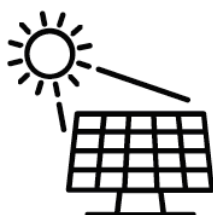




CIEEMAT`17

III Congresso  
Ibero-Americano de  
Empreendedorismo, Energia,  
Ambiente e Tecnologia:  
Livro de atas

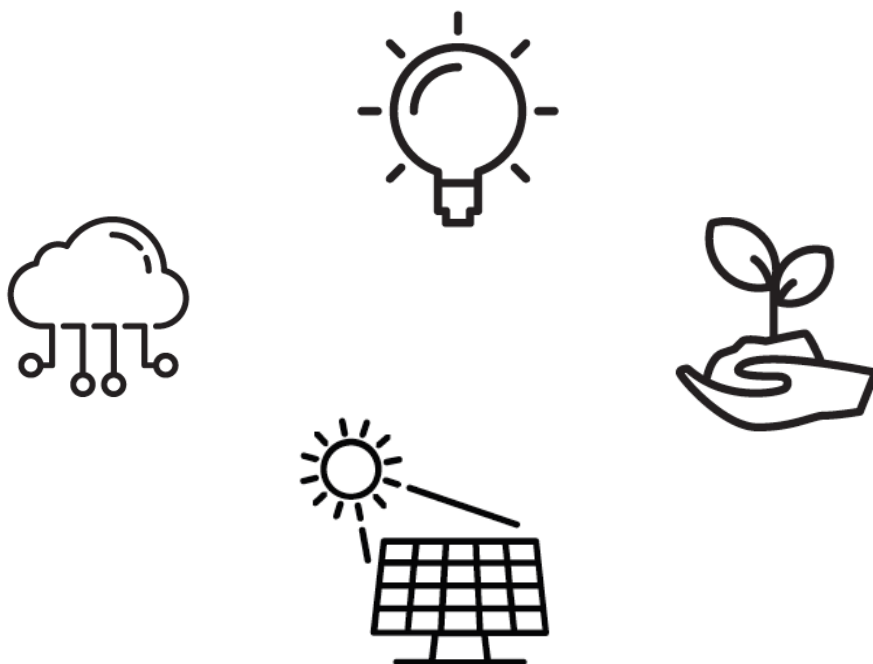
*12 a 14 de julho de 2017*





**III Congresso  
Ibero-Americano de Empreendedorismo,  
Energia, Ambiente e Tecnologia:  
Livro de atas**

*12 a 14 de julho de 2017*



**Título:** III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia: Livro de atas

**Editores:** Américo Vicente Leite  
Ana Isabel Pereira  
Ângela Paula Ferreira  
Artur Jorge Gonçalves  
João Paulo Almeida  
José Luis Calvo Rolle  
Manuel Joaquim Feliciano  
Orlando Manuel Soares  
Ronney Arismel Boloy

