



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO  
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

**ANTÔNIA SILÂNIA DE ANDRADE**

**PARÂMETROS DE TRANSPORTE DE SÓDIO E POTÁSSIO  
DISPONÍVEIS EM ÁGUA DE REÚSO**

**SUMÉ - PB  
2018**

**ANTÔNIA SILÂNIA DE ANDRADE**

**PARÂMETROS DE TRANSPORTE DE SÓDIO E POTÁSSIO  
DISPONÍVEIS EM ÁGUA DE REÚSO**

**Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biosistemas.**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Joelma Sales dos Santos**

**SUMÉ - PB  
2018**

A553p Andrade, Antônia Silânia de.  
Parâmetros de transporte de sódio e potássio disponíveis em  
água de reuso. / Antônia Silânia de Andrade. - Sumé - PB: [s.n],  
2018.

36 f.

Orientadora: Professora Dra. Joelma Sales dos Santos.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro  
de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de  
Bacharelado em Engenharia de Biosistemas.

1. Água residuária doméstica. 2. Água residuária de laticínio. 3.  
Transporte de soluto. I. Título.

CDU: 628.32(043.1)

**ANTÔNIA SILÂNIA DE ANDRADE**

**PARÂMETROS DE TRANSPORTE DE SÓDIO E POTÁSSIO  
DISPONÍVEIS EM ÁGUA DE REÚSO.**

**Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biosistemas.**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Professora Dr<sup>a</sup> Joelma Sales dos Santos.  
Orientadora – UATEC/CDSA/UFCG**

---

**Professora Dr<sup>a</sup> Maria Leide Silva de Alencar.  
Examinador I – UATEC/CDSA/UFCG**

---

**Mestra Maria Tereza Cristina C. do Nascimento.  
Examinadora Externa**

**Trabalho aprovado em: 02 de março de 2018.**

**SUMÉ - PB**

Á Deus, por tudo, principalmente minha família, meu porto seguro, meus  
pais Francisco e Bernadete , amo vocês.

Meus avôs, Ana e Chiquinho, Doralice e Raimundo, que já partiram, mas  
se fazem presente em lembrança e saudade.

Á vocês, dedico!

## AGRADECIMENTOS

Um dia fiz uma escolha! Decidi enfrentar um mundo desconhecido, de pessoas desconhecidas, de hábitos desconhecidos, optei por conhecer quem sou e o que poderia vir a ser! Esse desconhecido me fascina, me faz ir além e nessa busca me deparei com pessoas que deixaram suas marcas em minha vida, contribuíram significativamente de modo que hoje, as levo no lugar que reservei para os poucos, os especiais, que considero parte integrante de mim, no meu coração, que a cada batida faz perceber que estou viva e pulsa em mim o desejo de viver e viver pelo que acredito e por minhas escolhas.

E nesse viver pulsante tive a oportunidade de me deparar com pessoas envolventes, que encantam, como o jeito simples e acolhedor de Patrícia que me fez enxergar um outro possível dentro de mim. Aos professores que assumiram a missão de compartilhar o seu saber e não saber, de se colocarem humildes e respeitarem a singularidade de cada Um, Fabiana, Ilza, Leide, Normanda, George, Hugo, Ranoel, Eloy, Tiago, Ana Cristina a vocês, minha admiração. Àquelas pessoas que conseguem cativar apenas com um olhar, a gentileza de Paulo e a paciência de Aldinete, são virtudes que as tomei como exemplo para minha jornada, de quem se doa inteiramente.

Redescobrimo, reaprendendo, revivendo, são nas amizades que se eternizaram, que pude me reinventar, levando em conta o choro, o riso, as discussões, a união, o afeto, Lorena, Silvia, Vilany, Erica, Jéssica, Adriano, Miguel, Euclides, Thiago, Maria Rita obrigada por tudo, já sinto saudades!

Joelma, não há palavras que nomeie o sentimento que tenho em relação a você, minha admiração por ti atravessa a esfera profissional chegando até a humana. Obrigada por apostar em mim, de se fazer sempre presente. Sua competência e dedicação me inspiram, são marcas que levarei para a vida! Gratidão!

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar os parâmetros de transporte fator de retardamento (R), coeficiente de dispersão-difusão (D) e as curvas de efluentes dos íons sódio e potássio presentes nas águas residuárias de origem de doméstica tratada e de laticínio realizou-se ensaios em colunas preenchidas com solos do tipo Neossolo Regolítico Eutrófico e Nitossolo em laboratório. Através de frascos de Mariotte passou-se cerca de dois volumes de água destilada nas colunas e, em seguida, interligou-se outro frasco contendo as águas residuárias para que fosse lixiviado 2,0 volume de poros divididos em 20 alíquotas. Os efluentes obtidos das colunas foram encaminhados ao laboratório e com os valores das concentrações relativas foram construídas as curvas de distribuição de efluentes para os solutos sódio e potássio. Os parâmetros de transportes foram calculados através do modelo computacional DISP (Programa para cálculo dos parâmetros de transporte de solutos no solo em deslocamento de fluidos miscíveis). Os resultados obtidos permitiram concluir que os fatores de retardamento foram mais altos para o potássio e para o sódio no solo Neossolo Regolítico Eutrófico lixiviado com água residuária doméstica tratada. Para a água residuária de laticínio os maiores valores foram calculados para o íon potássio no solo Neossolo Regolítico Eutrófico e para o sódio no solo Nitossolo. Independente do tipo de água residuária os menores valores para os fatores de retardamento foram obtidos para o Nitossolo. Em relação aos coeficientes de dispersão-difusão verificou-se que os maiores valores foram observados para o Neossolo Regolítico Eutrófico independente do tipo de água residuária utilizada nos ensaios.

**Palavras-chaves:** Água Residuária Doméstica. Água Residuária de Laticínio. Transporte de Solute.

## ABSTRACT

With the objective of evaluating the parameters of transport delay factor (R), dispersion-diffusion coefficient (D) and curves of sodium and potassium ions effluents present in wastewater of origin of domestic treated and dairy were carried out tests. In columns filled with Neolithic Regolítico Eutrófico and Nitossolo in laboratory. Two volumes of distilled water were passed through the bottles in Mariotte flasks and then another flask containing the wastewater was interconnected to leach 2.0 volume of pores divided into 20 aliquots. The effluents obtained from the columns were sent to the laboratory and, with the values of the relative concentrations, the effluent distribution curves for the sodium and potassium solutes were constructed. The transport parameters were calculated through computational model DISP (Program to calculate the transport parameters of solutes in the soil in displacement of miscible fluids). The results showed that the delay factors were higher for potassium and sodium in the soil in the Eutrophic Regolítico Neolithic leached with treated domestic wastewater. For dairy wastewater the highest values were calculated for the potassium ion in the Neosol Regolítico Eutrophic soil and for the sodium in the soil Nitossolo. Regardless of the type of wastewater, the lowest values for the delay factors were obtained for the Nitosol. In relation to the dispersion-diffusion coefficients, it was verified that the highest values were observed for the Regolítico Eutrófico Neoliberal regardless of the type of wastewater used in the tests.

