



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA



ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

**Avaliação da aplicação de subprodutos da indústria de queijo e de
etanol na produção da cultura de alface**

Júnia Aparecida Alves Ferreira Caturra

Beja

2013

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA

Escola Superior Agrária de Beja

Mestrado em Engenharia do Ambiente

Avaliação da aplicação de subprodutos da indústria de queijo e de etanol na produção da cultura de alface

**Dissertação de Mestrado apresentada na Escola Superior Agrária do Instituto
Politécnico de Beja**

Elaborada por:

Júnia Aparecida Alves Ferreira Caturra

Orientada por:

Doutora Maria de Fátima Carvalho

Doutora Mariana Regato

Beja

2013

Dedicatória

A Deus que nos agraciou com o dom do amor;

Aos meus pais, que já não estão mais aqui, porém, foram quem me ensinou de maneira inesquecível o significado profundo desse dom;

Ao meu marido, irmãs e sobrinho que me ajudam a vivê-lo maravilhosamente.

Agradecimentos

À minha orientadora, Doutora Fátima Carvalho, pela oportunidade oferecida e pela imensa dedicação e disponibilidade a mim dispensados. A sua motivação para a pesquisa, bem como a sua generosidade e alegria foram grande incentivo, nas horas em que mais precisei, para a conclusão deste trabalho.

À minha coorientadora, Doutora Mariana Regato, pelas correções e sugestões importantes feitas, em especial, na fase de conclusão do trabalho.

À Escola Superior Agrária de Beja, pelos recursos e instalações colocados à disposição para a realização dos procedimentos analíticos.

Ao amigo João Lelis, Engenheiro Agrónomo, Doutor em Rega e Drenagem e participante do projeto, cuja contribuição durante todo o trabalho foi imprescindível.

Aos funcionários do Laboratório de Controlo de Qualidade de Água da Escola Superior Agrária de Beja, e carinhosamente à Maria Ivone Castanheira e Mariana Raposo, pelo apoio e ajuda durante a fase analítica.

À Ana Rita, doutoranda pela Universidade de Extremadura, que fez parte da equipa de trabalho e me ajudou imenso durante o processo de aprendizagem e realização deste trabalho.

Aos meus colegas do curso de Mestrado em Engenharia do Ambiente, pela convivência e amizade.

Aos professores do curso de Mestrado pelos conhecimentos fornecidos.

À Engenheira Idália, do Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja, pela ajuda durante o processo de produção da cultura e colheita das alfaces.

Ao Engenheiro Miguel Floro, do Laboratório de Análise Sensorial, à Engenheira Natividade Costa, do Departamento de Biociências e ao técnico António Vasques, do Laboratório de Solos, pela contribuição na realização de alguns procedimentos analíticos.

À minha amada avó Idalina Cordeiro, tias e amigos brasileiros, cujas orações e incentivo foram forças que me ajudaram nesta caminhada.

Índice Geral

Índice Geral.....	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	viii
Lista de Siglas e/ou Abreviaturas.....	x
Resumo	xii
<i>Abstract</i>	xiii
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura.....	4
2.1. Reutilização de águas residuais	4
2.1.1. Reutilização de águas residuais tratadas na agricultura.....	5
2.1.2. Riscos sanitários e ambientais da reutilização de águas residuais.....	9
2.2. Indústria do Queijo	10
2.2.1. Caracterização da água residual da indústria do queijo.....	12
2.3. Indústria do Etanol.....	14
2.3.1. Caracterização da água residual da indústria do etanol - vinhaça	15
2.3.2. Aspetos agronómicos e ambientais relacionados à aplicação da vinhaça	16
2.4. Tratamento dos efluentes da indústria do queijo e do etanol.....	17
2.5. Caracterização de lamas residuais	20
2.5.1. Reutilização de lamas em atividades agrícolas e seus possíveis impactes	21
2.6. Cultura da Alface	24
2.6.1. Exigências edafoclimáticas.....	25
2.6.2. Doenças e pragas	26
2.6.3. Cultura de alfaces com efluentes tratados	26
3. Materiais e Métodos	28
3.1. Localização do ensaio	28
3.2. Instalação do ensaio e delineamento experimental.....	28

3.3.	Caracterização das águas residuais tratadas utilizadas no cultivo das alfaces	30
3.5.	Descrição do ensaio.....	33
3.6.	Colheita e Avaliação da produtividade e crescimento da cultura	36
3.7.	Procedimentos analíticos.....	37
3.7.1.	Análises físico-químicas das alfaces, substratos e lamas.....	37
3.7.2.	Colheita e Análises físico-químicas das águas	37
3.8.	Avaliação da análise sensorial.....	38
3.9.	Análises estatísticas.....	39
4.	Resultados e Discussões	40
4.1.	Efeitos dos tratamentos na parte aérea da alface.....	40
4.1.1.	Parâmetros de crescimento.....	40
4.1.2.	Teor de Clorofila.....	45
4.1.3.	Análise química das folhas das alfaces	46
4.1.4.	Análise sensorial	54
4.2.	Efeitos dos tratamentos nas raízes de alface	56
4.2.1.	Parâmetros de crescimento.....	56
4.2.2.	Análise química das raízes.....	60
4.3.	Efeitos dos tratamentos no substrato	65
4.4.	Efeitos dos tratamentos nas águas de lixiviação	71
5.	Conclusões.....	79
6.	Referências Bibliográficas	81
Anexo I. Publicações de Resumos e Posters em Congressos		98
Anexo II. Ficha utilizada na prova sensorial da alface.....		106

Índice de Figuras

Figura 1. Produção de Queijos em Portugal (INE, 2011).....	11
Figura 2. Etapas do processo de produção de queijo (Maganha, 2006)	12
Figura 3. Área do Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja (Google Maps).....	28
Figura 4. Características visuais do efluente e das lamas obtidas no tratamento de água residual do queijo	33
Figura 5. Características visuais do efluente e das lamas obtidas no tratamento de água residual da vinhaça	33
Figura 6. Alfaces cultivadas com vinhaça e água residual do queijo tratadas e suas respectivas lamas.....	35
Figura 7. Disposição da bancada para a prova sensorial (A); Provadores durante a prova sensorial (B e C)	39
Figura 8. Valores médios da área foliar das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)	41
Figura 9. Valores médios da produção de folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)	42
Figura 10. Valores médios da matéria seca de folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)	43
Figura 11. Valores médios obtidos na altura das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)	44
Figura 12. Diferenças entre a altura das alfaces cultivadas com diferentes tratamentos com 6 semanas de cultivo.....	44
Figura 13. Valores médios obtidos no diâmetro das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)	45
Figura 14. Valores médios obtidos no teor de clorofila das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0).....	46
Figura 15. Valores médios obtidos para os teores de fósforo, cálcio e magnésio das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0).....	49
Figura 16. Valores médios obtidos para os teores de ferro das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0).....	50
Figura 17. Valores médios obtidos para os teores de cloretos, sódio, azoto e potássio das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)	53
Figura 18. Valores médios obtidos para os teores de matéria orgânica das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)	54