**Edição:** Instituto Politécnico de Bragança – 2017  
Campus de Santa Apolónia  
5300-253 Bragança  
Portugal

**Execução:** Orlando Manuel Soares

**ISBN:** 978-972-745-230-9

**URI:** <http://hdl.handle.net/10198/14339>

**Email:** [cieemat2017@ipb.pt](mailto:cieemat2017@ipb.pt)

**Apoios e Patrocínios:**



**Media Partner:**



Alberto Adrego Pinto (LIAAD, INESC TEC e FCUP, Portugal)  
Amilton Ferreira da Silva Junior(CEFET/RJ, Brasil)  
António João Carvalho Albuquerque (Universidade da Beira Interior, Portugal)  
Antonio Morán Palao (Universidad de León, Espanha)  
Bruno Baruque Zanón (Universidad de Burgos, Espanha)  
Cándido Quintana Pérez (Inst. Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana)  
Carlos Soares Borrego (Universidade de Aveiro, Portugal)  
Casimiro Adrião Pio (Universidade de Aveiro, Portugal)  
Claudinor Bittencourt Nascimento(UTFPR-Ponta Grossa, Brasil)  
Daniel de Cerqueira Lima Penalva dos Santos (IFPE, Brasil)  
Esteban Jove Pérez (Universidade da Coruña, Espanha)  
Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira (Universidade Nova de Lisboa , Portugal)  
Héctor Alaiz Moretón (Universidad de León, Espanha)  
Jakson Paulo Bonaldo (UTFPR-Campo Mourão, Brasil)  
João Azevedo (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Jorge Alberto de Medeiros Carvalho (CEFET/RJ, Brasil)  
Jorge Cara Jiménez (Universidad de León, Espanha)  
José Luis Casteleiro Roca (Universidade da Coruña, Espanha)  
Luis García Santander (Universidad de Concepción, Chile)  
Luis Hernandez Callejo (Universidad de Valladolid, Espanha)  
Manuel Ángel Graña López (Universidade da Coruña, Espanha)  
Marcus Val Springer (CEFET/RJ, Brasil)  
Miguel Latorre Zubiri (CEDER-CIEMAT, Espanha)  
Margarida Correia Marques (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro , Portugal)  
María del Carmen Meizoso López (Universidade da Coruña, Espanha)  
María Isabel Fernandez Ibañez (Universidade da Coruña, Espanha)  
María Rosario Heras Celemín (CIEMAT, Espanha)  
Paulo Jorge Pinto Leitão (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Paulo Alexandre Gonçalves Piloto (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Ricardo Quijano Hurtado (Universidad Nacional de Colombia, Colômbia)  
Rui Esteves Araújo (FEUP, Portugal)  
Soledad Muniategui Lorenzo (Universidad da Coruña, Espanha)  
Tomás Figueiredo (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Vanessa de Almeida Guimarães (CEFET/RJ, Brasil)

Adérito Neto Alcaso	José Luis Calvo Rolle
Alberto José Leira Rejas	José Luís Sousa de Magalhães Lima
Aldo R. Fernandes Nt	José Ramon Copa Rey
Américo Vicente Leite	José Tadeu Marques Aranha
Angel Luís Brito Sauvanell	Liliana Gomez Luna
Ângela Paula Ferreira	Luís Fernando dos Santos
Antonio Masdías y Bonome	Luis Hernandez Callejo
Artur Jorge Gonçalves	Luís Manuel Frólén Ribeiro
Benigno Antonio Rodríguez Gómez	Manuel Joaquim Feliciano
Carlos Jorge da Rocha Balsa	Marcellus Henrique Rodrigues Bastos
Célia dos Anjos Alves	Marcus Val Springer
David Villas Boas	Marcus Vinicius Oliveira Camara
Débora Macanjo Ferreira	Margarida Correia Marques
Elizabeth Mendes de Oliveira	María Dolores Sánchez-Fernández
Elza Maria Morais Fonseca	Maria José Varadinov
Esteban Jove Pérez	Mário Jorge Costa Tomé
Francisco Javier Pérez Castelo	Mauro Oddo Nogueira
Héctor Alaiz Moretón	Maxwell de Azevedo Ferreira
Helder Teixeira Gomes	Miguel Latorre Zubiri
Isabel Fernandez Ibañez	Orlando Manuel Soares
Izabel de Oliveira da Mota	Paula Odete Fernandes
Jaqueline Maria Ribeiro Vieira	Paulo Miguel Pereira de Brito
Jesús Diego Chouz Gestoso	Paulo Sérgio Duque de Brito
João Carlos Azevedo	Ramiro José Espinheira Martins
João Paulo Almeida	Rolando Carlos Pereira Simões Dias
João Paulo Coelho	Ronney Arismel Mancebo Boloy
João Paulo Teixeira	Silvia Maria Afonso Fernandes
Jorge Cara Jiménez	Thayse Ferrari
José António Correia Silva	Tomás d'Aquino Figueiredo
José Antonio López Vázquez	Valter Bruno Reis e Silva
José dos Santos Batista	Vanessa de Almeida Guimarães