**Keywords:** Domestic Wastewater. Dairy Wastewater. Solute Transport.



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Características físicas das amostras de solos Neossolo Regolítico Eutrófico e Nitossolo utilizados nos ensaios.....	22
<b>Tabela 2</b> - Caracterização química das amostras de solos Nitossolo e Neossolo Regolítico Eutrófico	23
<b>Tabela 3</b> - Análise química da água residuária doméstica tratada e da água residuária de laticínio utilizadas nos ensaios com as colunas de solo* .....	24
<b>Tabela 4</b> - Valores médios das características volume de poros, fluxo e velocidade de avanço da solução nas colunas de solo, verificados para os ensaios com água residuária doméstica e de laticínio .....	27
<b>Tabela 5</b> - Valores médios dos fatores de retardamento (R) calculados para as curvas de efluente do sódio e potássio .....	28
<b>Tabela 6</b> - Valores médios dos coeficientes de dispersão-difusão (D) calculados para as curvas de efluente do sódio e potássio .....	29

## LISTA DE FIGURAS

- Gráficos 1** - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Nitossolo e água residuária doméstica tratada..... 30
- Gráficos 2** - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Neossolo Regolítico Eutrófico e água residuária doméstica tratada.30
- Gráficos 3** - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Neossolo Regolítico Eutrófico e água residuária de laticínio..... 31
- Gráficos 4** - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Nitossolo e água residuária de laticínio ..... 31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	14
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
3.1 ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	15
3.2 AGUA RESIDUÁRIA DOMESTICA .....	16
3.3 AGUA RESIDUÁRIA DE LATICÍNIOS .....	17
3.4 IMPACTOS CAUSADO PELO O USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NO SOLO .....	18
3.5 DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO.....	19
3.6 DINÂMICA DOS SOLUTOS NO SOLO .....	19
3.7 COEFICIENTES DE DISPERSÃO-DIFUSÃO E FATOR DE RETARDAMENTO .....	20
4.1 SOLOS UTILIZADO NA PERCOLAÇÃO DAS COLUNAS DE SOLO.....	22
4.2 SATURAÇÕES DAS COLUNAS.....	24
4.3 ÁGUAS RESIDUÁRIAS UTILIZADAS .....	24
4.4 ENSAIOS E COLETA DE EFLUENTES .....	25
4.5 USO DO MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSPORTE.....	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
5.1 ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICA TRATADA E DE LATICÍNIO .....	27
5.2 PARÂMETROS DE TRANSPORTE PARA OS SOLOS NITOSSOLO E NEOSSOLO REGOLÍTICO EUTRÓFICO .....	28
5.2.1 Fator de Retardamento para os íons sódio e potássio.....	28
5.2.2 Coeficiente de dispersão dos íons sódio e potássio.....	29
5.3 CURVAS DE EFLUENTES PARA OS ÍONS SÓDIO E POTÁSSIO .....	30
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A disposição no ambiente de resíduos produzidos em atividades agroindústrias tem resultado inúmeros problemas ambientais como poluição de rios e do lençol freático. A utilização de águas residuárias na agricultura é uma forma alternativa de reduzir problemas ambientais, propiciados pelo lançamento das mesmas em cursos d'água, além de possibilitar um crescimento na produtividade agrícola, que decorre de fatores como: cultura, disponibilidade de nutrientes no efluente, demanda nutricional das plantas e manejo. Toda via, a aplicação de águas residuárias na agricultura demanda o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas que tendam à redução dos riscos de contaminação do solo e do produto agrícola (SOUZA et al., 2011).

O conhecimento que viabilize o uso das águas residuárias fabricadas nos processos produtivos em áreas agrícolas diminuindo o impacto ambiental e ampliando a produtividade, é de primordial importância (SOUZA et al., 2011)

Neste âmbito, os fatores que fundamentam a utilização de águas residuárias são a conservação da água disponível, sua vasta disponibilidade, possibilidade do aporte e reciclagem de nutrientes (minimizando o uso de fertilizantes químicos) além de cooperar para a preservação do meio ambiente (MEDEIROS et al., 2008).

O movimento de solutos no solo resulta de fatores referentes às propriedades do meio poroso e suas interações, às propriedades do líquido percolante e às circunstâncias ambientais que interferem nos parâmetros de transporte dos solutos, como a temperatura. Entre os fatores que induzem o processo de migração e a retenção de substâncias químicas, podem ser evidenciados: o tipo de solo, capacidade de troca catiônica, espécies de cátions absorvidos, velocidade de percolação e teor de matéria orgânica; concentração do contaminante, existência de mais substâncias na solução percolante (COSTA et al., 2000).

Ainda de acordo com Costa (2000), compreender a disposição da água e soluto no solo para as distintas profundidades do perfil é importante para evitar um desequilíbrio de nutrientes no solo, evitando, assim, possível contaminação no lençol freático e desestruturação do solo.

Os modelos de simulação podem propiciar melhor compreensão dos processos que acontecem no solo, relacionados ao deslocamento de solutos, constituindo-se em ferramentas aplicáveis a estudos de redução de impactos ao ambiente. A simulação da movimentação da água no solo resulta da necessidade de se modelar as curvas de retenção da água e da

condutividade hidráulica, abrangendo um conjunto mínimo de parâmetros específicos do solo em análise estudo (NEVES et al., 2000). Para o êxito da simulação e resolução das equações que permitem prever o deslocamento de solutos no solo, é essencial uma definição efetiva dos parâmetros de transporte que influem na relação solo-soluto. Os parâmetros mais importantes que precisam ser determinados para este fim, são a velocidade da água no poro, os coeficientes de difusão-dispersão e o fator de retardamento.

Na última década, alguns estudos têm sido desenvolvidas com o uso de águas residuárias, no entanto poucos são os trabalhos que expressam dados sobre os impactos negativos ocasionados pelo aplicação dessas águas ao solo e aos corpos d'água em laboratório.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estudar o movimento dos íons sódio e potássio, presentes em água residuária doméstica tratada e de laticínio, em colunas de solos Neossolo Regolítico Eutrófico e Nitossolo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar os fatores de retardamento do sódio e do potássio, a partir de curvas de efluente obtidas das colunas de solo.
- Determinar os coeficientes de dispersão-difusão dos íons sódio e potássio em colunas de solo.
- Gerar as curvas de efluentes para os íons sódio e potássio nas colunas de solo.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Autores como Jordão & Pessoa (1995) e Braga et al., (2002), definem o termo água residuária para caracterizar os dejetos oriundos das mais diversas modalidades do uso das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de estabelecimentos públicos, áreas agrícolas, de superfície, de infiltração e outros efluentes sanitários. A qualidade e volume de água existente na natureza vêm diminuindo gradativamente, decorrente principalmente pela expansão da agricultura, indústria e degradação do meio ambiente. Assim, a busca de métodos mais eficientes de irrigação e fontes alternativas de recursos hídricos, como a utilização de águas residuárias na agricultura vem se tornando tendência mundial (REBOUÇAS, 2010).

A utilização de águas residuais tratadas é praticada preferencialmente para usos que requerem maior procura deste recurso e que sejam compatíveis com a qualidade mais corrente dos efluentes provenientes das Estações de Tratamento de Água Residuária (ETAR). O uso na irrigação agrícola é o grande domínio de aplicação da reutilização de águas residuais, pois a agricultura consome cerca de 65% dos recursos hídricos utilizados (ASANO et al., 2007), percentagem que varia de acordo com nível de desenvolvimento da agricultura de cada país. Mas a água é reutilizada para diversas outras finalidades, nomeadamente as seguintes, citadas por ordem decrescente de volume utilizado: a irrigação paisagística (aplicação na qual se destaca a rega de campos de golfe), a reutilização industrial (principalmente como reciclagem de água de arrefecimento), a recarga de aquíferos, determinados usos recreativos e ambientais, usos urbanos que não obrigam à utilização de água potável e até como reforço de origem de água bruta para produção de água para consumo humano (MONTE & ALBUQUERQUE, 2010).