Figura 19. Média das notas dadas pelos provadores na análise sensorial para os atributos: tenrura (A), cor verde (B), sabor amargo (C), paladar a alface (D) e preferência (E).....	56
Figura 20. Peso fresco de raiz de alfaces submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	58
Figura 21. Raízes de alfaces cultivadas sob diferentes tratamentos: (A) T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo e (B): T2 (água do queijo); T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	58
Figura 22. Matéria seca de raiz de alfaces submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	59
Figura 23. Comprimento de raiz de alfaces submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	59
Figura 24. Teores médios de fósforo, ferro, cálcio e magnésio de raízes de alfaces submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo	62
Figura 25. Matéria orgânica de raiz de alfaces submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	62
Figura 26. Teores médios de cloretos, sódio, azoto e potássio de raízes de alfaces submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo	64
Figura 27. Valores médios do pH do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	66
Figura 28. Valores médios de condutividade elétrica do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	67
Figura 29. Valores médios dos teores de azoto do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.	68
Figura 30. Valores médios dos teores de sódio, potássio e fósforo do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.	70
Figura 31. Valores médios dos teores de matéria orgânica do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.....	71
Figura 32. Variação do pH das águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.	73
Figura 33. Variação da condutividade elétrica das águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.	74
Figura 34. Variações de cálcio e magnésio das águas de lixiviações ao longo das 8 semanas.	75
Figura 35. Variações de azoto nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.	76

Figura 36. Variações de sódio nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.....	76
Figura 37. Variações de potássio nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas	77
Figura 38. Variações de cloretos nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.....	78
Figura 39. Variações de fósforo nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.....	78

Índice de Tabelas

Tabela 1. Características das águas residuais que mais afetam do biossistema solo-planta (Monte & Albuquerque, 2010).....	8
Tabela 2. Caracterização físico-química do substrato.....	29
Tabela 3. Caracterização físico-química das águas residuais tratadas.....	30
Tabela 4. Caracterização química das lamas de vinhaça e de queijo utilizadas no cultivo das alfaces.....	32
Tabela 5. Parcelamento diário para o azoto, fósforo e potássio para a cultura da alface.....	32
Tabela 6. Caracterização da água de furo utilizado no ensaio.....	34
Tabela 7. Volume total de água residual tratada de queijo e de vinhaça utilizado no ensaio..	34
Tabela 8. Análise de variância e valores médios das variáveis de crescimento das plantas obtidas no ensaio: testemunha (T0), vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	40
Tabela 9. Análise de variância e valores médios e teores de clorofila das plantas obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	45
Tabela 10. Análise de variância e valores médios dos teores de Cl, Ca, Mg e MO das folhas de alface obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	47
Tabela 11. Análise de variância e valores médios dos tores de N, Cl, K, Na e MO das folhas de alface obtidos no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	50
Tabela 12. Análise de variância e valores médios dos atributos avaliados na análise sensorial das alfaces obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	54
Tabela 13. Análise de variância e valores médios do peso fresco total, matéria seca e comprimento das raízes de alfaces obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	57
Tabela 14. Análise de variância e valores médios dos teores de MO, Fe, P, Ca e Mg das raízes de alfaces obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	60
Tabela 15. Análise de variância e valores médios dos teores de N, Cl, Na e K das raízes de alfaces obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	63
Tabela 16. Análise de variância e valores médios do pH e CE do substrato utilizado na cultura de alfaces sob diferentes tratamentos: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	65
Tabela 17. Análise de variância e valores médios do pH e condutividade do substrato utilizado na cultura de alfaces sob diferentes tratamentos: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4).....	67

Tabela 18. Análise de variância e valores médios do pH, CE, Ca e Mg da água de lixiviação provenientes da rega de alfaces cultivadas sob diferentes tratamentos: testemunha (T0); água da vinhaça (T1); água do queijo (T2); lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4) 71

Tabela 19. Análise de variância e valores médios dos teores de N, Na, K, Cl e P da água de lixiviação provenientes da rega de alfaces cultivadas sob diferentes tratamentos: testemunha (T0); água da vinhaça (T1); água do queijo (T2); lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4) 72

Lista de Siglas e/ou Abreviaturas

ADN – ácido desoxirribonucleico

AEA – Agência Europeia do Ambiente

ARN – ácido ribonucleico

ARIQ – Água residual da indústria do queijo

CBO₅ – Carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias

CCE – Comissão das Comunidades Europeias

CE – Condutividade elétrica

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento Brasileira

COT – Conteúdo orgânico total

CQO – Carência química de oxigénio

CV- Coeficiente de Variação

DMS – Diferença mínima significativa

dS/ m - decisiemens por metro

EDTA – ácido etilenodiamina tetracético

EEA – European Environmental Agency

ENEAPAI – Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais

US EPA – United States Environmental Protection Agency

ETAR – Estação de Tratamento de Água Residual

GL – Graus de Liberdade

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

MO – Matéria Orgânica

mS/cm – milisiemens por centímetro

pH – potencial hidrogeniônico

ppm – parte por milhão

SS – Sólidos Suspensos

SST – Sólidos Suspensos Totais

T0 – Tratamento testemunha

T1 – Tratamento com água residual tratada da indústria do etanol (vinhaça)

T2 – Tratamento com água residual da indústria do queijo

T3 – Tratamento com lama da vinhaça

T4 – Tratamento com lama de queijo

UASB – Reator de leito de lamas com fluxo ascendente

Resumo

Neste trabalho pretendeu-se avaliar os efeitos da aplicação de águas e lamas, resultantes de aplicação de precipitação química básica aos efluentes de queijaria e produção de etanol, na cultura de alface (*Lactuca sativa*); a potencial contaminação das águas de lixiviação e do substrato inerte, utilizado. Os ensaios de irrigação foram realizados numa estufa do Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja, de Dezembro a Fevereiro de 2012. O delineamento foi o inteiramente casualizado com cinco repetições e cinco tratamentos. Os melhores resultados de produtividade de folhas e raízes foram encontrados no tratamento com lama de vinhaça, que também teve os teores foliares mais elevados de P, K e Ca; o tratamento com água de vinhaça ocasionou os maiores teores de N, K e Mg nas raízes; os maiores teores de Cl e Na da parte aérea e raízes foram encontrados no tratamento efetuado com água de queijo. A análise sensorial mostrou não haver nenhum comprometimento do produto em função dos tratamentos utilizados. A aplicação dos tratamentos aumentou o pH e os teores de azoto do substrato; nas águas de lixiviação, o tratamento com água de queijo apresentou maiores alterações, principalmente no que refere à condutividade, cloretos e sódio.