50606	Utilização de Solos Residuais para Remoção de Matéria Orgânica e Nutrientes de Águas Residuais Tratadas .....	1
50673	Winery Wastewater Biodegradability Electrodialysis Flow .....	7
50730	Otimização no Tratamento de Água Utilizando Goma Xantana como Auxiliar de Floculação .....	13
50780	Avaliação da Eficiência de Retenção de Solos de Cobertura de Aterros Controlados por meio de Contaminação de Nanopartículas por CuO .....	17
51039	Anaerobic Co-digestion of Slaughterhouse Wastes and Forage Palm (Opuntia ficus-indica Mill) for Biogas Production .....	23
50611	Diagnóstico Parcial do Saneamento Básico: Estudo de Caso no Assentamento Rural Nossa Senhora Aparecida, Mariluz, Paraná, Brasil.....	27
50589	Análise dos Desvios de Idealidade em Reatores Combinados Anaeróbio-Aeróbios de Leito Fixo .....	33
50836	Avaliação da Concentração de Metais Pesados em Sedimentos de Rios da Bacia Hidrográfica Rio do Campo, Município de Campo Mourão, Paraná – Brasil .....	39
49002	Indicadores de Sustentabilidade em uma Indústria de Fertilizantes.....	45
49830	Análise de Ciclo de Vida de Produção de Autoclaves em Empresa de Biossegurança.....	51
50654	Revisão dos Requisitos para Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental de Acordo com a ISO 14001:2015.....	57
50721	Deteção Remota e Termografia por Infravermelhos Aplicada a Parcela no Baixo Mondego, Portugal .....	63
50729	Modelo de Gestão Universitária: Uma Proposta para Avaliação e Melhoria de Desempenho das IES Brasileiras .....	67
50736	Modelo de Saneamento Rural Desenvolvido para Pequenas Comunidades do Paraná – Brasil .....	77
50740	Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Água Bela, Goioerê, Paraná-Brasil .....	85
50678	Estudo Cinético do Processo de Eletrocoagulação Aplicado ao Tratamento de Água.....	91
49005	A study of the Hydrodynamics Behavior in a Pilot Scale Bubbling Fluidized Bed Biomass Gasifier .....	97

# Utilização de Solos Residuais para Remoção de Matéria Orgânica e Nutrientes de Águas Residuais Tratadas

Flora Silva<sup>1</sup>, Margarida Arrobas<sup>4</sup>  
ESTiG<sup>1</sup>, ESA – CIMO<sup>4</sup>  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
[flora@ipb.pt](mailto:flora@ipb.pt)<sup>1</sup>, [marrobas@ipb.pt](mailto:marrobas@ipb.pt)<sup>4</sup>

António Albuquerque<sup>2</sup>, Victor Cavaleiro<sup>3</sup>  
Faculdade de Engenharia  
Universidade da Beira Interior  
Covilhã, Portugal  
[antonio.albuquerque@ubi.pt](mailto:antonio.albuquerque@ubi.pt)<sup>2</sup>, [cavaleiro@ubi.pt](mailto:cavaleiro@ubi.pt)<sup>3</sup>

**Resumo**—O presente estudo pretende mostrar que os solos residuais graníticos da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda), na região da Beira Interior de Portugal, apresentam características físico-químicas e mineralógicas favoráveis à infiltração de águas residuais tratadas (ART) para a recarga artificial de aquíferos (RAQ). Os resultados dos ensaios de sorção em *batch* indicam que o solo apresenta capacidade reativa para remover, a eficiências elevadas, a carga residual de fosfato comum em ART.

**Palavras Chave**—solos residuais; matéria orgânica; azoto; fósforo; sorção

## I. INTRODUÇÃO

A prática de reutilização de águas residuais tratadas (ART) tem vindo a ser motivada essencialmente pela necessidade de proteção dos meios hídricos recetores dos efluentes de ETAR e pela sua escassez, podendo ser decorrente de uma situação natural ou não, exemplificada respetivamente pelo clima da região ou como consequência do crescimento demográfico e do desenvolvimento sócio-económico.

Existe assim a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos, na qual se inclui a conservação da água, e onde a reutilização de ART representa uma componente estratégica importante [1].

Os recursos hídricos são uma importante fonte de abastecimento urbano, industrial e agrícola. No entanto, quando são sobre-explorados, os volumes extraídos não são compensados pela recarga de aquíferos, provocando um rebaixamento do seu nível que pode levar à sua contaminação por água do mar ou fontes de poluição difusa [2].

Em vários países e regiões do mundo que têm evidenciado grandes dificuldades em satisfazer as suas necessidades de água (em especial zonas áridas e semi-áridas) as soluções tomadas para reduzir a escassez de água têm incluído a recarga artificial de aquíferos (RAQ) com ART [3, 4, 5].

A RAQ com ART é uma das formas que pode contribuir para manter as reservas de água no solo [6], podendo ser feita por injeção direta ou por infiltração no solo (neste caso, as características da água sofrem um tratamento de afinação natural proporcionado por mecanismos de sorção,

biodegradação e filtração). A recarga indireta por infiltração é um método interessante para a gestão de volumes extraídos em zonas de sobre-exploração do recurso, além de funcionar como processo de tratamento de afinação. A infiltração rápida em bacias de infiltração permite a afinação do efluente no solo, funcionando este como um filtro (é o designado *Soil Aquifer Treatment* (SAT)) [7].