Para usar águas residuárias, é necessário se conhecer, primeiro, suas características físicas, químicas e microbiológicas, de forma que se possam constituir medidas adequadas de proteção ambiental e a escolha de tecnologias acertadas para a sua disposição no ambiente. A tecnologia a ser empregada deve visar à maior eficácia no aproveitamento do resíduo e à redução dos impactos negativos sobre o ambiente (PEREIRA, 2006).

### 3.2 AGUA RESIDUÁRIA DOMESTICA

A abundância de nutrientes que integra as águas residuárias oriundas de esgotos domésticos é uma das principais razões de sua aplicação na agricultura. Mediante a irrigação com água de esgotos tratados minimiza-se, ou até mesmo se elimina o uso de fertilização com adubos químicos, o que pode refletir uma redução de 50% dos custos de produção e, além disso, os cultivos irrigados com águas residuárias apresentam maiores rendimentos que os cultivos irrigados com águas normais e fertilizados com adubos químicos (LÉON & CAVALLINI, 1999).

A composição dos esgotos deriva dos usos das águas de abastecimento e varia com o clima, os hábitos e as circunstâncias socioeconômicas da população e da descarga de efluentes industriais, infiltração de águas pluviais, idade das águas residuárias, entre outros (JORDÃO & PESSOA, 2005). Apesar de sua composição variar, os esgotos apresentam uma fração sólida, principalmente matéria orgânica com grande diversidade de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários e helmintos). Segundo Foresti et al., (2006), os esgotos domésticos são caracterizados pela composição do material orgânico biodegradável que contribuem com seu tratamento em sistemas baseados na ação biológica dos microrganismos.

Águas residuais domésticas não tratadas nos meios receptores ocasionam um impacto ambiental negativo, inversamente proporcional à respectiva capacidade de depuração, decorrente da alta carga orgânica e da existência de microrganismos patogênicos nesses efluentes (SECO et al., 2008).

As águas residuais urbanas são águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e pluviais coletadas para a rede de drenagem pública, podendo conter substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas e suspensas na água. As águas residuais urbanas consistem, assim, numa complexa mistura de substâncias, gerado por numerosos microrganismos de múltiplos tipos, muitos dos quais são de origem fecal e alguns são patogênicos (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

O tratamento convencional das águas residuais urbanas regularmente denominadas como «tratamento secundário», não remove completamente os componentes das águas residuais, que assim são lançados no meio receptor, comumente uma massa de água superficial, mas também o solo em casos menos frequentes, o que possibilita que consigam atingir águas subterrâneas (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).



### 3.3 ÁGUA RESIDUÁRIA DE LATICÍNIOS

A produção mundial de leite de vaca em 2015 foi de 656 mil t, e os dez países com maior volume produziram 374 mil t, o que representa 57% do total, segundo os dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO).

A indústria de laticínio brasileira mais que dobrou seu faturamento nos últimos 7 anos. Em 2010 o faturamento global da indústria de laticínios no Brasil era de cerca de R\$ 33,1 bilhões anuais e no fim de 2016 já estava em R\$ 67,5 bilhões. A produção nacional de leite está estimada em 34 bilhões de litros, o que coloca o Brasil em quarto lugar no ranking mundial dos países produtores (ZOCCAL, 2017).

O emprego de águas residuárias de laticínios na agricultura é uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além da disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, ciclagem de nutrientes e aumento na produção agrícola (MATOS et al., 2010). Contudo, é preciso aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias de laticínios, para que isso possa tornar-se prática viável.

O uso de águas residuárias no solo como fonte de nutrientes e água, pode ocasionar impactos ambientais positivos e/ou negativos no sistema solo-planta, relacionados a alterações físicas, químicas e biológicas (MATOS et al., 2010; RODRIGUES et al., 2011).

O setor de laticínios tem convivido com o consumo de água de limpeza, que reflete mais de 80% da demanda de água nestas agroindústrias, sendo sucessivamente tratada em sistema de tratamento de resíduos. Os sólidos solúveis e suspensos, tratados nestes sistemas, constituem parte da matéria prima ou resíduos de sanificantes. Considerando os diversos estágios de produção de efluentes na indústria de laticínios, as etapas de limpeza também agregam às águas, complexos tanto provenientes do leite, quanto estranhos à sua composição (BRIÃO, 2007).

A diminuição do volume emitido e a redução da carga do efluente da indústria de laticínios podem ser abordadas com duplo foco. O primeiro se refere à diminuição do consumo de água, a qual é conquistada por meio da prevenção. A segunda abordagem é efetuada com o tratamento “*in plant*”, na qual processos são instalados em complementação aos tradicionais, procurando remover a carga orgânica do efluente e retomando um concentrado para a reutilização (BRIÃO, 2007). O uso da água no processamento de alimentos produz grandes quantidades de efluentes líquidos, que precisam ser tratados antes do seu lançamento em corpos hídricos receptores. Dentre as indústrias alimentícias, a

colaboração dos laticínios na poluição dos corpos hídricos é muito significativa, visto que o beneficiamento do leite produz uma considerável carga poluidora, devido à presença de grande quantidade de compostos orgânicos em suspensão nas águas residuárias (MATOS et al., 2010).

A quantidade de água residuária produzida na atividade pode variar de 1 a 5 vezes o volume de leite processado, dependendo do produto final e do nível tecnológico da indústria de laticínios e, de acordo com a carga poluente que essas águas possuem, pode-se perceber que grandes impactos ambientais podem ser gerados se elas não forem corretamente tratadas e dispostas no ambiente. No que se referem ao aspecto qualitativo, as escolhas para tratamento ou recuperação de águas servidas envolvem inúmeras e diferentes alternativas, várias delas onerosas e complicada e outras de baixo custo e acessível (MATOS et al., 2010).

#### 3.4 IMPACTOS CAUSADO PELO O USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NO SOLO

Os efeitos do uso de águas residuárias nas propriedades físicas e químicas do solo só se expressam depois de um longo período de uso e dependem das características do solo e do clima (ERTHAL, et al., 2010).

A contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais em áreas com reúso de água está intimamente associada às características da água residuária e às propriedades de retenção e transmissão de água e solutos do solo, que podem limitar seu uso (CAOVILLA et al., 2010). Outro fator importante está ligado à textura do solo, visto que a retenção física, em função do tamanho de partícula, desempenha forte influência sobre a capacidade suporte do solo.

As eminentes modificações relatadas para os solos fertirrigados com águas residuárias se resumem aos efeitos em relação ao carbono e nitrogênio totais, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007).

O uso de águas residuárias no sistema solo-planta, quando feita sem critério ambiental, pode ocasionar problemas de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas; no entanto, se bem articulada este uso pode acarretar ganhos, bem como fonte de nutrientes e água para as plantas, diminuição da aplicação de fertilizantes e de seu potencial poluidor. Neste sentido se reveste de importância avaliar as taxas de aplicação mais indicadas da água residuária em questão, baseado nos solutos presentes em maiores concentrações e estabelecer seus efeitos na perspectiva ambiental (ERTHAL, et al., 2010).