Palavras-chaves: água residual da indústria do queijo; vinhaça; lama; alface.

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of the use of supernatant and sludge, obtained by basic precipitation of cheese whey wastewater and vinasse in lettuce crop (*Lactuca sativa*); the contamination of water resulting from leaching into each treatment, and the effects on the substrate inert used. The tests were conducted in a greenhouse of horticultural Center of Agrarian School of Beja, and the substrate inert was composed of sand and pine bark. The design was completely randomized with five replications and five treatments. The data showed that the best results of the productivity of leaves and roots were found in sludge treatment of vinasse, which also had higher foliar concentrations of P, K and Ca. For the other hand, the use of vinasse wastewater showed the highest levels of N, K and Mg in the roots. The largest value of Cl and Na was found in the shoots and roots irrigated with cheese whey wastewater. The results of the sensory evaluation revealed that there was no impairment of product with any of the sensory quality attributes evaluated. All the treatments increased the pH and the nitrogen of the substrate and the cheese whey wastewater led to a greater change in water resulting from leaching, especially in the conductivity, sodium and chlorides.

Keywords: cheese whey wastewater; vinasse wastewater; sludge; lettuces.

1. Introdução

A preocupação com a sustentabilidade do uso da água tem-se tornado forte motivação para compreender o potencial da reutilização das águas residuais tratadas e consequente reciclagem de seus nutrientes na agricultura, visto que a qualidade da água usada na rega pode afetar: a produção e qualidade das culturas; a estrutura e composição química do solo; os microrganismos; a vegetação; e ainda a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

A reutilização de águas residuais na agricultura constitui uma alternativa de destaque, principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Contudo, a seleção do (s) processo (s) que compõe a linha de tratamento deve garantir que as águas reutilizadas não representem riscos para a saúde pública (Costa & Júnior, 2005).

Por outro lado, a reutilização de águas residuais tratadas na agricultura apresenta grande potencial para atender as necessidades crescentes de água e a redução de descarga de efluentes nos recursos hídricos. Simultaneamente permite a diminuição dos custos de tratamento e beneficia economicamente os agricultores, devido à redução da aplicação de fertilizantes (Jiménez-Cisneros, 1995; Paranychianakis *et al.*, 2006).

O tratamento de águas residuais tornou-se imperativo de forma a proteger não só o ambiente mas também a saúde pública. A amplificação do número de estações de tratamento conduziu também ao aumento da produção de resíduos, resultantes do próprio tratamento, nomeadamente, a formação de lamas residuais (Ferrasse *et al.*, 2003). Ressalta-se que as lamas resultantes dos processos de tratamento das águas residuais, também, têm sido objeto de investigação e de aplicações na agricultura. A composição da água residual, o (s) processo (s) de tratamento e a concentração de reagentes determinam o conteúdo orgânico e nutricional das lamas. A sua correta eliminação ou valorização são mecanismos de gestão requeridos pela legislação, tendo em vista que o uso de lamas urbanas tornou-se uma prática comum na Europa e nos Estados Unidos por volta de 1800 (Hosetti & Frost, 1995).

As indústrias de laticínios e do etanol constituem fontes de efluentes com impacto ambiental negativo, como a água residual da indústria de queijo (ARIQ) e a água residual da indústria do etanol (vinhaça), respetivamente. Estes efluentes apresentam características comuns, nomeadamente, elevado teor de salinidade, acidez, matéria orgânica, sólidos suspensos, gorduras, nutrientes, etc.

O setor dos laticínios envolve o processamento de leite para a produção de produtos como



iogurte, manteiga, queijo, etc. A caracterização e propriedades dos efluentes lácteos dependem do tipo de produto fabricado, da metodologia usada na produção, da lavagem de equipamentos, das condições operacionais, da gestão das águas residuais e do clima (Pattnaik, *et al.*, 2007; Rivas, *et al.*, 2010). Em relação à

indústria do queijo, mais especificamente, as águas residuais geradas são ácidas e apresentam elevados teores de proteínas, lactose, azoto, fósforo, sódio, sólidos em suspensão e gorduras, constituindo-se num efluente altamente poluidor.

No âmbito da indústria do etanol os impactes ambientais negativos do processamento da cana-



de-açúcar resultam da produção de resíduos sólidos e líquidos, tais como: bagaço, cinzas, vinhaça e gases (Vaccari *et al.*, 2005). A vinhaça, subproduto da indústria de produção de etanol, apresenta uma caracterização química bastante heterogénea (Silva & Filho, 1981), dependendo de vários

fatores, dos quais se pode destacar o tipo de matéria-prima, processo de fermentação, método de destilação, microrganismos utilizados, temperatura, rendimento do processo, eficiência de consumo do substrato, etc. Assim, geralmente, apresenta propriedades ácidas, gorduras e nutrientes como Ca, Mg, K e Cl, etc., sendo o descarte desse efluente um fator que representa grande preocupação, pois para além de ser gerado em grandes volumes apresenta, ainda, alto teor de CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio) que varia de 20.000 a 35.000 mg/l (Paranhos, 1987; Cortez *et al.*, 1992).

A aplicação de vinhaça e água residual de queijo no solo consiste numa prática comum, uma vez que constituem fontes de matéria orgânica biodegradável e nutrientes. Contudo, no caso da vinhaça as limitações referentes a esta prática estão relacionadas com a viabilidade económica do transporte da vinhaça e o risco de saturação do solo. Por outro lado, as doses e frequências de aplicação de vinhaça no solo devem ser monitorizadas, uma vez que o pH e a carga líquida dos solos podem ser notavelmente influenciados (Ribeiro *et al.*, 2012). No que diz respeito à aplicação de efluentes de queijo no solo, os sólidos suspensos, gorduras e salinidade (devido ao sódio e cloreto) constituem os principais fatores de risco ambiental, podendo também afetar a estrutura dos solos (Saddoud *et al.*, 2007; Dragone *et al.*, 2009).

A gestão de vinhaça e águas residuais de queijo constitui um desafio ambiental, devido à complexidade física e química das matrizes estudadas, nomeadamente o teor e tipo de matéria orgânica, presença de sólidos em suspensão e gorduras. Assim, diferentes alternativas de tratamento e/ou valorização devem ser monitorizadas. Estes subprodutos constituem fontes de nutrientes que podem ser reciclados, no entanto, o elevado nível de salinidade apresentado por este tipo de água residual não é eliminado por tecnologias de fácil aplicação e pouco dispendiosas. Neste contexto, a opção de reutilização em culturas com tolerância média a elevada à salinidade pode constituir uma alternativa viável, promissora e encorajadora.