Quando a infiltração é efetuada à superfície do solo ou na zona não saturada (zona vadosa), grande parte da matéria orgânica, formas de azoto, fósforo e metais pesados são removidos ou convertidos no primeiro metro de solo [7]. A maior preocupação reside nos nitratos, que resultam da oxidação do amónio, e na carga bacteriológica. Contudo, se a zona de infiltração se localizar em solos permeáveis, com menos de 10% de argila e com propriedades reativas, com uma altura mínima da zona não saturada de 5 m [8], que permita taxas de infiltração entre 0,2 e 1 m/d, a concentração dos referidos poluentes e patogénicos será reduzida significativamente.

Vários estudos [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16] evidenciaram já a capacidade de solos para a remoção de matéria orgânica residual, azoto, fósforo, metais pesados e microrganismos patogénicos.

Os solos residuais são constituídos por argilas como a caulinite, illite, montmorilonite, entre outras, que têm propriedades reativas que lhes permitem remover cátions metálicos, bem como cátions inorgânicos, essencialmente por mecanismos de sorção (e.g. adsorção, troca iónica e complexação e precipitação) [16]. Contudo, as partículas de solo, como argilas, siltes e areias, podem ainda ser colonizadas com microrganismos que formam um biofilme com capacidade para remover compostos orgânicos e nutrientes (azoto e fósforo), por mecanismos de biodegradação (e.g. respiração aeróbia, anóxica e anaeróbia, nitrificação e desnitrificação) e biosorção, tal como já foi comprovado em [16]. Em simultâneo, a matéria sólida residual em suspensão e os microrganismos podem ficar retidos na matriz do solo por filtração. Contudo, é difícil avaliar a eficiência e o modo de remoção de poluentes localmente, sendo mais prático usar colunas laboratoriais ou ensaios em *batch* [16].

O objetivo principal do estudo consistiu em utilizar a componente fina de solos residuais graníticos provenientes da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda), para avaliar a capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes (amónio, nitrato e fosfato), bem como verificar quais os mecanismos de sorção responsáveis pela remoção desses poluentes, realizando ensaios laboratoriais em *batch*.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Ensaios de caracterização do solo residual

Na Quinta de Gonçalo Martins (Guarda) (Fig. 1 e 2), na região da Beira Interior de Portugal, num dos locais selecionados para infiltração de ART provenientes da ETAR de Vila Fernando (Guarda) [17, 18], foi recolhida uma amostra de solo residual granítico (Fig. 3-a). Para o estudo, extraiu-se do solo a componente inferior a 0,075 mm (fino do solo) (Fig. 3-b), por ser nesta que se encontram as frações mais reativas do solo, nomeadamente silte e argila.

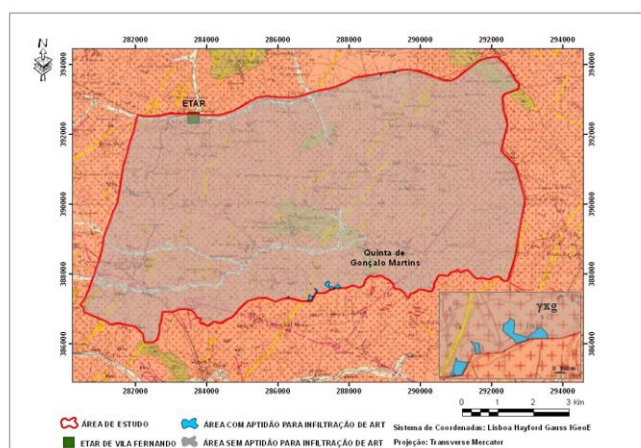


Fig. 1. Localização da zona de recolha de solo para infiltração de águas residuais tratadas (manchas a azul) no extrato da Carta Geológica da Guarda: Folha 18-C)



Fig. 2. Local de recolha da amostra de solo (Quinta de Gonçalo Martins, Guarda, coordenadas M = 287699 m e P = 387657 m)