### 3.5 DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO

O movimento da água no solo é um dos assuntos mais intensivamente estudados na física do solo devido principalmente à sua importância relacionada à disponibilidade de água para as plantas e ao transporte de solutos no solo. Este último fator recebeu uma atenção mais acentuada nas últimas décadas pela necessidade de se descrever e modelar os processos envolvidos na lixiviação de nutrientes, metais pesados, fertilizantes, pesticidas e consequente poluição do solo e aquíferos (ENGLER, et al., 2008).

A dinâmica da água no solo desloca os solutos para as distintas profundidades do perfil, movimento durante o qual uma parte dos solutos pode ser absorvida pelas plantas, outra perdida por percolação profunda e outra pode ser precipitada (SANTOS et al., 2010).

Para Engler et al (2008) a movimentação da água no solo pode ocorrer em condições saturadas, situação em que todos os poros do solo estão preenchidos com água e em condições não saturadas, quando parte dos seus poros está preenchido com ar. A quantificação do movimento da água no solo, tanto sob as condições de saturação como sob as de não saturação, tem sido feita pelas chamadas equações de fluxo para regime estacionário e regime transiente.

### 3.6 DINÂMICA DOS SOLUTOS NO SOLO

O movimento de solutos no solo depende de fatores relacionados às propriedades do meio poroso e suas interações, propriedades do líquido percolante e as condições ambientais que influenciam nos parâmetros de transporte dos solutos. Dentre os fatores que influenciam o processo de migração e a retenção de substâncias químicas podem ser destacados: o tipo de solo, mineralogia, capacidade de troca catiônica, espécies de cátions absorvidos, velocidade de percolação e teor de matéria orgânica; concentração do contaminante, presença de outras substâncias na solução percolante, as condições hidrogeológicas e temperatura e pH do meio (COSTA, 2000).

A importância do estudo do transporte de solutos no solo reside no fato de que, a partir do conhecimento das propriedades e das interações de determinada substância química com o meio e de sua movimentação e persistência no solo, é possível se prever os riscos de contaminação e os impactos que ela pode causar ao meio ambiente (Piffer, 1989).

### 3.7 COEFICIENTES DE DISPERSÃO-DIFUSÃO E FATOR DE RETARDAMENTO

A mobilidade dos íons no solo pode ser avaliada por meio de técnicas baseadas em deslocamento de fluidos miscíveis e recursos computacionais. Os modelos físico-matemáticos podem ser ajustados a dados experimentais oriundos de ensaios de lixiviação e eluição de íons em colunas de solo, em campo ou no laboratório, por meio de programas computacionais, tais como o Disp-1.1, desenvolvido por Borges Júnior & Ferreira (2006). Tais modelos se constituem em ferramentas poderosas por possibilitarem a caracterização da mobilidade dos solutos no solo com base na dispersão, difusão e retardamento dos solutos em relação ao avanço da interface entre o líquido deslocador e o deslocado.

Dentro deste contexto, modelos de simulação podem proporcionar um entendimento melhor dos processos que ocorrem no solo, relativos ao deslocamento de solutos, constituindo-se em ferramentas aplicáveis a estudos de minimização de impactos ao ambiente. A especificidade da simulação da circulação da água no solo resulta da necessidade de se modelar as curvas de retenção da água e da condutividade hidráulica, envolvendo um conjunto reduzido de parâmetros específicos do solo em estudo (NEVES et al., 2000).

Para o sucesso da simulação e resolução das equações que predizem o deslocamento de solutos no solo, é necessária uma determinação realista dos parâmetros de transporte que influenciam na relação solo-soluto. Os parâmetros mais importantes que devem ser determinados para este fim, são a velocidade da água no poro, os coeficientes de difusão-dispersão e o fator de retardamento, este último definido por Valocchi (1984) como sendo a relação entre a velocidade do soluto reativo e a velocidade média da água no poro revelando, portanto, as interações entre as fases líquida e sólida que ocorrem no trajeto da solução deslocadora no solo. O coeficiente de difusão dispersão é um parâmetro físico que considera a difusão iônica e a dispersão mecânica na solução do solo (GENUCHTEN & WIERENGA, 1986).

O fator de retardamento expressa a capacidade do solo reter os solutos à medida em que o fluxo de massa avança e depende das interações entre as fases líquida e sólida que ocorrem durante a percolação (MELO et al., 2006). Campos & Elbachá (1991) definem fator de retardamento como a capacidade de retenção ou efeito tampão do solo para um elemento ou composto existente em um resíduo. Para Valocchi (1984) o fator de retardamento representa a defasagem entre a velocidade de avanço do soluto e a velocidade de avanço da frente de molhamento da solução percolante; desta forma, sendo o fator de retardamento um

parâmetro que, indiretamente, expressa a capacidade do solo em reter íons, fica clara sua dependência em relação às interações entre a fase líquida e a fase sólida, durante a percolação da solução no solo.

O fator de retardamento é expresso pela Equação (1):

$$R = 1 + \frac{\rho k}{\theta} \quad (1)$$

Em que: R – fator de retardamento (R = 1, não ocorre reação do solo-soluto)

$\rho$  – massa específica do solo ( $M L^{-3}$ )

k – coeficiente empírico de distribuição ( $L^3 M^{-1}$ )

$\theta$  – teor de água do solo, em base volume ( $L^3 L^{-3}$ )

O coeficiente dispersivo-difusivo traduz o efeito aditivo de dois fenômenos de mistura, ou seja, a difusão, que é um processo espontâneo que resulta do movimento térmico dos íons e moléculas em solução, e a dispersão, que decorre do movimento diferenciado de solutos no solo, proporcionado por variações na velocidade de deslocamento da solução dentro dos poros individuais e entre poros de diferentes formas, tamanhos e direções (FERREIRA et al., 2006).

Segundo Van Genuchten et al., (1974), o coeficiente de dispersão-difusão, também denominado coeficiente de dispersão hidrodinâmica, coeficiente de difusão aparente ou dispersão longitudinal, expressa dois fenômenos de transporte aditivos: a dispersão mecânica, que representa o movimento diferenciado de solutos no solo, proporcionado por variações na velocidade de deslocamento da solução dentro dos poros individuais e entre poros de diferentes formas, diâmetros médios e direções, e a difusão iônica, que é o movimento térmico natural de constituintes dissolvidos e que ocorre em razão da existência de gradientes de concentração. De acordo com os mesmos autores o coeficiente de dispersão-difusão é determinado pela seguinte Equação 2:

$$D = \frac{vL_c}{4\pi R^2 b^2} \quad (2)$$

Em que: D – coeficiente de dispersão-difusão ( $L^2 T^{-1}$ )

v – velocidade média de avanço da solução percolante nos poros ( $L T^{-1}$ )

$L_c$  – comprimento da coluna (L)

R – fator de retardamento (adimensional)

b – declividade da curva de eluição ( $L L^{-1}$ )

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em colunas de percolação no Laboratório de Irrigação e Drenagem, LEID da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 7°15'18'' latitude sul, 35°52'28'' de longitude oeste, com altitude média de 550 m.