A utilização de processos de precipitação química básica em águas residuais industriais é uma opção viável na redução de matéria orgânica, sólidos suspensos, gorduras e nutrientes, tornando o efluente passível de ser usado como solução nutritiva. Além de produzir simultaneamente uma fração sólida (lama) que poderá ser utilizada como fertilizante e/ou corretivo com potencial valorização agrícola, permitindo a promoção de uma agricultura sustentável.

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar os efeitos da aplicação de águas e lamas obtidas do tratamento de efluentes de queijaria (água do queijo) e destilaria (vinhaça), pelo processo de precipitação química básica, na cultura de alface (*Lactuca sativa*) num substrato inerte.

Pretendeu-se, também, avaliar a potencial contaminação das águas de lixiviação resultantes da rega em cada tratamento, bem como a influência dessas águas e lamas no substrato utilizado durante o cultivo.

2. Revisão de Literatura

2.1. Reutilização de águas residuais

A escassez da água e a deterioração da sua qualidade para os vários usos, evidenciam a necessidade de encontrar recursos alternativos que visem solucionar esse sério problema, em diferentes partes do mundo (US EPA, 1992). Atualmente, vários países reutilizam as águas residuais - após o devido tratamento - para consumo doméstico, industrial e agrícola (Costa & Júnior, 2005). Nesse contexto, a reutilização da água residual tratada surge como um benefício de caráter socioeconómico, em que as aplicações dominantes para a sua reutilização incluem rega agrícola, rega da paisagem (destaca-se a rega de campos de golfe), recargas de aquífero, reutilização industrial (principalmente como reciclagem de água de arrefecimento), uso recreativo e ambiental, uso urbano de água não potável e reforço de origem de água bruta para consumo humano. Contudo, apesar da longa história da reutilização da água, questões referentes à sua segurança têm sido muito debatidas, principalmente no que se refere aos países menos desenvolvidos, onde os níveis avançados de tratamento de águas residuais não são possíveis ou estão economicamente fora de alcance (Asano, 2001; Monte & Albuquerque, 2010).



Nos países desenvolvidos, as instituições públicas, geralmente, determinam os parâmetros de qualidade da água, considerando os riscos para a saúde e para o ambiente. Nesses países há programas integrados para a reutilização planeada de águas residuais, que incluem políticas de melhoria da gestão de águas residuais na agricultura que podem ser implementadas antes da produção dessas águas, enquanto estão a ser usadas, e depois das culturas terem sido regadas e os seus produtos preparados para venda e consumo. Os dados de qualidade de águas residuais que são medidos rotineiramente e relatados nas ETARs são principalmente referentes à descarga de efluentes ou sobre as condições de descarga em termos de poluição. Em contraste, as características da água de importância na rega agrícola e da paisagem apresentam elementos e compostos químicos específicos, que afetam o crescimento da planta ou a permeabilidade do solo. No entanto, nem todas essas características são medidas ou relatadas por agências de tratamento de águas residuais, como parte da rotina do programa de monitorização de qualidade de água (Pedrero, *et al.*, 2010).

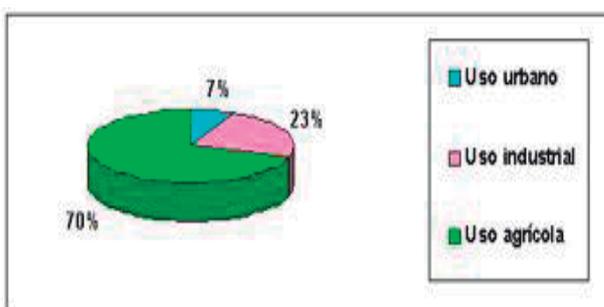
Além da escassez dos recursos hídricos, outros fatores vieram a contribuir para que aumentasse, nos últimos anos, o interesse pela rega com efluentes, como os avanços do conhecimento técnico-científico, a legislação ambiental mais rigorosa e atuante, o maior controle da poluição ambiental, a diminuição dos custos de tratamento devido à atuação do solo como forma de disposição e fornecimento de nutrientes às plantas, reduzindo os custos com fertilizantes químicos comerciais (Sandri, 2003).

Os benefícios socioeconômicos do uso de águas residuais na agricultura, até agora, têm sido inadequadamente quantificados; uma melhor compreensão dos impactos positivos e negativos sobre as propriedades químicas do solo, absorção de nutrientes pelas plantas, toxicidade e os efeitos na saúde humana e animal (Sandri, 2003) ajudará num melhor entendimento do significado dessa técnica como um recurso, que poderá destacar-se nos meios de subsistência e de equidade social para o desenvolvimento de países. A necessidade de promover políticas eficazes na gestão global de águas residuais tornar-se-á parte integrante da solução para conter a crise de escassez de água, pois, num mundo com recursos limitados, a reutilização de águas residuais e a reciclagem dos seus nutrientes são essenciais (Hanrja *et al.*, 2012).

Melhorar as instituições e as políticas que influenciam o uso da água doce pode reduzir o custo de gestão de águas residuais. De modo geral, a negociação de impostos e as concessões de licenças podem ser usados para motivar melhorias na gestão da água por parte das famílias e empresas. Os órgãos públicos devem considerar a implementação de medidas preventivas, tais como: o isolamento de efluentes industriais para reduzir os componentes prejudiciais ao ambiente, os esforços para minimizar o contato dos microrganismos patogênicos com culturas e trabalhadores rurais, as medidas pós-colheita e a sensibilização por meio de campanhas para proteger os consumidores, a implementação de políticas que protejam a subsistência dos comerciantes e dos agricultores, especialmente os mais pobres (Qadir *et al.*, 2010).

2.1.1. Reutilização de águas residuais tratadas na agricultura

O grande domínio de aplicações de águas residuais tratadas tem sido a rega agrícola, uma vez



que esta atividade é altamente consumidora (cerca de 70% dos recursos hídricos utilizados), além dos seus requisitos de

qualidade serem, geralmente, mais fáceis de atingir (Angelakis *et al.*, 1999; Asano *et al.*, 2007). A rega agrícola é o setor que regista maior procura de água, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. Nos EUA, principalmente nos estados da Califórnia e da Flórida, a reutilização de águas residuais na agricultura é largamente praticada (US EPA, 2004). Na América Latina, a Argentina e o México dispõem de importantes projetos de reutilização para a rega (Asano *et al.*, 2007). No Brasil, o efluente gerado permitiria a rega de 850 mil hectares, levando às lavouras cerca de 230.000 ton/ano de azoto e 72.000 ton/ano de fósforo, além de matéria orgânica e micro nutrientes, evitando, assim, a aplicação de fertilizantes sintéticos. Para tanto seria necessário implementar novas políticas e um acordo abrangente de alocação, planeamento e desenvolvimento de recursos no que se refere à recolha e tratamento de águas residuais produzidas (Hespanhol, 2004). Na Europa os países da orla mediterrânica - Espanha, França, Itália, Malta, Grécia, Chipre e Portugal – são os que apresentam maior interesse na implementação de projetos de reutilização de águas residuais para a rega agrícola (Marecos do Monte, 2007).

