# CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA, HIDRODINÂMICA E FÍSICO-QUÍMICA DE UM SISTEMA DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS PARA O REÚSO DA ÁGUA SALINA

Flávia Fasolo (PIBIC/Fundação Araucária/UEPG), Marcos Rogério Szeliga (Orientador), e-mail: marcos.r.szeliga@outlook.com.

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Engenharia Civil.

**Engenharias, Engenharia Civil, Engenharia Hidraúlica, Hidraúlica.**

**Palavras-chave:** Tempo de detenção, difusão, advecção, qualidade da água, análises físico químicas.

## Resumo

O estudo tem por base a realização de ensaios para obtenção de dados de propagação mássica em recipiente com a mesma configuração dos SACs - sistemas alagados construídos, que buscam uma forma mais plausível de destino e eventual reuso de um concentrado salino resultante do rejeito originado em processos de dessalinização e que tem a finalidade de avaliar o desempenho no tratamento desse resíduo salino. Assim, o presente artigo analisa sinais elétricos, com o propósito de elaborar gráficos tridimensionais de mapeamento da propagação de um traçador no volume controlado. Por meio dos resultados evidencia-se, que houve um alto percentual de deposição densimétrica no fundo do tanque acarretando transporte predominantemente difusivo após os 60 minutos de ensaio, identificando-se também trajetos preferenciais do escoamento no interior do volume e regiões de deposição. O estudo vivenciado desperta a atenção para os projetos dessa natureza que contribuem para benefícios ambientais consideráveis, uma vez que possibilitam o tratamento das águas residuárias e seu destino sustentável.

## Introdução

Nas últimas décadas tem sido crescente o interesse por sistemas alagados construídos (SACs) ou sistemas wetland, por se tratar de tecnologia simples, de baixo custo e de fácil operação e manutenção para o tratamento de grande diversidade de águas residuárias ricas em material orgânico suscetível à biodegradação. Estes sistemas oferecem benefícios ambientais consideráveis, tais como a sua integração a parques e sistemas recreacionais, possibilitando o desenvolvimento de animais silvestres, harmonizando-se com a paisagem natural e proporcionando a produção de efluentes de boa qualidade, que poderão ser usados na agricultura ou lançados em corpos hídricos receptores (MEIRA et al, 2001).
Ante a esse panorama, salienta-se a necessidade de se buscar uma forma com maior racionalidade de destino e eventual reuso de um concentrado salino resultante do rejeito originado em processos de dessalinização.
Ademais, sabe-se que a configuração do SACs, sob condições naturais, permite a ocorrência de processos físicos, químicos e bioquímicos em sistemas voltados ao cultivo de plantas em substrato, proporcionando o tratamento das águas salinas residuárias.
O presente trabalho objetivou a realização de ensaios para obtenção de dados em recipiente com a mesma configuração dos SACs. Estes dados, consistindo em sinais

elétricos correlacionados à concentração de um traçador injetado em pulso no recipiente de ensaios, após processamento computacional, conduziram à elaboração de gráficos tridimensionais de mapeamento (*colormap*) da propagação do traçador no volume controlado. Com as informações obtidas foi possível detectar a massa injetada, sua distribuição no espaço e no tempo, a massa descarregada, a deposição de massa por efeito densimétrico, níveis de estagnação, o transporte advecitvo e posterior predominância de transporte difusivo sob efeito da deposição de massa em camadas inferiores do volume controlado.
A bancada de ensaio foi configurada com base em um sistema de alagados construídos, que vem sendo operado em trabalhos paralelos, de fluxo sub-superficial com escoamento vertical descendente, em caixas de polipropileno com volume de 100 L, de conformação circular, nas quais se estabelecem zonas de raízes, com objetivo de avaliar o desempenho no tratamento do rejeito salino destinado ao reuso em irrigação de hortas e pomares, criação de peixes, crustáceos e outra finalidades em pequenas propriedades rurais receptoras da água residuária tratada.