### 4.1 SOLOS UTILIZADO NA PERCOLAÇÃO DAS COLUNAS DE SOLO

Para a montagem das colunas as amostras dos solos passaram pelo o mesmo tratamento, que consistiram em secagem ao ar durante 24 horas, destorroamento e peneiramento em uma malha de 2,0 mm. Foi utilizado no experimento, colunas de vidro, com 26,0 cm de altura e 6,0 cm de diâmetro interno; na extremidade inferior da coluna foi colocado um círculo feito com tela de nylon sobre tela, outro círculo feito com lã de vidro, para sustentação do material e deter a perda de solo durante os ensaios. Os discos foram presos à coluna com o auxílio de uma braçadeira de metal de diâmetro ligeiramente superior ao da coluna. Na parte superior da coluna, sobre o solo, foi colocada lã de vidro, de modo a possibilitar melhor distribuição do líquido a ser percolado e garantir uniformidade de infiltração das águas residuárias no solo.

Foram usados dois tipos de solos, classificados segundo a EMBRAPA como sendo Nitossolo e Neossolo Regolítico Eutrófico, a caracterização física encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características físicas das amostras de solos Neossolo Regolítico Eutrófico e Nitossolo utilizados nos ensaios**

<b>Características</b>	<b>Neossolo Regolítico Eutrófico</b>	<b>Nitossolo</b>
Areia (%)	92,60	68,60
Silte (%)	5,40	15,18
Argila (%)	2,0	16,22
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	1,52	1,40
Densidade das partículas (g cm <sup>-3</sup> )	2,66	2,74
Porosidade total	0,43	0,49

**Fonte:** Construída com os dados da pesquisa.

Na Tabela 2 encontram-se os valores referentes à caracterização química dos solos utilizados nos ensaios de lixiviação.

**Tabela 2 - Caracterização química das amostras de solos Nitossolo e Neossolo Regolítico Eutrófico**

Características	Nitossolo	Neossolo Regolítico Eutrófico
pH	5,9	4,97
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	2,62	4,97
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	0,30	43,10
Sódio (cmol dm <sup>-3</sup> )	0,12	0,06
Cálcio (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,36	0,55
Magnésio (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,75	0,30
H <sup>+</sup> +Al <sup>2+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	3,53	1,65
MO <sup>1</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	6,50	4,06
CTC <sup>2</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	2,67	2,67
SB <sup>3</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	5,10	1,02

<sup>1</sup>M.O.: Matéria Orgânica; <sup>2</sup>CTC: Capacidade de Troca Catiônica e <sup>3</sup>SB: Soma de Bases Trocáveis

**Fonte:** Construída com os dados da pesquisa.

As colunas foram preenchidas com solo até se obter uma altura de 20,0 cm, que foi acomodado de forma a possibilitar uniformidade quanto à sua densidade, em toda a coluna. Foi monitorado o preenchimento da coluna com os agregados de solo, de maneira a se atingir uma densidade próxima ou igual à encontrada em campo, determinada em laboratório. A densidade de solo para cada coluna foi obtida com a Equação 1:

$$D_s = \frac{m}{v} = \frac{m_{c+s} - m_c}{v} \quad (1)$$

em que: D<sub>s</sub> – densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

m – massa de solo na coluna (g)

v – volume de solo na coluna (cm<sup>3</sup>)

m<sub>c+s</sub> – massa total (coluna e acessórios + solo) (g)

m<sub>c</sub> – massa da coluna + acessórios (g)

## 4.2 SATURAÇÕES DAS COLUNAS

Após a confecção, cada coluna foi colocada em um recipiente de plástico, preenchido até 2/3 da altura da coluna de solo com água destilada. As colunas foram deixadas em repouso durante 36 horas em água destilada.

## 4.3 ÁGUAS RESIDUÁRIAS UTILIZADAS

Foram usadas dois tipos de águas residuárias: agroindústria de laticínio, localizado próximo ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido CDSA/UFCG/SUMÉ, o mesmo trabalha com o beneficiamento do leite de cabra de produtores da região e a água residuária doméstica tratada, oriunda da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Sumé, PB, que recebe e trata um percentual significativo dos esgotos produzidos no município. As caracterizações das águas utilizadas nos ensaios encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3 - Análise química da água residuária doméstica tratada e da água residuária de laticínio utilizadas nos ensaios com as colunas de solo\***

Parâmetros	Água residuária doméstica tratada	Água residuária de Laticínio
pH	8,21	5,17
CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,84	3,907
Ca <sup>++</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	3,80	6,62
Mg <sup>++</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	3,65	7,21
Na <sup>++</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	11,13	18,38
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	1,13	7,33
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,39	Presença
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	1,40	22,15
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	12,30	8,50
Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	13,70	22,15
RAS	5,77	6,99

\*Realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB

**Fonte:** Construída com os dados da pesquisa.



#### 4.4 ENSAIOS E COLETA DE EFLUENTES

A coluna preenchida com solo e devidamente saturada posteriormente foi ligada a um frasco de Mariotte contendo água destilada, por período suficiente para passar aproximadamente dois volumes de poros, mantendo-se uma lâmina constante de 4,0 cm acima do solo. Após serem percolados os dois volumes de poros de água destilada e sua completa infiltração no solo, a coluna foi interligada a outro frasco de Mariotte contendo a água residuária e se mantendo, também, a lâmina de 4,0 cm na superfície.

O volume de poros de cada coluna foi determinado pela Equação 2:

$$V_p = \pi r^2 h \left( 1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \quad (2)$$

em que:  $V_p$  – volume de poros ( $\text{cm}^3$ )

$r$  – raio da coluna (cm)

$h$  – comprimento da coluna (cm)

$D_s$  – densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$D_p$  – densidade das partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ )

O monitoramento da água percolada por meio das colunas foi iniciado com a lixiviação da primeira gota de água em sua extremidade inferior, após a total infiltração da água destilada no solo.

Foram aplicados 3,5 número de volumes de poros de cada uma das águas residuárias em cada coluna, divididos em 20 alíquotas de 0,15 volume de poros do efluente, as quais foram coletadas em proveta de 50 mL e acondicionadas em frascos plásticos de 100 mL. Em seguida foram determinadas as concentrações dos íons potássio e sódio por fotometria de emissão de chama. As análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água do CDSA/UFMG.

De acordo com as concentrações do potássio e sódio no efluente ( $C$ ), foram calculadas as concentrações relativas ( $C/C_0$ ) para cada um dos íons, em que  $C_0$  é a concentração desses cátions nas águas residuária doméstica e de laticínio. Conhecendo-se a relação  $C/C_0$  se construíram curvas de efluentes para cada um dos íons e para a condutividade elétrica relativa.