A reutilização de águas na agricultura apresenta grande potencial para atender as necessidades crescentes do uso da água; para reduzir a eliminação da poluição dos corpos hídricos pelos efluentes; para permitir a diminuição dos custos de tratamento; e para aumentar os benefícios económicos dos produtores, devido à redução da aplicação de fertilizantes (Jiménez-Cisneros, 1995; Paranychianakis *et al.*, 2006). O azoto, o fósforo e a matéria orgânica no efluente tratado, agem como fertilizantes e como condicionadores de solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas (Fasciolo *et al.*, 2002). Entretanto, esta prática apresenta também riscos que estão associados à contaminação das culturas ou das águas subterrâneas, uma vez que a composição química desses efluentes pode ser um pouco diferente da maioria das águas naturais utilizadas na rega (Pereira *et al.*, 2002).

A rega com água residual apresenta, ainda, benefícios diretos para agricultores e meio ambiente, pois reduz os custos de energia decorrentes da reciclagem de nutrientes necessários à cultura, reduz o custo com o bombeamento de energia e, assim, minimiza as emissões de carbono para o meio ambiente, economiza com os custos de eliminação, além de ser uma medida de mitigação da escassez de água (Dawson & Hilton, 2011). Resultados de um estudo feito na China, com o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema de modelo de reutilização de água para a rega, indicaram que poderiam se economizar 35 Mm³ de água nos rios locais a cada ano (Murray & Ray, 2010).

As limitações referentes à reutilização da água na agricultura incluem: gestão de nutrientes, escolha das culturas, propriedades do solo, métodos de rega, riscos para a saúde, consciência e educação sobre os direitos à água. A partilha de custos e responsabilidades entre produtores, governo, instituições e agricultores pode aumentar a eficiência da reutilização da água na produção da cultura e reciclagem de nutrientes, protegendo a saúde pública e o meio ambiente. Entretanto, isso requer incentivos económicos, financeiros e sociais. Por outro lado, a rega com águas residuais pode também reduzir a pegada de água e a pegada energética da produção de alimentos, ganhar créditos de carbono que contribuem potencialmente para a adaptação e mitigação à mudança climática (Hanrja *et al.*, 2012).

A qualidade de águas residuais tratadas para rega deve satisfazer os requisitos agronómicos e de proteção da saúde pública. No que se refere aos requisitos agronómicos, a água de rega destina-se a satisfazer as necessidades hídricas das plantas, não devendo ser veículo de substâncias prejudiciais ao seu desenvolvimento (como o excesso de sais dissolvidos, de sódio, de metais pesados, de cloro residual) e podendo transportar substâncias benéficas garantindo o desenvolvimento da planta (azoto, fósforo, potássio, zinco, enxofre e boro, por exemplo). A proteção da saúde pública exige que o teor de microrganismos indicadores de contaminação fecal seja compatível com o tipo de exposição humana e animal à rega e aos produtos regados (Monte & Albuquerque, 2010). Geralmente a concentração de metais em partes das plantas aumentam com a concentração de metais presentes na água de rega e a concentração nas raízes, usualmente, são maiores do que nas folhas. Todavia, esse desafio pode ser resolvido por meio do tratamento da água. Se os dados mostrarem que há um aumento nos níveis de metais dos alimentos, então o uso da rega com água residual não deverá ser incentivado (Qadir *et al.*, 2010). A Tabela 1 descreve as características das águas residuais que afetam o biosistema solo-planta.

Tabela 1. Características das águas residuais que mais afetam do biosistema solo-plantas (Monte & Albuquerque, 2010)

Características	Parâmetro de Avaliação	Efeito
Salinidade/ Sais inorgânicos dissolvidos	SDT. Conductividade elétrica. Iões específicos (Na, Ca, Mg, Cl, B).	A elevada salinidade prejudica o bom desenvolvimento de muitas plantas; alguns iões podem ser tóxicos para as plantas (Na, B, Cl); o Na pode induzir problemas de permeabilidade do solo.
Sólidos em suspensão	SST (SSF+SSV).	Concentrações de SST elevadas podem provocar entupimento dos equipamentos de rega
Matéria orgânica biodegradável.	CBO, CQO.	Em efluentes tratados o teor de matéria orgânica em geral não causa problemas
Compostos orgânicos refratários.	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados).	Resistem aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos → a sua presença pode ser limitativa da utilização do efluente para rega.
Nutrientes	N (N-org + N-NH ₄ + N-NO ₂ + N-NO ₃) P, K.	São essenciais para o crescimento das plantas. A sua presença normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicados no solo em quantidades excessivas podem induzir a poluição das águas subterrâneas.
Atividade hidrogeniônica.	pH	O pH das águas residuais afeta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais pesados.	Elementos específicos (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn).	Alguns acumulam-se no solo ou nas plantas e são tóxicos para as plantas e animais. Podem constituir fator limitante à utilização de águas residuais.
Cloro residual.	Cl livre. Cl combinado	Teores excessivos de cloro livre podem causar queimaduras nas folhas. O cloro combinado não causa problemas.
Microrganismos patogênicos.	Coliformes fecais. Helmintas. Organismos indicadores	Transmissão de doenças.

2.1.2. Riscos sanitários e ambientais da reutilização de águas residuais

Quando se discute o sistema de tratamento para reutilização da água, o interesse primordial continua sendo se a qualidade da água tratada é apropriada para o uso a que se destina. Os constituintes químicos presentes em águas residuais tratadas que causam preocupação para a rega agrícola são: salinidade, sódio, metais pesados, excesso de cloro residual e nutrientes (N, K, P, B, Zn, S). As condições que podem causar impactos adversos na qualidade da água residual tratada incluem: elevado nível de sólidos dissolvidos totais; descargas industriais de compostos potencialmente tóxicos no sistema municipal de esgoto; infiltração de águas salgadas (cloretos) no sistema de esgoto em áreas costeiras (US EPA, 2004).

A rega com águas residuais pode adicionar excesso de sais e nutrientes para o solo afetando potencialmente a qualidade das águas subterrâneas por lixiviação. O impacto real depende de uma série de fatores, incluindo a profundidade do lençol freático, a qualidade das águas subterrâneas, drenagem do solo, condutividade hidráulica, escala de rega com águas residuais e práticas agronômicas (Khan & Hanjra, 2008).

