial, residencial ou de comunidade, se torna um fator relevante, sendo neste caso representado, pela Pegada Hídrica, que segundo Hoekstra *et al.* (2011) por ser multidimensional, mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição pelo tipo de poluição, especificando todas as componentes de uma pegada hídrica total geográfica e temporalmente.

A utilização do termo Pegada Hídrica inicialmente se deu a partir da abordagem de “água virtual”, conceito criado em 1993 pelo cientista inglês John Anthony Allan. A “água virtual”, avalia a quantidade de água gasta para produzir um bem, produto ou serviço, estando embutido no produto, não apenas no sentido visível, físico, mas também no sentido “virtual”, considerando a água necessária aos processos produtivos, ou seja, é uma medida indireta dos recursos hídricos consumidos por um bem. Este conceito foi criado para explicar a quantidade de água empregada para gerar um produto em um determinado local, porém destinado para outra localidade, criando assim um fluxo virtual entre os países.

Hoekstra *et al.* (2011) define três tipos distintos de pegada hídrica, a pegada hídrica azul, que se refere ao consumo das águas superficiais e subterrâneas de um produto ao longo de sua cadeia produtiva; a pegada hídrica verde, que está relacionada ao consumo de água de chuva, desde que esta não escoe e; a pegada hídrica cinza, que se refere à poluição e é definida como o volume de água doce necessária para assimilar a carga poluente, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade das águas existentes. A soma das três pegadas hídricas representa, a pegada hídrica total do produto, setor, bacia, consumidor, dentre outros. Porém neste trabalho, será abordada somente a pegada hídrica cinza da água tratada.

A pegada hídrica cinza é um indicador de poluição da água que pode ser associado a produção de um produto. Este, refere-se ao volume de água requerido para que a poluição de um processo possa ser assimilada pelo corpo de água de acordo com o limite máximo estabelecido por legislação (ou qualquer outro limite adotado) ou em relação à qualidade natural do corpo hídrico em questão (Hoekstra, 2009).

No Brasil a legislação ambiental, está se tornando cada vez mais restritiva quanto aos padrões de lançamento de contaminantes na atmosfera, no solo e na água. No caso da água, os recursos hídricos são classificados segundo seus usos preponderantes, e a cada classe são vinculados parâmetros mínimos de qualidade de suas águas e parâmetros máximos para os efluentes nelas lançadas. Sendo os parâmetros adotados para lançamento de efluentes nos corpos d'água estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

As estações de tratamento de água tem por finalidade a potabilidade da água, a partir dos padrões estabelecidos na Portaria Nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde. Para atingir estes padrões, as Estações convencionais trabalham com as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e correção do pH. Sendo o tratamento da água um processo físico-químico objetiva, a remoção de turbidez, cor aparente da água bruta e remoção de microrganismos patogênicos, gerando assim, uma água potável.

Para promover a remoção da turbidez e cor, compostos químicos são introduzidos no processo de coagulação, visando desestabilizar as partículas coloidais para que essas venham a formar flocos na etapa de floculação e posteriormente sedimentem nos decantadores. No Brasil os coagulantes mais utilizados são os sais a base de alumínio e ferro, por terem um custo mais baixo, quando comparado aos outros encontrados no mercado. Na ETA em estudo o coagulante utilizado é o sulfato de alumínio, que segundo Richter (2001), o lodo proveniente deste tem em sua composição entre 15 e 40% de óxido de alumínio (Al_2O_3).

A composição quantitativa e qualitativa do lodo gerado em uma ETA, pode variar em função de diversos fatores, tais como: gerenciamento do processo de tratamento, operação do sistema, frequência de lavagem dos decantadores e filtros e, da quantidade de produtos químicos que são necessário para a potabilidade, sendo que este último aspecto varia em função da alteração temporal das propriedades físico-químicas da água bruta captada, sendo esta, associada à formação geológica onde o manancial esta inserido, ao uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica e do ciclo hidrológico característico regional [5].

O lodo gerado nas estações de tratamento de água são provenientes dos decantadores e filtros. A faixa de variação dos decantadores é de 60 a 95% da quantidade total de lodo gerado, em quantidade de sólidos, enquanto a água de lavagem dos filtros varia de 5 a 40% (YUZHU, 1996), estando essa variação da quantidade total associada a qualidade da água bruta, do tipo de dosagem do coagulante, do projeto das unidades da ETA e da eficiência da operação.