O fluxo ( $q$ ) de cada coluna foi calculado por meio da relação:

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{Ve}{At} \quad (3)$$

em que:  $q$  – fluxo ( $\text{cm min}^{-1}$ )

$Q$  – vazão ( $\text{cm}^3 \text{h}^{-1}$ )

$A$  – seção transversal da coluna ( $\text{cm}^2$ )

$Ve$  – volume total de efluente ( $\text{cm}^3$ )

$t$  – intervalo de tempo para coletar o volume  $Ve$  (h)

A velocidade de avanço da solução percolante para cada solo foi determinada empregando-se a Equação 3:

$$V_f = \frac{q}{\alpha} \quad (4)$$

em que:  $V_f$  – velocidade de avanço ( $\text{cm h}^{-1}$ )

$q$  – fluxo ( $\text{cm min}^{-1}$ )

$\alpha$  – porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

#### 4.5 USO DO MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSPORTE

Os fatores de retardamento e o coeficiente dispersivo-difusivo, foram determinados utilizando-se o modelo computacional DISP (Programa para cálculo dos parâmetros de transporte de solutos no solo em deslocamento de fluidos miscíveis), desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, por Borges Júnior & Ferreira (2006); com ele se ajustaram as curvas dos efluentes para cada um dos íons.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICA TRATADA E DE LATICÍNIO

Os valores médios de volume de poros, fluxo e velocidade média de avanço das soluções alcançadas durante os ensaios com as colunas preenchidas com os solos Nitossolo e Neossolo Regolítico Eutrófico e lixiviadas com águas residuárias doméstica e de laticínio, encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4 - Valores médios das características volume de poros, fluxo e velocidade de avanço da solução nas colunas de solo, verificados para os ensaios com água residuária doméstica e de laticínio**

Características físico-hídricas	Solos	
	Nitossolo	Neossolo Regolítico Eutrófico
	<b>Água Residuária Doméstica Tratada</b>	
Volume de poros (cm <sup>3</sup> )	348,89	262,82
Fluxo (cm h <sup>-1</sup> )	24,68	3,57
Velocidade de avanço (cm h <sup>-1</sup> )	50,37	8,31
	<b>Água Residuária de Laticínio</b>	
Volume de poros (cm <sup>3</sup> )	348,89	262,82
Fluxo (cm h <sup>-1</sup> )	20,57	4,37
Velocidade de avanço (cm h <sup>-1</sup> )	41,98	10,18

**Fonte:** Construída com os dados da pesquisa.

Observa-se que os maiores valores obtidos, tanto para o fluxo como para a velocidade de avanço das águas residuárias doméstica tratada e de laticínio, foram constatados quando as colunas foram preenchidas com Nitossolo. Esses resultados estão coerentes com os valores de porosidade verificados para este solo e o volume de poros observados nas Tabelas 1 e 4, respectivamente.

A velocidade de avanço do fluxo nas colunas preenchidas com os solos é dependente das características do solo e das soluções que estão sendo utilizadas no solo. Portanto, as qualidades das águas residuárias também influíram na velocidade de avanço sendo o Nitossolo o que demonstrou maiores valores independente do tipo de água. Contudo, o maior valor foi verificado quando lixiviou-se água residuária doméstica tratada, supostamente

devido à água residuária de laticínio apresentar maior quantidade de material em suspensão impossibilitando a passagem da água pelos microporos do solo.

## 5.2 PARÂMETROS DE TRANSPORTE PARA OS SOLOS NITOSSOLO E NEOSSOLO REGOLÍTICO EUTRÓFICO

### 5.2.1 Fator de Retardamento para os íons sódio e potássio

Encontram-se na Tabela 5 os valores médios do fator de retardamento (R), obtidos para os íons sódio e potássio, por meio do ajustamento do modelo físico para concentração no fluxo, implementado no programa DISP (BORGES JUNIOR & FERREIRA, 2006), aos dados experimentais oriundos dos ensaios nas colunas de solo que receberam água residuária doméstica tratada e de laticínio.

**Tabela 5 - Valores médios dos fatores de retardamento (R) calculados para as curvas de efluente do sódio e potássio**

Tipos de Água	Nitossolo		Neossolo Regolítico Eutrófico	
	Sódio	Potássio	Sódio	Potássio
Residuária Doméstica Tratada	1,187	1,074	2,175	7,116
Residuária de Laticínio	1,841	1,597	1,979	2,307

**Fonte:** Construída com os dados da pesquisa.

Conforme os dados expostos na Tabela 5, o maior valor verificado para o fator de retardamento ocorreu para o potássio no Neossolo Regolítico Eutrófico. O fator de retardamento, por ser uma característica que determina a capacidade do solo em reter os solutos depende, à medida que o fluxo de massa avança, das interações entre as fases líquida e sólida que ocorrem durante a percolação (MELO et al., 2006).

Nota-se que, quanto menor a velocidade de avanço da solução na coluna de solo maior é o tempo de contato entre os íons e os colóides do solo, podendo haver maior retenção dos solutos ocasionando aumento no fator de retardamento, evento perceptível para o solo Neossolo Regolítico Eutrófico o qual apresenta velocidade de avanço de 8,31 e 10,18 cm h<sup>-1</sup>, para água A abundância de nutrientes que integra as águas residuárias oriundas de esgotos domésticos é uma das principais razões de sua aplicação na agricultura. Mediante a irrigação com água de esgotos tratados minimiza-se, ou até mesmo se elimina o uso de fertilização com adubos químicos, o que pode refletir uma redução de 50% dos custos de produção e, além disso, os cultivos irrigados com águas residuárias apresentam maiores rendimentos que os

cultivos irrigados com águas normais e fertilizados com adubos químicos (LÉON e CAVALLINI, 1999). Residuaária doméstica tratada e de laticínio, respectivamente como é mostrado na tabela 4, e maiores valores de fator de retardamento para ambas as águas e íons estudados.

O fator de retardamento de um soluto representa o deslocamento da curva de efluente para a direita (quando maior que 1) ou para a esquerda (quando menor que 1), indicando a interação solo-soluto. O fator de retardamento mais próximo a 1 foi calculado para o potássio no Nitossolo quando a coluna recebeu água residuaária doméstica tratada.

### 5.2.2 Coeficiente de dispersão dos íons sódio e potássio

Situa-se, na Tabela 6, os valores médios equivalentes ao coeficiente de dispersão-difusão (D) para os íons sódio e potássio, adquiridos por meio de ajuste do modelo físico para concentração no fluido, implementado no programa DISP, aos dados experimentais obtidos em ensaios com colunas de solo, preenchidas com Nitossolo e Neossolo Regolítico Eutrófico, que receberam água residuaária doméstica tratada e de laticínio.

**Tabela 6 - Valores médios dos coeficientes de dispersão-difusão (D) calculados para as curvas de efluente do sódio e potássio**

Tipos de Água	Nitossolo		Neossolo Regolítico Eutrófico	
	Sódio	Potássio	Sódio	Potássio
Residuaária Doméstica Tratada	62,9986	7,8965	30,1033	173,7229
Residuaária de Laticinio	134,4922	10,9631	84,6363	298,7871

**Fonte:** Construída com os dados da pesquisa.

Conforme os dados apresentados na Tabela 6 constatou-se que os maiores valores de coeficientes de dispersão-difusão (D), foram determinados para potássio no Neossolo Regolítico Eutrófico lixiviado com as duas águas residuaárias. Evento similar foi verificado por Santos et al., (2010) que alegaram haver uma correlação direta dos valores obtidos para coeficiente de dispersão-difusão com a velocidade de avanço da solução.