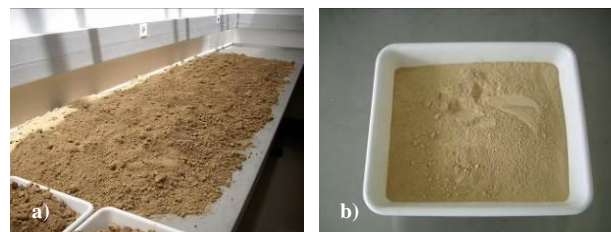


Fig. 3. Amostras de a) solo e b) fino do solo

Para perceber a importância das propriedades do solo na remoção de poluentes, determinaram-se os volumes diferencial e cumulativo do fino do solo em função do tamanho das partículas, bem como a superfície específica, por difração laser, recorrendo ao equipamento Coulter LS200. A densidade das partículas sólidas, foi determinada pelo método do picnómetro [19] e a porosidade usando os procedimentos descritos em [16]. A composição mineralógica qualitativa do solo, foi determinada através de Difração de Raios-X (DRX) com um difractor Rigaku, DMAX III/C, EUA. Para a análise morfológica e microestrutural, foi utilizado o Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM), Hitachi S-2700, EUA. A composição química (análise em óxidos e elementar), foi determinada com o Espectrómetro de Energia Dispersiva (EDS) que se encontra acoplado ao SEM. A capacidade de troca catiónica foi determinada, pelo método do acetato de amónio tamponizado a pH de 7, descrito em [20]. A matéria orgânica pelo método de Walkley-Black, descrito por [21] e o pH do solo, determinado em H<sub>2</sub>O e KCl pelo método potenciométrico, em suspensão (solo: água, 1:2,5), descrito por [22].

### B. Ensaios de sorção em batch com matéria orgânica e nutrientes

Nos ensaios de sorção em *batch*, foram utilizadas soluções de acetato de sódio (CH<sub>3</sub>COONa\*3H<sub>2</sub>O), cloreto de amónio (NH<sub>4</sub>Cl), nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) e hidrogeno fosfato dipotássico (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>\*3H<sub>2</sub>O), para estudar a remoção dos iões acetato (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>), amónio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), respetivamente. A quantidade de iões removidos foi quantificada através da variação da concentração no tempo de CQO (carência química de oxigénio), N-NH<sub>4</sub> (amónio), N-NO<sub>3</sub> (nitrato) e P-PO<sub>4</sub> (fosfato).

Para o estudo da cinética de reação foram utilizadas soluções aquosas de CH<sub>3</sub>COONa\*3H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub>Cl, KNO<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>\*3H<sub>2</sub>O com as concentrações teóricas (C) dos solutos CQO = 0, 75, 100, 150, 200 e 300 mg/L; N-NH<sub>4</sub> = 0, 5, 10, 20, 30 e 50 mg/L e (N-NO<sub>3</sub> e P-PO<sub>4</sub>) = 0, 2, 5, 10, 15 e 20 mg/L. Em 6 recipientes de vidro de 500 mL colocaram-se 0,5 g de fino do solo. A cada recipiente foram adicionados 200 mL de solução aquosa de iões com as concentrações de solutos referidas. O conteúdo dos recipientes foi agitado durante 24 horas, tendo sido retirados 5 mL de amostra líquida para análise aos tempos 0; 0,25; 0,75; 2; 5; 11 e 24 horas e registados os valores de pH e temperatura.

O equipamento experimental utilizado consistiu num agitador mecânico Flask Shaker SF1 da Stuart Scientific (Inglaterra), o qual foi calibrado de modo a promover uma rotação constante e igual a 120 oscilações por minuto, tal como

utilizado por [10]. Para medição do pH e temperatura foi utilizada uma sonda SenTix 41 ligada a um medidor multiparamétrico Multi 340i, ambos da marca WTW (Alemanha). A determinação de CQO, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> e P-PO<sub>4</sub> seguiu métodos de análise padrão do Standard Methods [23].

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### A. Caracterização do solo residual

O solo utilizado no estudo tem uma fração baixa de argila (dimensão de partícula inferior a 2 μm), de aproximadamente 5% (Fig. 4), o que significa que a maior parte dos finos são essencialmente siltosos. De acordo com [8], para evitar a colmatção dos solos e assegurar o tratamento da água residual, o solo não deve ter mais de 10% de argila.

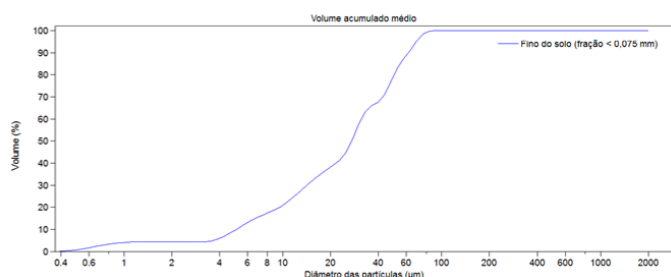


Fig. 4. Diagrama cumulativo da fração volumétrica correspondente ao fino do solo

Na Tabela I, apresentam-se as características físico-químicas do fino do solo relevantes para o estudo.