Segundo Tartari et al. (2011), o lodo produzido na ETA de Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, possui a seguinte composição química: 74% dos óxidos de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

OBJETIVO

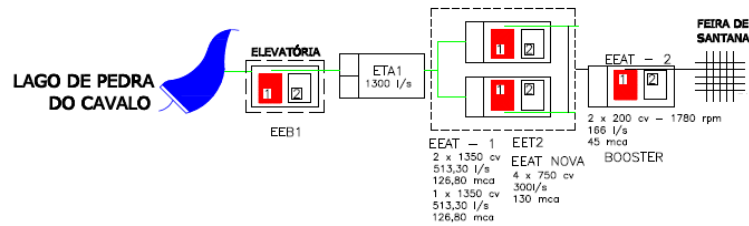
Estimar a pegada hídrica cinza da água tratada, a partir da quantificação de água gasta para diluir o sulfato de alumínio oriundo da aplicação do coagulante

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado no Município de Feira de Santana, com população estimada para o ano de 2014 de 612.000 habitantes e com uma área de 1.337,993 km² (IBGE, 2010). Segundo dados do SNIS (2013), 99, 7% da população urbana da região é atendida com abastecimento de água.

A captação de água para o abastecimento do Município de Feira de Santana é feito no lago da Barragem de Pedra do Cavalo (Rio Paraguaçu), a estação de tratamento de água é de ciclo completo e tem a capacidade de produzir 1.300,0 L/s, operando 20 h por dia, e rede de distribuição com 1.756,0 km de extensão. De acordo com Souza (2010), o Rio Paraguaçu é enquadrado como água doce de classe 2 de acordo com os seus usos preponderantes. A Figura 1 é um croqui do sistema de abastecimento de água de Feira de Santana.

Figura 1 – Croqui do Sistema de Abastecimento de água de Feira de Santana



A metodologia de avaliação da pegada hídrica cinza usada no presente estudo, utiliza o trabalho Hoekstra et al. (2011), que define a pegada hídrica cinza como a carga de poluente dividida pela diferença entre o padrão de qualidade da água em seu estado natural para aquele poluente, e sua concentração natural no corpo d'água receptor, como mostra a Equação 1 abaixo:

$$PH \text{ cinza} = L / (C \text{ max} - C_{nat}) \quad \text{equação (1)}$$

Onde, PH cinza é a pegada hídrica cinza (volume/tempo); L, a carga de poluente (massa/tempo); C max., a concentração máxima aceitável do poluente (massa/volume) e C nat., a concentração natural do poluente no corpo d'água (massa/volume). Como o cálculo da pegada hídrica cinza foi feito para o alumínio, a resolução CONAMA 357/05 estabelece para o parâmetro de alumínio dissolvido a concentração máximo aceitável de 0,1 mg/L.

Segundo a metodologia utilizada no trabalho de Hoekstra et al. (2011), que diz “Quando as concentrações naturais não são conhecidas com precisão, mas são consideradas baixas, pode-se considerar Cnat. = 0, para simplificação”. Ressaltando que “No entanto, isso resultara em uma pegada hídrica cinza subestimada, quando C nat não for realmente igual a zero. Como no estudo em questão, não foi possível obter dados referentes a concentração natural do alumínio no corpo d'água, considerou-se, a Cnat. = 0.

Para estimativa da pegada hídrica cinza do coagulante sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) foram coletados dados da Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA), que opera o sistema, para o consumo de coagulante utilizado no período de 2008 a 2011, estando estes dados dispostos na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1-Consumo de Sulfato de Alumínio no tratamento de água

Ano	Sulfato de alumínio (Ton.)
2008	2.601,40
2009	3.110,23
2010	2.968,18
2011	3.131,13

Fonte: EMBASA

A fim de calcular a pegada hídrica cinza em cada ano, foi utilizado 50% do valor total consumido de sulfato de alumínio no tratamento, referente a quantidade deste coagulante diluído. Dados referente aos volumes de água produzidos na estação durante o período de análise (Tabela 2), também foram adotados, ressaltando as informações relativas a distribuição ou água tratada, que foram utilizados para a estimativa da pegada hídrica cinza do sulfato de alumínio.

Tabela 2-Volumes anuais nas etapas da produção de água

Ano	Volume de água tratada (m ³)
2008	33.887.071,00
2009	35.802.687,00
2010	35.337.964,00
2011	35.346.623,00

Fonte: EMBASA

Com o intuito de calcular a quantidade de alumínio presente no lodo gerado na ETA, utilizou-se o cálculo estequiométrico, adotando-se a composição química do reagente, neste caso o coagulante sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e do produto formado, estabelecido por Richter (2001) e Tartari et al.(2011), o óxido de alumínio (Al_2O_3).