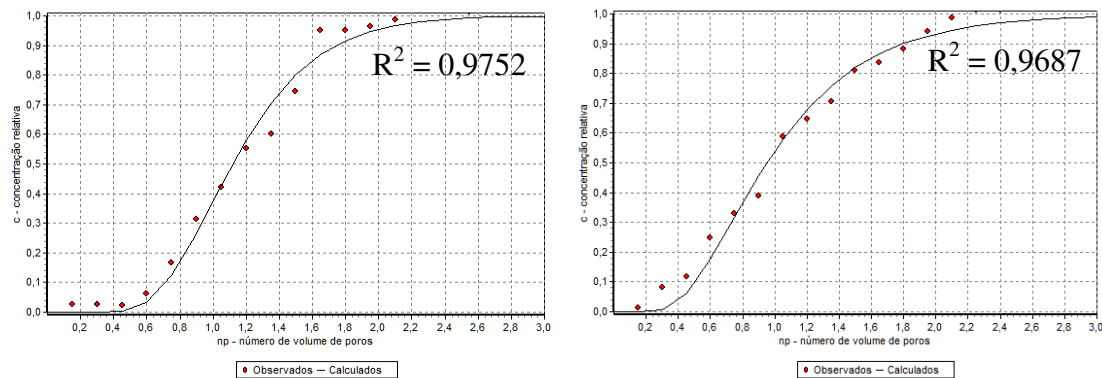
Valores mais elevados dos coeficientes de difusão-dispersão estão associados às menores inclinações das curvas de efluente e, por conseguinte, ao alargamento da faixa de mistura entre as soluções deslocadora e deslocada no perfil do solo, tornando os acréscimos

na concentração relativa, baixos, para acréscimos no número de volume de poros (NIELSEN; IGGAR, 1962).

### 5.3 CURVAS DE EFLUENTES PARA OS ÍONS SÓDIO E POTÁSSIO

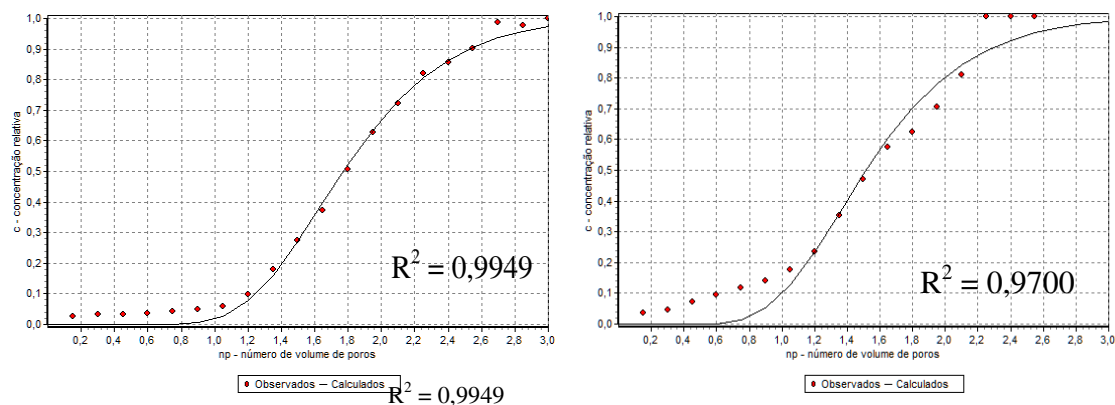
Nos Gráficos 1, 2, 3 e 4 estão as curvas de efluentes da água residuária doméstica tratada e de laticínio para os íons sódio e potássio, obtidas para os solos Nitossolo e Neossolo Regolítico Eutrófico, ajustadas por meio do programa DISP aos dados obtidos nos ensaios de laboratório.

**Gráficos 1 - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Nitossolo e água residuária doméstica tratada.**



Fonte: Construídos com os dados da pesquisa.

**Gráficos 2 - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Neossolo Regolítico Eutrófico e água residuária doméstica tratada.**

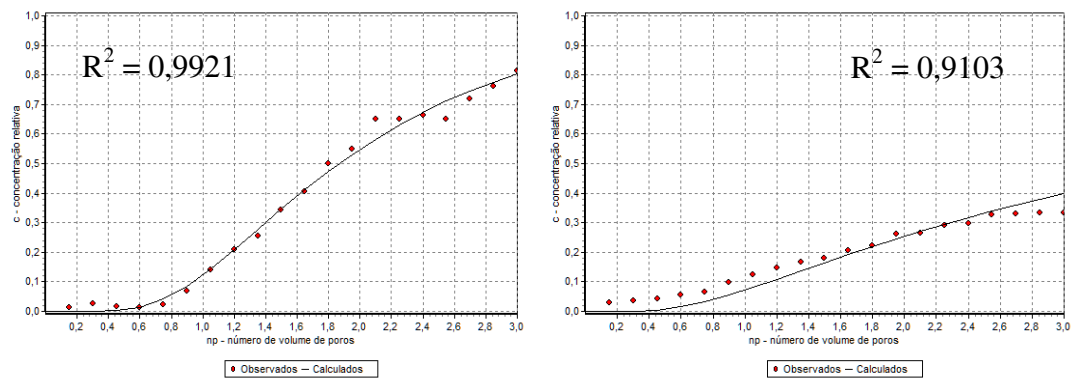


Fonte: Construídos com os dados da pesquisa.

Podem-se obter, a partir da curva de eluição, informações da existência ou não de interação da solução com a fração sólida do solo. Segundo Nielsen & Biggar (1962) quando na curva o valor é equivalente à concentração relativa 0,5 é maior que 1 volume de poros, isto é, a curva de efluente se aponta deslocada para a direita, significa que, ao escoar através do perfil do solo, parte do soluto é adsorvida, indicando um fator de retardamento maior que a unidade. Quanto maior a distância do valor unitário maior será o fator de retardamento, maior será a interação soluto-solo.

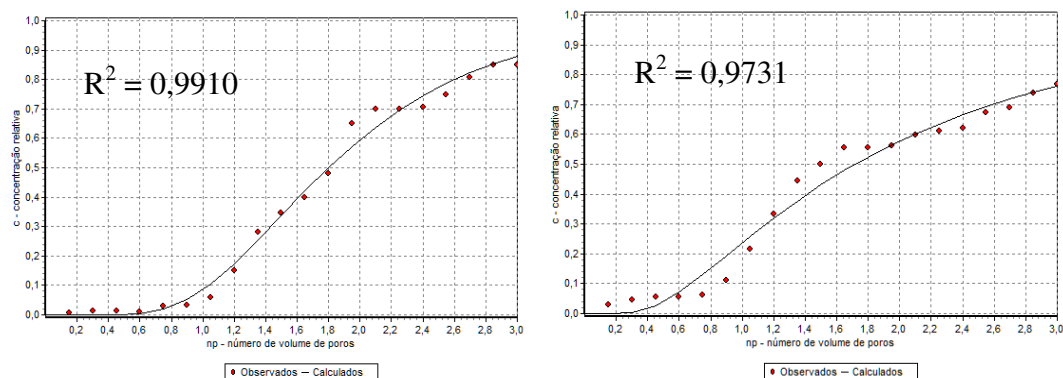
Os coeficientes de dispersão-difusão (D) no solo Neossolo Regolítico Eutrófico foram superiores, bem como a menor inclinação observada nas curvas de efluentes, como pode ser observado na Gráfico 2 para o potássio.

**Gráficos 3 - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Neossolo Regolítico Eutrófico e água residuária de laticínio.**



Fonte: Construídos com os dados da pesquisa.

**Gráfico 4 - Curvas de efluente para o sódio e potássio, ajustadas utilizando o programa computacional DISP, para o solo Nitossolo e água residuária de laticínio**



Fonte: Construídos com os dados da pesquisa.

Comparando-se as curvas de efluentes para o sódio, obtidas para o Neossolo Regolítico Eutrófico, e para o Nitossolo, Figuras 3 e 4, respectivamente percebe-se que, de maneira geral, o comportamento se assemelha.