Tabela I. Características físico-químicas do fino do solo

Parâmetro	Valor
D <sub>10</sub> ; D <sub>30</sub> ; D <sub>50</sub> e D <sub>60</sub>	0,005 mm; 0,014 mm; 0,027 mm; 0,031 mm
Porosidade (n)	48,00 %
Densidade das partículas sólidas (G <sub>s</sub> )	2,65
Coefficiente de permeabilidade (k)	3,72 x 10 <sup>-6</sup> m/s
Superfície específica	0,29 m <sup>2</sup> /g
Óxidos:	
SiO <sub>2</sub>	60,44 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,76 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,99 %
K <sub>2</sub> O	3,81 %
Capacidade de Troca Catiônica pH 7	11,68 cmol <sub>c</sub> /kg
Teor em Matéria Orgânica	0,45 %
pH (1:2,5) H <sub>2</sub> O e KCl	4,44; 3,48

A amostra apresenta uma densidade (G<sub>s</sub>) de 2,65, porosidade (n) de 48,00 % e superfície específica de 0,29 m<sup>2</sup>/g. A permeabilidade (k) do fino do solo é baixa (k = 3,72x10<sup>-6</sup> m/s). No entanto, solos com permeabilidade da ordem de 25 mm/h são apropriados para infiltração controlada de ART [24]. Contém essencialmente sílica (60,44 %) e alumina (31,76 %), com teores mais baixos de ferro (3,99 %) e potássio (3,81 %).

A capacidade de troca catiônica (a pH = 7) é média (11,68 cmol<sub>c</sub>/kg) [25], favorecendo mais a permuta do cátion Ca<sup>2+</sup>, em relação ao Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>, por se tratar do ião mais abundante. O teor em matéria orgânica é muito baixo (0,45 %), sendo o solo muito ácido (pH = 4,44).

O difractograma da Fig. 5 mostra que, a composição mineralógica consiste essencialmente em quartzo, moscovite, ilite, caulinite e também esmectite (identificada na fração inferior a 2 μm), constituindo a caulinite cerca de 60% do mineral argiloso presente no solo. A Fig. 6 mostra a morfologia das partículas de fino do solo.

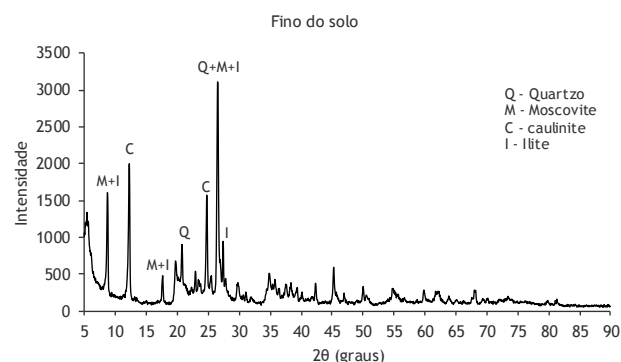


Fig. 5. Difractograma de raios-X do fino do solo

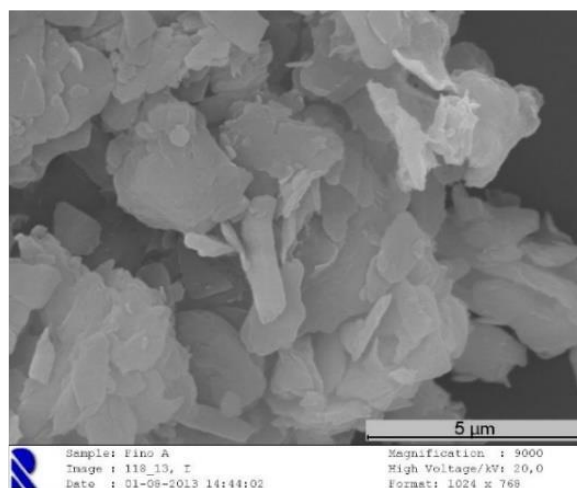


Fig. 6. Imagem SEM do fino do solo, ampliação de 9000x

O complexo argilo-coloidal deste solo apresenta propriedades reativas que lhe permitem remover poluentes por mecanismos de sorção, bem como uma superfície específica adequada para o desenvolvimento do biofilme com capacidade

para remover poluentes e patogénicos através de mecanismos de biodegradação [16].