A reutilização de águas na agricultura, caso não seja devidamente regulada, poderá representar riscos ambientais, visto que mesmo tratadas ainda contêm metais pesados e nocivos químicos orgânicos, tais como compostos farmacêuticos ativos e compostos de desregulação endócrina, bem como organismos patogênicos (Stagnitti, 1999; Monte & Albuquerque, 2010). A emissão dessas novas substâncias químicas tais como estrogênios, disruptores endócrinos e tensioativos e sua ineficaz remoção por meios convencionais em estações de tratamento de águas residuais tem representado riscos adicionais para a saúde pública (Emmanuel *et al.*, 2009). Entre os poluentes emergentes, nomeadamente os disruptores endócrinos são conhecidos por serem capazes de alterar o sistema natural de produção de hormonas em animais e seres humanos. Casos de feminização de peixes machos têm sido relatados na literatura. Ressalta-se ainda, outros compostos como a N-nitrosodimetilamina (NDMA) proveniente, principalmente, da desinfecção por cloração e conhecida pelo seu elevado poder cancerígeno, e os percloratos, utilizados no fabrico de explosivos e em pirotecnia, os quais têm poder desfolhante e se acumulam em plantas regadas com água contaminada e nos produtos lácteos produzidos por animais alimentados com essas plantas (Monte & Albuquerque, 2010).

A identidade de muitos compostos e de seus efeitos no processo de reutilização da água só poderão ser esclarecidos com base no conhecimento mais amplo da capacidade de redução ou eliminação desses elementos por meio dos métodos de tratamento de águas residuais. Entretanto, o desenvolvimento dos métodos de análise tem permitido, nos últimos anos, a identificação de alguns desses poluentes emergentes, cuja regulamentação é ainda matéria em consideração (Monte & Albuquerque, 2010).

2.2. Indústria do Queijo

Em 2011, a indústria de laticínios nacional, nomeadamente a do queijo, cresceu cerca de 1% em relação a 2010 com uma produção de 77 mil toneladas. Esta evolução resultou sobretudo da produção de queijo de vaca (58 mil toneladas) e de cabra (1,7 mil toneladas) que registaram aumentos de cerca de 2%, como indica a Figura 1 (INE, 2011). Os efluentes provenientes do fabrico de queijo constituem a principal fonte de contaminação ambiental na indústria de laticínios, sendo caracterizados por uma carga orgânica que pode atingir valores de 100 kg/m³ (Yorgun, *et al.*, 2008).

Em Portugal, no subsector dos queijos, a indústria de transformação encontra-se pulverizada, coexistindo empresas de grande dimensão a par de um grande número de empresas de pequena dimensão. São justamente as unidades de pequena dimensão (principalmente as de laboração do queijo de cabra e ovelha) que exercem maior pressão sobre o ambiente, pois, nem sempre dão o melhor destino aos efluentes gerados. Todavia, as unidades agroindustriais do setor leiteiro de maior porte, face à informação existente e especialização, já dispõem de soluções para o tratamento das suas águas residuais (ENEAPAI, 2007).

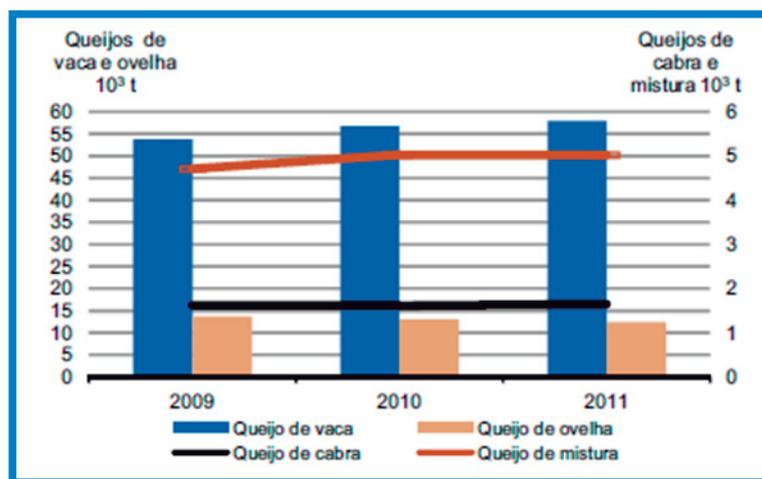


Figura 1. Produção de Queijos em Portugal (INE, 2011)

Do ponto de vista físico-químico, o leite e, por sua vez, os efluentes de lacticínios são constituídos por uma mistura homogénea de várias substâncias, tais como: vitaminas, enzimas, açúcares (sobretudo a lactose), lipídios (principalmente os triglicéridos), proteínas (sendo a caseína a mais abundante), sais; as gorduras e substâncias associadas encontram-se em emulsão; já as caseínas ligadas a sais minerais estão em suspensão; a lactose, vitaminas hidrossolúveis e proteínas do soro encontram-se em dissolução verdadeira (Behmer, 1999; Gomes *et al.*, 2008). A lactose, presente no leite, atinge os 4,6%, e a sua transformação em ácido láctico induz a precipitação da caseína causando a coagulação. Por este motivo, muitas vezes, é encontrado um valor elevado de sólidos suspensos totais em efluentes da indústria de lacticínios (Gutiérrez *et al.*, 1991; Behmer, 1999).

O fabrico do queijo baseia-se na coagulação da caseína do leite, ou das proteínas do soro (INETI, 2001) sendo este um produto fresco ou maturado, no qual a coagulação pode dar-se pela ação física do coalho, de enzimas e bactérias específicas, de ácidos orgânicos (isolados ou combinados); todos de qualidade apta para o uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos, substâncias aromatizantes e matérias corantes (Maganha, 2006). A Figura 2 resume as etapas gerais do processo de fabrico do queijo.