O efeito de adsorção do íon sódio no Neossolo Regolítico Eutrófico quando utilizado água residuária domestica tratada, pode ser observado pela curva de distribuição de efluente desse íon (Gráfico 2), o que reflete a obtenção do maior valor encontrado para o fator de retardamento para este íon, em relação ao potássio.

Quando a curva de efluente se mostra mais inclinada para a direita indica maior interação solo-soluto, apresentando fatores de retardamento maior que 1, o que pode ser observado na Gráfico 4 mostrando coerência com os valores observados na Tabela 5 para ambas as águas e os solos.

As curvas de distribuição de efluentes analisadas para os dois tipos de solos e das águas residuárias usadas nas lixiviações se apresentam deslocada para a direita, fato que é apresentado em conformidade com os  $R > 1$ , que indica interação solo-soluto.

Os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) determinados para as curvas de efluentes foram maiores que 0,91, comprovando a alta correlação entre valores observados experimentalmente e valores regulados pelo programa computacional DISP.



## 6 CONCLUSÃO

1. Os valores mais elevados dos fatores de retardamento ocorreram para o solo com menor porosidade, indicando maior retenção dos íons sódio e potássio, neste solo.
2. Os maiores valores dos coeficientes dispersivos-difusivos foram determinados para Neossolo Regolítico Eutrófico independente do tipo de água residuária utilizada nos ensaios.

## REFERENCIAS

- ASMUS, R. F. **Sistema para conservar o nitrogênio na urina visando seu reuso como fertilizante**. Dissertação, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Mato Grosso do Sul, 2009.
- BAZZARELLA, B. B.; DIAS, G. B.; BASTOS, F.P.; LEE, P.W.; GONÇALVES, R. F. Caracterização quali-quantitativa da urina humana com vistas ao aproveitamento agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. Anais...Rio de Janeiro: ABES, v.1, p. 186-187, 2005.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; NUCCI, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, p. 72-122, 2002.
- BRIÃO, V. B. **Processos de separação por membranas para reuso de efluentes de laticínios**. Maringá, 2007, 94 p. (Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá).
- BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reuso de efluentes de laticínios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**., Rio de Janeiro, v. 12, n.2, 2007.
- BORGES JUNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A. Equações e programa computacional para cálculo do transporte de solutos no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.604-611, 2006.
- CAMPOS, T. M.; ELBACHÁ, A. T. Avaliação do fator de retardamento por adsorção no transporte de zinco em solos argilosos. In: Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos-Regeo'91, Rio de Janeiro, 1991. **Anais...Rio de Janeiro**, p. 271-282, 1991.
- COSTA, R. H. R.; BAVARESCO, A. S. L.; MEDRI, W.; Philippi, L. S. Tertiary treatment of piggery waste in water hyacinth ponds. **Water Science and Technology, London**, v.42, n.10-11, p. 211-214, 2000.
- ENGLER, M. P. C.; CICHOTA, R.; LIER, Q. J. V.; BLOEM, E.; SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. **An alternative approach for the determination of soil water mobility**. *Pedosphere*, v.18, p.328-334, 2008.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.467-477, 2010.
- FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F. Transporte no solo de solutos presentes na água residuária de café conilon. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.28, p.29-35, 2006.

FITTSCHEN, I.; HAHN, H. H. Characterization of the Municipal Mastewater Parameters Human Urine and Preliminary Comparison with Liquid Cattle Excretion. **Water science technology**, Alemanha, v. 38, n. 6, p. 9-16, 1998.

FONSECA, A. F. ; HERPIN, U; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n.2, p.194-209, 2007

FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: Consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges. **Reviews in Environmental Science and BioTechnology**. v.5 p.3-19. 2006.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A., **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES. p. 720, 1995.

JORDÃO, E. P. PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4.ed. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 2005.

KARAK, T.; BHATTACHARYYA, P. Human Urine as a Source of Alternative Natural Fertilizer in Agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 55, p. 400 – 408, 2011

KIPERSTOK, A.; NASCIMENTO, F.R.A.; KIPERSTOK, A.C. O tratamento em separado da urina e das fezes é uma solução viável ou uma utopia. **Revista DAE**. p. 38 – 43, 2010.

LÉON, G. S.; CAVALLINI, J. M., **Tratamento e uso de água residuária**. Tradução de H.R. Gheyi, A. Konig, B.S.O. Ceballos, F.A.V. Damasceno, UFCB, Campina Grande-PB, 1999.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; LO MONACO, P. A. V.; SARMENTO, A. P.; MATOS, M. P. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1311-1317, 2010.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; MARTINEZ, M. A.; TÓTOLA, M. R.; AZEVEDO, A. A. Tifton grass yield on constructed wetland used for swine wastewater treatment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.510-516, 2010.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.456-465, 2006.

MONTE, H. M.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010

NASCIMENTO, F.R.A; KIPERSTOK, A.; BARDUKE, T. **Ganhos ambientais e mudanças no ciclo do nitrogênio a partir da separação da urina humana do sistema de saneamento.** I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 11 a 16 de julho de 2010 – Salvador / BA.

NEVES, R.; CHAMBEL-LEITÃO, P.; LEITÃO, P. C. **Modelação numérica da circulação da água no solo, o modelo mohid.** *Pedologia, Oeiras* **28**. p. 46-55. 2000.

PEREIRA, E. R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola,** 2006. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2006

PERRONA, J. F. **Eficiência do uso da água nas edificações.** Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

PIFFER, R. **Movimento e degradação de Aldicarb e Sulfona de Aldicarb em dois diferentes solos,** 1989. p. 99. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - ESAL Lavras, 1989.

REBOUÇAS, C. C. **Redução do volume e recuperação de nutrientes da urina humana através de congelamento e precipitação;** 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 20 a 25 de setembro de 2010 - Recife/PE

RIOS, E. C. S. V. **Uso de Águas Amarelas Como Fonte Alternativa de Nutriente em Cultivo Hidropônico da Alface (Lactuca sativa).** 2008. 105f. Dissertação (Mestrado em Eng. Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2008.

RODRIGUES, M. B.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; REIS, C. F.; GOMES, S. D. Efeitos de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico no solo e na produtividade da alface. *Engenharia Ambiental*, v.8, p.173-182, 2011.

SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A. de; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, L.V. B. D.; AZEVEDO, C. A. V. de. Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.1226-1233, 2010.

SOUZA, J.A.A.; BATISTA, R.O.; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. *Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011

VALOCCHI, A. J. Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective Kd approach. *Water Resources Research*, Washington, v.20, p. 499-503, 1984.

VAN GENUCHTEN, M. T. H.; DAVIDSON, J. M.; WIERENGA, P. J. An evaluation of kinetic and equilibrium equations for the prediction of pesticide movement through porous media. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, n.38, p. 29-35, 1974.

VAN GENUCHTEN, M. T. V.; WIERENGA, P. J. Solute dispersion coefficients and retardation factors. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 67, p. 1025-1054, 1986.

ZANCHETA, P.G. et al.,. **Estudo da evaporação da urina humana como método da redução de volume e concentração de nutrientes como fertilizante**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 02 a 07 de setembro de 2007 - Belo Horizonte/MG.

ZOCCAL, R. Dez países top do leite. **Revista balde branco**, 2017. Disponível em: <http://www.baldebranco.com.br/dez-paises-top-no-leite/>.