*B. Avaliação da remoção de matéria orgânica e nutrientes por sorção*

Em todos os ensaios em *batch* realizados por [16], na generalidade, observou-se uma diminuição do pH logo após 15 minutos de contacto, continuando a decrescer ao longo do tempo até às 24 horas de duração dos ensaios.

Os resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação, revelam que as concentrações de equilíbrio ( $C_e$ ) foram atingidas entre as 5 h e as 11 h de contacto, tendo sido observadas eficiências de remoção (ER) de CQO de 12,8%, de N-NH<sub>4</sub> de 19,9% e de N-NO<sub>3</sub> de 5,9% para as  $C_e$  de 66,5 mg CQO/L, 40,23 mg N-NH<sub>4</sub>/L e 2,71 mg N-NO<sub>3</sub>/L. As referidas ER foram baixas, tendo no entanto ocorrido por mecanismos de remoção biológica no solo, tal como observado por [16] em ensaios em coluna laboratorial, nos quais a remoção dos referidos parâmetros foi elevada.

No entanto, os resultados presentes na Tabela II permitem observar que, para o P-PO<sub>4</sub>, as  $C_e$  foram atingidas entre as 5 h e as 11 h de contacto, tendo sido observadas ER de 83,0%, 90,1%, 74,0%, 60,1% e 55,8% para as  $C_e$  de 0,53 mg/L, 0,56 mg/L, 2,77 mg/L, 6,16 mg/L e 8,87 mg/L, respetivamente.

Tabela II. Resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação para as concentrações teóricas (C) do soluto P-PO<sub>4</sub> = 2, 5, 10, 15 e 20 mg/L

Tempo	Concentração após contacto com o fino do solo (mg/L)				
0 h	3,12	5,66	10,67	15,43	20,07
0,25 h	1,36	2,12	7,12	11,13	15,12
0,75 h	0,87	1,09	4,16	9,32	12,34
2 h	0,66	0,87	3,09	7,22	10,21
5 h	<b>0,53<sup>a)</sup></b>	<b>0,56<sup>a)</sup></b>	2,86	6,36	9,31
11 h	0,58	0,49	<b>2,77<sup>a)</sup></b>	<b>6,16<sup>a)</sup></b>	<b>8,87<sup>a)</sup></b>
24 h	0,52	0,52	2,71	5,88	7,61

<sup>a)</sup> A negrito apresentam-se as concentrações no equilíbrio

De referir que, a remoção biológica de P-PO<sub>4</sub> no solo é baixa [7] e ocorre normalmente por biosorção (i.e. fica adsorvido nos polímeros que constituem o biofilme) e por complexação e precipitação a pH baixo (normalmente complexa com o alumínio e o ferro, precipitando na forma de fosfatos), tal como referido por [10] e [26]. Neste estudo, o pH variou entre 8,13 (início) e 5,97 (final), com valores mais baixos para a concentração inicial ( $C_i$ ) de 3,12 mg/L e subindo para as concentrações mais elevadas.

IV. CONCLUSÕES

Este estudo permite concluir que o solo residual granítico da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda, Portugal) tem propriedades reativas que lhe conferem uma boa capacidade de remoção de fosfato por mecanismos de sorção (complexação e

precipitação), verificando-se uma eficiência de remoção máxima de 90,1%, para a concentração inicial de 5,66 mg P-PO<sub>4</sub>/L, permitindo-lhe atuar como uma barreira à contaminação de águas subterrâneas durante a RAQ com ART. A utilização deste solo como meio de enchimento de infraestruturas de infiltração, poderá ainda constituir uma solução económica, dado que se trata de uma matéria-prima local.