**Materiais e Métodos**

O estudo hidrodinâmico foi aplicado a um sistema de alagados construídos, de fluxo sub-superficial com escoamento horizontal, em caixas de propileno com volume de 100 L, em escala de bancada utilizando o traçador Cloreto de Sódio (NaCl) – cuja diluição proporciona os íons $Na^+$ e $Cl^-$, solutos que atribuem condutividade elétrica ao solvente. No tanque foi instalada uma malha tridimensional por meio de uma fiação de posicionamento e atribuição de um sistema de coordenadas com origem (0,0,0) no centro da base do tanque, eixo z horizontal na direção principal do escoamento, eixo y horizontal transversal ao escoamento e eixo z vertical. A malha é composta de células prismáticas quadrangulares de 10 x 10 x 10 cm no interior do tanque e com medidas adequadas, nos contornos adaptando-se à conformação circular. Em cada "nó" da malha tridimensional foi conectado um eletrodo para obtenção de intensidade de sinal elétrico de condutividade.
Foram realizados os testes estático e dinâmico. No teste estático dois litros de solução de NaCL em água com concentração de 5 $gL^{-1}$, são injetados em pulso rápido e a saída do tanque é mantida fechada. Neste teste estuda-se a propagação do soluto no tanque, sem transporte convectivo, sua difusão no espaço e a recuperação de massa pelo método de aquisição de dados.
No teste dinâmico dois litros de solução de NaCL em água com concentração de 5 $gL^{-1}$, são injetados em pulso rápido e a saída do tanque é mantida aberta, enquanto água limpa é reposta continuamente pela entrada do tanque. Neste teste estuda-se a propagação do soluto no tanque, seu transporte difusivo e convectivo no espaço, a recuperação de massa pelo método de aquisição de dados e os tempos de residência das partículas no reator.
Com a sua obtenção, os dados físico-químicos foram relacionados ao sistema de coordenadas e processados computacionalmente proporcionando a descrição da propagação, a influência e a interação entre o fluxo e a zona de raízes, regiões de ação, reação, decaimento de condutividade, sólidos totais dissolvidos, salinidade, entre outros parâmetros e o estabelecimento de diagnóstico matemático da eficácia do sistema destinado ao tratamento de água salina residuária.
O resultado do processamento digital de dados obtidos pelas análises químicas, especialmente a Condutividade Eletrolítica, de amostras retiradas em intervalos sucessivos a partir dos pontos de aquisição, coordenadas do sistema, estabelece a

visualização da transferência de massa em coordenadas espaciais e temporais. Essa transferência pode ser quantificada estabelecendo-se o balanço de massa e a determinação da distribuição da matéria no espaço e no tempo para embasamento do diagnóstico hidrodinâmico e eventuais adaptações geométricas do sistema.

**Resultados e Discussão**

Com objetivo de realizar medições indiretas de condutividade elétrica estabeleceu-se pontos na malha tridimensional instalada no tanque, os quais foram submetidos a um sistemas de eixos coordenados que eram compostos, à frente, por um algarismo numérico de 0 a 4 referente ao nível situado, seguido de uma letra que condizia à posição em relação ao eixo x, e por fim, outro número equivalente a sua localização no eixo y. Para melhor identificação das cotas, estabeleceu-se níveis identificados como Fundo, Nível 1, Nível 2, Nível 3 e Nível 4 referentes, respectivamente, as profundidade de 0 cm, 7,5 cm, 15 cm, 22,5 cm e 27,5 cm.

A partir dos dados de ensaios, os valores são processados no software desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – Plataforma MatLab. Neste processamento ocorre a interpolação dos dados medidos em laboratório para uma malha tridimensional refinada atingindo uma resolução de 129x129x56 células cúbicas com 0,5 cm de lado, compondo 931896 elementos de volume. A visualização da distribuição da massa no volume total, no espaço e no tempo, é proporcionada por meio de gráficos tridimensionais de volumes.