Para o cálculo estequiométrico utiliza-se a massa molar (g/mol) do $Al_2(SO_4)_3$ relacionada com o consumo diluído de coagulante a cada ano, que se refere a 50% dos valores da Tabela 2 e a massa molar (g/mol) do Al_2O_3 , utilizando uma regra de três simples para encontrar o consumo em toneladas de Al_2O_3 . A partir do valor encontrado de Al_2O_3 , relacionado com sua massa molar e a massa molar do Al, é possível estabelecer a quantidade de Al presente no lodo, considerando que todo o Al consumido no processo estará presente no lodo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os variados cálculos de pegadas existentes, expressam propensões e não valores exatos, porém não há uma redução a relevância do cálculo, visto que, as pegadas se propõem a servir como um indicador de uso do recurso natural para instrumento de gestão, além de inserir uma visão sistêmica dos processos produtivos para incorporar valores as intervenções de conservação do meio ambiente juntamente às atividades produtivas.

A partir do composto reagente sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e do produto formado, óxido de alumínio (Al_2O_3), calculou-se as massas molares totais dos compostos (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3-Cálculo da massa molar do sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Elemento	Massa atômica	Massa molar (g/mol)
Alumínio (Al)	26,98	53,96
Enxofre (S)	32,06	96,18
Oxigênio (O)	16,00	192,00
Total		342,14

Tabela 4-Cálculo da massa molar do óxido de alumínio (Al_2O_3).

Elemento	Massa atômica	Massa molar (g/mol)
Alumínio (Al)	26,98	53,96
Oxigênio (O)	16,00	48,00
Total		101,96

A partir dos dados obtidos nas tabelas acima, foi possível estabelecer a relação entre a massa molar total de cada substância e a quantidade de coagulante diluído, obtendo a quantidade de alumínio que está presente no lodo gerado na ETA, no período de 2008 a 2011, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5-Quantidade de Al_2O_3 e Al presentes no lodo no período de 2008 a 2011.

Ano	Quantidade de Al_2O_3 no lodo (Ton.)	Quantidade de Al no lodo (Ton.)
2008	387,6	205,2
2009	463,4	245,4
2010	442,3	234,2
2011	466,5	247,0

No estudo a quantidade do produto óxido de alumínio, formado pelo reagente sulfato de alumínio corresponde a aproximadamente 29,8% da quantidade total de sulfato de alumínio consumida no processo para todos os anos analisados. O qual encontra-se dentro da faixa estabelecida por Richter (2001), variando entre 15 e 40 (%).

A partir dos dados de massa de alumínio presentes no lodo para cada ano (Tabela 5), e a concentração máxima permitida para essa substância em corpos d'água de classe 2, foram obtidos os volumes de água necessários para diluição total do alumínio na concentração estabelecida pela resolução CONAMA 357/05, estando dispostos na Tabela 6.

Tabela 6-Volume de água necessário para diluir o alumínio.

Ano	Quantidade de Al no lodo (Ton.)	Concentração máxima de Al (mg/L)	Volume de água para diluir o Al (m ³)
2008	205,2	0,1	2,05 x 10 ⁹
2009	245,4	0,1	2,45 x 10 ⁹
2010	234,2	0,1	2,34 x 10 ⁹
2011	247,0	0,1	2,47 x 10 ⁹

A unidade funcional de água tratada analisada no trabalho foi de 1 L, logo para encontrar a quantidade de água necessária para diluir o volume de alumínio produzido em cada ano, foi calculada a razão entre o volume de água necessário para diluir o alumínio e o volume de água tratada no ano, obtendo assim, a pegada hídrica cinza do sulfato de alumínio da Estação de Tratamento de Feira de Santana no período de 2008 a 2011 (Tabela 7).

Tabela 7-Pegada hídrica da água tratada para o coagulante sulfato de alumínio no período de 2008 a 2011.

Ano	Quantidade de Al no lodo (Ton.)	Concentração máxima de Al (mg/L)	Volume de água para diluir o Al (m ³)
2008	205,2	0,1	2,05 x 10 ⁹
2009	245,4	0,1	2,45 x 10 ⁹
2010	234,2	0,1	2,34 x 10 ⁹
2011	247,0	0,1	2,47 x 10 ⁹

A pegada hídrica cinza da água tratada da ETA de Feira de Santana nos períodos de 2008 a 2011, encontra-se cima de 60 L por litro de água tratada, superior, portanto, em cerca de duas ordens de grandeza a PH Azul encontrada por Santos (2014) no mesmo sistema de tratamento. Essa diferença e os expressivos valores encontrados para a PH Cinza decorrem do uso elevado de coagulante que por sua vez, dependem das características da água bruta e dos padrões de lançamento estabelecidos para o corpo receptor. Observou-se, ainda, uma tendência crescente desse indicador para o período analisado, tais valores são de quatro a cinco vezes maiores que aquele obtido em estudo realizado no Brasil com base em dados de literatura.