REFERÊNCIAS

- [1] H. Marecos do Monte e A. Albuquerque, Reutilização de águas residuais: Guia Técnico, ERSAR, Lisboa, no 14, 2010, p.339.
- [2] A. Werner, A review of seawater intrusion and its management in Australia: Hydrogeology Journal, vol. 18, no 1, 2010, pp.281-285.
- [3] J. Díaz, J. Gomez, J. Armayor e S. Castano, Recarga artificial de acuíferos. Síntesis metodológica. Estudio de actuaciones realizadas en la Provincia de Alicante. J.A. Hernández (Edt). Edições López Geta, Instituto Geológico e Mineiro de Espanha, Madrid, Espanha, 2000, p.157.
- [4] P. Nojd, A. Lindroos, A. Smolander, J. Derome, I. Lumme e H. Helmsaari, Artificial recharge of groundwater through sprinkling infiltration: Impacts on forest soil and the nutrient status and growth of Scots pine, The Science of the Total Environment, vol. 407, no 10, 2009, pp. 3365-3371.
- [5] M. Lluria, Successful application of managed aquifer recharge in the improvement of the water resources management of semi-arid regions: Examples from Arizona and the Southwestern U.S.A. Boletín Geológico y Minero, vol.120, no 2, 2009, pp.111-120.
- [6] H. Bower, Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering, Hydrogeology Journal, vol.10, 2002, pp.121-142.
- [7] T. Asano, F. Burton, H. Leverenz, R.E. Tsuchihashi e G. Tchobanoglous, Water Reuse: Issues, Technologies and Applications, McGraw-Hill, New York, EUA, 2007.
- [8] H. Kallali, M. Anane, S. Jellali e J. Tarhouni, GIS-Based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites, Desalination, vol. 215, 2007, pp.111-119.
- [9] R. Knox, D. Sabatini e L. Canter, Subsurface Transport and Fate Processes, Lewis Publishers, Florida, USA, 1993, p.430.
- [10] H. Ruan e R. Gilkes, Kinetics of phosphate sorption and desorption by synthetic aluminous goethite before and after thermal transformation to hematite, Clay Minerals, vol. 31, no 1, 1996, pp.63-74.
- [11] S. Jellali, T. Sediri, H. Kallali, M. Anane e N. Jedidi, Analysis of hydraulic conditions and HRT on the basis of experiments and simulations on soil column, Desalination vol. 246, 2009, pp.435-443.
- [12] I. Chaari, M. Medhioub e F. Jamoussi, Use of clay to remove heavy metals from Jebel Chakir landfill leachate. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, vol. 6, no 2, 2011, pp.143-148.
- [13] H. Talaat, N. El Defrawy, A. Abulnour e A. Tawfik, Evaluation of heavy metals removal using some Egyptian clays, Proc. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE, vol. 6, 2011, pp.37-42.
- [14] H. Essandoh, C. Tizaoui, M. Mohamed, G. Amy e D. Brdjanovic, Soil aquifer treatment of artificial wastewater under saturated conditions, Water Research, vol. 45, 2011, pp.4211-4226.
- [15] S. Lukman, M. Essa, N. Mu'azu, A. Bukhari, C. Basheer, Adsorption and desorption of heavy metals onto natural clay material: Influence of initial pH, Journal of Environmental Science and Technology, vol. 6, no 1, 2013, pp.1-15.
- [16] F. Silva, Avaliação da capacidade reativa de solos residuais destinados à infiltração de águas residuais tratadas, Tese de Doutoramento, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2015, p.490.
- [17] F. Silva, Estudo do potencial de recarga de aquíferos com águas residuais tratadas utilizando Sistemas de Informação Geográfica, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2011, p.87.
- [18] F. Silva, A. Albuquerque, H. Marecos do Monte, V. Cavaleiro e A. Carvalho, Site selection for reclaimed water infiltration using GIS tools:

### III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

- Atas da IWA Regional Conference on Wastewater Purification and Reuse, Creta, Grécia, 2012.
- [19] Norma Portuguesa Definitiva NP 83, Solos, Determinação da densidade das partículas, IGPAL, Lisboa, Portugal, 1965.
- [20] V. Houba, J. van der Lee e I. Novozamsky, Soil Analysis Procedures, Other procedures Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, 1995.
- [21] D. Nelson e L. Sommers, Total carbon, organic carbon and organic matter, In Methods of soil analysis, Part 3, Chemical Methods – SSSA, Book series, no 5, 1996, pp.961-1010.
- [22] Van Reeuwijk, Procedures for soil analysis: 6ª Edição, ISRIC, FAO, 2002.
- [23] APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20ª Edição, American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, Washington DC, EUA, 1999.
- [24] F. Pedrero, Sustainable irrigation management with reclaimed water: Tese de Doutoramento, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Múrcia, Espanha, 2010, p.155.
- [25] LQARS, Manual de fertilização das culturas: INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa, Portugal, 2006, p.282.
- [26] J. Costa, Caracterização e Constituição do Solo, 8ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 2011, p.527.