Com a observação da evolução da pluma de traçador no decorrer do tempo é possível inferir acerca de características do escoamento como trajetos preferenciais, zonas de estagnação, deposições, zonas mortas não atingidas e outros pormenores que possam interferir na eficiência como um todo. No caso específico deste trabalho pôde-se, além destas características, obter evidente assimilação pelos dados obtidos e seu mapeamento da deposição densimétrica no fundo do tanque e posterior emanação lenta por difusão, em camada não atingida pelo escoamento principal.

O processamento dos dados obtidos com auxílio do software MatLab® possibilitou condições as quais permitem observar visualmente a distribuição da massa sua propagação no espaço e no tempo.

Observou-se intensa deposição densimétrica – fato que se repete em todas as configurações testadas, devido a um fluxo descendente para as camadas inferiores do tanque, o que justifica as baixas concentrações nas cotas próximas a superfície.

A massa de sal total injetada no sistema equivaleu-se a 10 g, sendo que a detecção da massa apresentou valores entre 9,13 a 10,45, atingindo uma média de 9,95 g e um erro máximo de 8,7%.

Averígua-se que o fundo do tanque, nível 0 cm, apresenta uma maior concentração salina ao longo do ensaio, que atingiu seu pico aos 60 minutos com uma concentração equivalente a 94,8% do total detectado, sendo que essa massa depositada no fundo do tanque passa por um processo difusivo o qual é responsável pelo transporte lento das partículas que deixarão o sistema.

Até os primeiros 30 minutos, a massa remanescente era superior a massa descarregada no sistema, e sua parcela mais significativa localiza-se predominantemente no nível zero, evidenciando a deposição densimétrica nas camadas inferiores. Ademais, em nenhum dos níveis foram detectados concentrações presentes no nível 3 – equivalente as cotas no topo do tanque, sendo a maior massa detectada na parte superior equivalente a 1,39 g no nível 2.

Devido a deposição de sal no fundo do tanque, torna-se evidente que nessa configuração de escoamento, há regiões não contempladas com a presença do traçador, o que indica a presença de zonas mortas.
Observou-se também, a gradativa eliminação da massa injetada no sistema, em função do tempo, por meio da saída. E, com as informações extraídas, torna-se possível compreender o tempo de detenção das partículas depositadas no interior do tanque, isto é, os seus respectivos tempos de permanência. Visto isso, aos 60 minutos, a velocidade com que a massa total injetada atinge a saída do sistema foi de 0,05 g/min, e ao decorrer do tempo essa velocidade foi diminuindo – tendendo a zero. Dessa forma, considera-se que as áreas de deposição fora da corrente principal do escoamento serão eliminadas em sua maior parte pelo processo difusivo, fazendo com que o tempo necessário para a completa anulação da massa de traçador seja superior.

## Conclusões

Torna-se evidente, portanto, que a obtenção numérica da distribuição da concentração no volume de controle foi satisfatória, uma vez que houve precisão na detecção de massa, no estabelecimento do balanço mássico e na distribuição da massa no volume, onde foi possível notar o alto percentual de deposição densimétrica no fundo do tanque acarretando transporte predominantemente difusivo após os 60 minutos de ensaio.

## Agradecimentos

À Instituição pelo ambiente criativo e de fomento à pesquisa. Ao professor Dr. Marcos Rogério Szeliga pela orientação, apoio e confiança ao longo das supervisões das minhas atividades as quais tornaram possível a conclusão deste trabalho. E por fim, à Fundação Araucária pela bolsa concedida durante os doze meses dessa pesquisa.

## Referências

MATOS, M. P. de et al. Uso de traçador salino para avaliação da colmatação e das condições hidrodinâmicas em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.35, n.6, p.1137-1148, nov.dez. 2015.
FILHO, F. J. C. M. et al. Hidrodinâmica de um wetland construído combinado com um sistema por evapotranspiração como pré-tratamento. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 2, p. 276-285, 2013.

SANDAKA, G. **Hidrodinâmica de um sistema de alagado construído utilizado no tratamento de rejeito salino.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – UEPG. Ponta Grossa, 2018.