O trabalho de Marzullo et al. (2010), teve como objetivo calcular a pegada hídrica da água tratada, a partir da metodologia do WFN – Water Footprint Network em uma abordagem de Inventários para a Gestão do Ciclo de vida, utilizando os inventários do Ecoinvent, concluiu que são necessários 14,11 L de água para obtenção de 1 L de água tratada. A metodologia adotou como concentração máxima para os parâmetros dos produtos químicos a classificação mais restritiva do corpo d'água definido na Resolução CONAMA 357/05, que é a classe 1. Porém para o parâmetro de alumínio as classes 1 e 2 possuem a mesma concentração máxima de 0,1 mg/L.

Dentre os resultados de Marzullo et al. (2010), o mais representativo diz respeito a diluição da carga de alumínio que é de 12,95 Litros de água cinza para produzir 1 Litro de água tratada. Por ser um trabalho que obteve dados da literatura, quando comparado com o presente trabalho, nota-se uma variação que está associada a qualidade da água bruta em estudo, ao gerenciamento do processo e operação da estação de tratamento e dos processos de lavagem e decantadores.

A quantificação da PH auxilia na análise da eficiência hídrica do processo, eficiência esta, expressa como a produtividade hídrica do processo, ou seja, a quantidade de água consumida para produzir uma unidade funcional do produto. Quanto menor essa relação, maior a eficiência hídrica do processo. Desta maneira, entende-se que uma PH menor para o sistema de abastecimento de Feira de Santana representaria melhor uso do recurso hídrico para o que se propõe que é abastecimento humano.

Os resultados encontrados evidenciam um elevado consumo de água para diluição do coagulante inserido no processo de produção da água tratada, revelando a necessidade de mudança na gestão hídrica do sistema, uma vez que a região de inserção do sistema encontra-se em situação de fragilidade dos recursos naturais, pois a fim de atender o disposto no PNRH que garante a prioridade do uso da água para abastecimento humano e dessedentação de animais, um volume significativo de água não pode ser perdida no processo (SANTOS, 2014). Sendo assim, os resultados demonstram que a PH Cinza poderá ser utilizada como ferramenta para subsidiar intervenções de preservação do recurso hídrico por parte do poder público local, corpo técnico e comunidade.

CONCLUSÃO

O gasto de água na diluição de poluentes que seriam lançados “in natura” nos corpos d'água, no sistema de produção de água potável para o consumo humano, demonstra que a água permeia quase todos os processos produtivos, sinalizando que até mesmo para gerar água de qualidade para o consumo humano é necessário o gasto de água.

As estimativas obtidas neste estudo permitiram identificar a quantidade de alumínio presente no lodo da ETA de Feira de Santana nos anos de 2008 a 2011, e a quantidade de água necessária para diluir este poluente no tratamento de 1L de água. Revelando um gasto médio neste período de 66, 25L para produção da água tratada considerando apenas o coagulante. Este estudo serve de base para futuros trabalhos que visam quantificar a pegada hídrica total da produção de água, ou até mesmo uma avaliação do ciclo de vida, buscando alternativas para redução destes gastos, e sendo um balizador para tomadas de decisões.

Desta forma, o problema dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água deve ser analisado sob a ótica da resolução existente no país que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, o CONAMA 357/05. Levando em conta aspectos relativos a classificação do corpo d'água; o conhecimento mais profundo das características físicas, químicas e biológicas dos lodos produzidos; as condições operacionais do sistema de tratamento de água que geram lodo; as condições periódicas de limpeza de filtros e decantadores e os impactos ambientais do lançamento dos lodos sem a correta diluição, para absorção do corpo receptor..

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HOEKSTRA, A. Y. et al. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London: Earthscan, 2011.
- HOEKSTRA, A. Y. *Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis*. *Ecological Economics*, n. 68, p. 1963 – 1974, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.021>
- MARZULLO, R. C. M.; FRANCKE, I.; MATAI, P.H.L.S. *Pegada Hídrica da Água Tratada: Necessidade de Água para Obtenção de Água*. 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. Florianópolis-SC. 2010.
- RICHTER, C.A. *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.
- SOUZA, G. S. *Avaliação da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu Utilizando Análise Multivariada*. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós- Graduação em Química da Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA. 2010.
- SANTOS, A. S. *Eficiência Hídrica De Um Sistema De Abastecimento De Água – Um Estudo De Caso*. XII SIBESA. Natal, RN, 2014.
- TARTARI, R.; DÍAZ-MORA, N.; MÓDENES, A. N.; PIANARO, A. S. *Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como Aditivo em Argilas para Cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do Lodo e de Argilas do Terceiro Planalto Paranaense*. *Cerâmica* 57, p. 288-293. 2011.
- YUZHU, W. *Condicionamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água: Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.