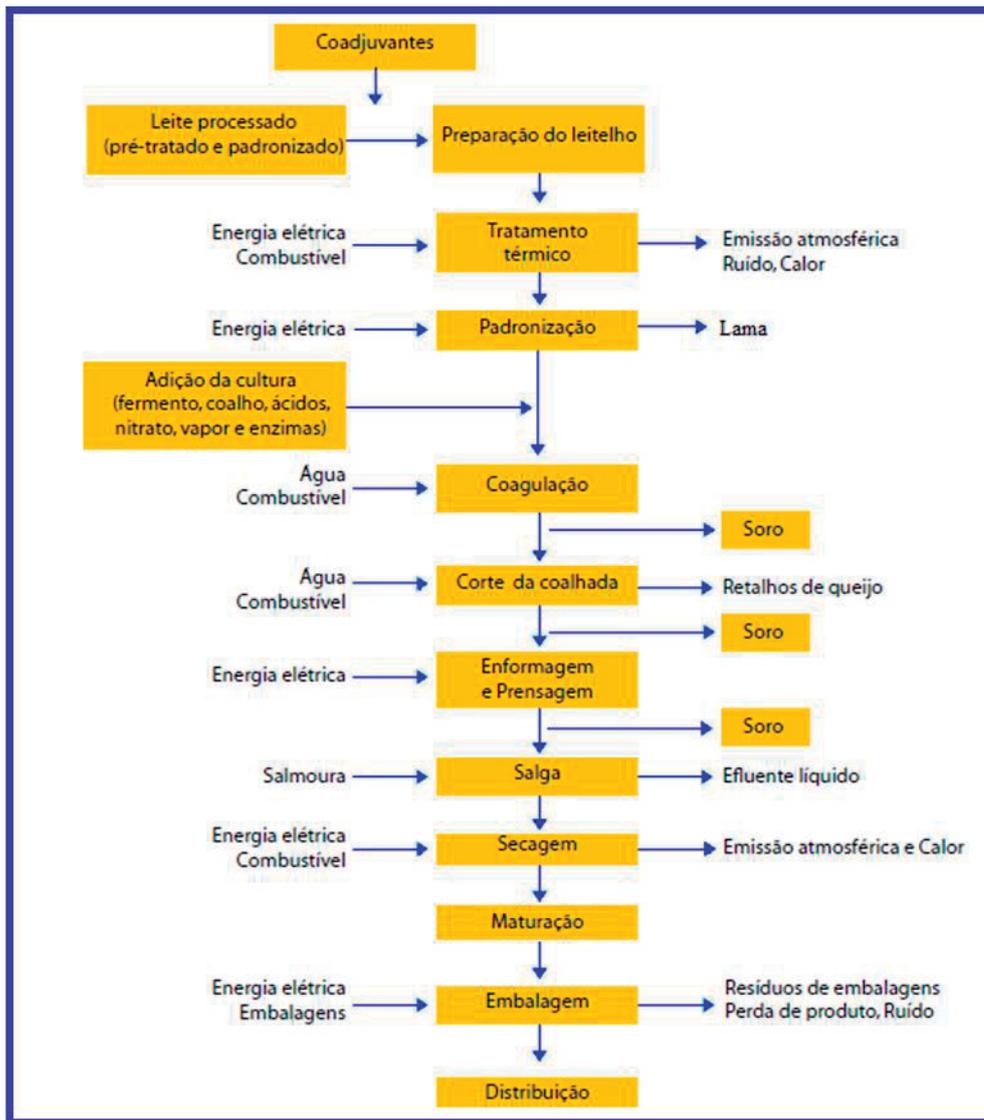


Figura 2. Etapas do processo de produção de queijo (Maganha, 2006)

2.2.1. Caracterização da água residual da indústria do queijo

A constante procura por leite e seus derivados é o principal responsável pelo crescimento da indústria dos laticínios na maioria dos países do mundo. O caudal médio diário dos efluentes produzidos por esse setor, na Europa, ronda os 500 m³/dia. Entretanto, não é apenas pelo volume de águas residuais geradas que esse tipo de indústria é considerado poluente, mas também pelas suas características físico-químicas como elevado teor de CBO e CQO, alta concentração de nutrientes (azoto e fósforo), elevada carga de sólidos em suspensão e gordura (óleos e graxas). As águas residuais de queijo apresentam pH à volta de 5,5 a 7,5 e valores elevados de sólidos suspensos totais (250 a 600 mg /L), sólidos dissolvidos totais (800 a 1200

mg /L), CQO (1500 a 3000 mg/ L) e CBO (350 a 600 mg /L) (Demirel *et al.*, 2005; Sarkar *et al.*, 2006).

Os teores de matéria orgânica estão relacionados, principalmente, com a presença de hidratos de carbono (lactose), proteínas do leite (caseína), ácido láctico, minerais, detergentes, etc. Todos esses fatores contribuem para que esse tipo de efluente seja de difícil tratamento, no qual sem um tratamento eficaz apresenta graves riscos ambientais (Vourch, *et al.*, 2005; Rivas, *et al.*, 2011).

Nas indústrias de laticínios qualquer etapa do processamento gera grandes volumes de efluentes (“águas brancas”), pois a sua utilização está normalmente vinculada à garantia das condições sanitárias e de higiene necessárias. De acordo com o tipo de instalação, do sistema de limpeza e seu manuseamento, a quantidade de água consumida no processo pode ultrapassar, em muito, o volume de leite processado, atingindo em certos casos 15 litros por cada litro de leite processado; trata-se de uma das maiores fontes de efluentes industriais a nível europeu, sendo este um dos principais impactes do setor (INETI, 2001; Ballanec *et al.*, 2002; Mangana, 2006; Schneider & Topalova, 2009).

Os subprodutos do fabrico de queijo: soro, soro e água residual, constituem as principais fontes de contaminação ambiental da indústria de laticínios. O Soro do queijo é um líquido verde-amarelo remanescente após a precipitação e remoção da caseína do leite durante a produção de queijo. Este subproduto representa cerca de 85-95% do volume de leite e retém 55% dos nutrientes do leite. Entre o mais abundante destes nutrientes estão a lactose (4,5-5% w / v), as proteínas solúveis (0,6-0,8% w / v), lípidos (0,4-0,5% w / v) e sais minerais (8-10% do extrato seco). O soro do queijo representa um importante problema ambiental, devido ao elevado volume produzido e o seu teor de matéria orgânica, exibindo um CBO₅ de 30.000-50.000 ppm e CQO de 60,000-80,000 ppm, sendo a lactose a grande responsável pelo alto teor de CBO e CQO (Siso, 1996).

Durante o processo de fabrico, também, ocorrem muitas perdas na produção por meio das descargas de misturas aquosas de leite e sólidos suspensos durante os arranques, paragens e mudanças de produtos dos pasteurizadores, separadores, clarificadores e evaporadores. Estima-se que ocorra um desperdício de 2% do volume total de leite processado, que por falhas operacionais e outras causas acabam se misturando ao efluente produzido (Kushwaha, *et al.*, 2010; Costa, 2011). Outros elementos que constituem o efluente gerado na produção do

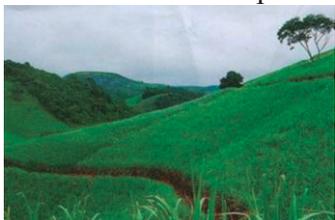
queijo são: os produtos residuais que permanecem nas tubagens, bombas, tanques, cubas e equipamentos de processo; água de lavagem, resultantes da limpeza de tanques no cais de receção do leite, das instalações, dos equipamentos e dos utensílios; detergentes e desinfetantes usados nas operações de lavagem; lubrificantes utilizados na manutenção dos equipamentos; sólidos de leite retidos em clarificadores, filtros e grelhas, gorduras e restos ou pedaços de produto final eventualmente não removidos para a reciclagem ou deposição em separado (Costa, 2011).

A aplicação no solo dos subprodutos da indústria do queijo também tem sido considerada (Lehrsch *et al.*, 2008). Os sólidos suspensos, gorduras e salinidade (devido ao sódio e cloreto) constituem os principais fatores de risco ambiental, podendo também afetar a estrutura dos solos (Saddoud *et al.*, 2007; Dragone *et al.*, 2009).

As lamas do tratamento de águas da indústria de laticínios constituem uma alternativa promissora, classificada na Lista Europeia de Resíduos com o código 020502. As lamas obtidas por coagulação-floculação de água residual de queijo (Rivas *et al.*, 2010) apresentaram conteúdo orgânico semelhante ao obtido no tratamento de águas municipais (Acosta *et al.*, 1998) e teores de fósforo e azoto que possibilitam a utilização como fertilizante. Precipitado e sobrenadante da água do queijo já tem sido pesquisado por Rivas *et al.* (2010) em culturas de tomate, com obtenção de excelentes resultados.

2.3. Indústria do Etanol

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo que a área cultivada e colhida



destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2012/13 foi estimada em 8.527,8 hectares, distribuídos principalmente no Estado de São Paulo, principal produtor com mais de 50% da área nacional cultivada. A produção de etanol foi estimada em 23,49 mil milhões de litros, 3,21% maior que a produção da safra 2011/12 (CONAB, 2012). A produção com tecnologia avançada e as características edafoclimáticas ideais para o plantio da cana-de-açúcar faz com que o custo brasileiro de produção do etanol seja o menor (cerca de 50%) em relação aos países concorrentes (Napoleão, 2007).

O etanol produzido a partir de biomassa tem recebido atenção mundial por duas razões principais. Primeiro, é uma alternativa viável aos combustíveis fósseis utilizados em veículos leves e que nos últimos anos vem subindo significativamente de preço. Segundo, o etanol é a nova fonte de energia capaz de atenuar o efeito das emissões de gases estufa (Furtado *et al.*, 2011), apresentando uma redução média de 85% da produção desses gases em relação aos combustíveis fósseis (Börjesson, 2009). O sucesso do Brasil com a agroindústria da cana não deve ser entendido baseado unicamente na vantagem comparativa natural, e, sim, como um conjunto de esforços que culminaram numa trajetória positiva de aprendizagem tecnológica, com base, sobretudo, em inovações adicionais. Esse processo teve como ponto de inflexão o Programa Proálcool, lançado após a primeira crise do petróleo em 1973. A partir desse Programa a agroindústria começou a difusão de inovações, tornando possíveis os aumentos constantes de produtividade e a redução de custos na sua produção. O avanço tecnológico trouxe benefícios tanto para o álcool quanto para o açúcar, tornando o Brasil líder mundial do setor (Furtado *et al.*, 2011).



2.3.1. Caracterização da água residual da indústria do etanol - vinhaça

A vinhaça, conhecida também como restilo e vinhoto, é o líquido residual, produto de calda



na destilação do licor de fermentação do álcool. Esse subproduto da indústria do álcool é produzido em muitos países do mundo, e a sua composição varia de acordo com a matéria-prima (cana-de-açúcar, beterraba, soja) e com os equipamentos utilizados no processo de produção (Kumar *et al.*, 1998; Gemtos *et al.*, 1999; Naik *et al.*, 2008). A vinhaça constitui-se no principal efluente das destilarias de álcool e, em geral, apresenta alta turbidez, pH baixo (3,7 a 4,5) e é composta, principalmente, por água, matéria orgânica, alto teor em K e ainda teores significativos de N, P, Ca e Mg. Além disso apresenta caráter corrosivo em função do ácido sulfúrico usado nas dornas de fermentação (Silva & Silva, 1986; Gomez e Rodriguez, 2000; Franco, *et al.*, 2008, Doelsch, *et al.*, 2009).

A quantidade de vinhaça despejada pelas destilarias pode variar de 10 a 15 L por litro de álcool produzido, dependendo das condições tecnológicas. A vinhaça é caracterizada como

efluente com alto poder poluente, isso decorre da sua riqueza em matéria orgânica, CBO_5 variando de 20.000 a 35.000 mg /L, baixo pH, elevada corrosividade, além de elevada temperatura na saída dos destiladores (80 a 100 °C). Portanto é considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces (Paranhos, 1987; Freire & Cortez, 2000; Granato, 2003).

2.3.2. Aspectos agronômicos e ambientais relacionados à aplicação da vinhaça

A aplicação de vinhaça em solos, como fertilizante, constitui uma prática comum (Silva *et al.*, 2006) e, quando realizada de forma controlada em termos de quantidades aplicadas, pode beneficiar orgânica e nutricionalmente os solos. Por constituir-se em matéria rica em azoto, e em especial em potássio, a vinhaça tem sido amplamente empregada como fertilizante nas próprias lavouras de cana, podendo reduzir a quantidade necessária de fertilizantes para o rendimento ótimo da cultura. Estudos sugerem que a vinhaça poderia substituir cerca de 62% de P e 100% de K necessário para a produção de trigo (Arafat & Yassen, 2002) e ainda aumentar significativamente o rendimento da cana-de-açúcar, ervilha, trigo e de milho, bem como a absorção de N, P, K, S e Ca (Korndorfer & Anderson, 1997). Outros autores afirmam que a aplicação da vinhaça proporciona um aumento da produtividade e da massa verde da cana-de-açúcar (Neto, 2012), pode substituir parcialmente ou totalmente a adubação mineral (Melo, 2010), sua utilização *in natura*, via fertirrega, apresenta efeitos positivos sobre a produtividade agrícola (Có Júnior, 2008) e, além de proporcionar melhorias no sistema produtivo e na produção de colmos, promove um aumento no rendimento teórico de açúcar recuperável (Barbosa, 2010).

A matéria orgânica contida na vinhaça, ao incorporar-se ao solo, é colonizada por fungos que a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio e, deste modo, possibilitando o caminho para a proliferação bacteriana. Assim, quando adicionada como fertilizante, favorece também o desenvolvimento desses microrganismos que atuam na mineralização e imobilização do azoto e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica (Silva *et al.*, 2007). Os efeitos desse efluente no solo estão também relacionados com a elevação do pH, aumento da disponibilidade de alguns iões, aumento da capacidade de retenção de troca catiónica (CTC), aumento da capacidade de retenção de água e melhoria da estrutura física do solo (Glória & Orlando Filho, 1983).

Estudos indicam que a aplicação de vinhaça aumenta a área total de raízes, principalmente na profundidade de 0 a 0,25 m (Medina *et al.*, 2002) e pode elevar o teor de K nas folhas de cebola e no solo, sendo os aumentos e consequente lixiviação proporcionais às doses aplicadas (Paula, *et al.*, 1992). A lixiviação de cálcio e magnésio quase na mesma proporção das doses aplicadas e redução nos teores de micronutrientes no lixiviado, de acordo com o tempo de incubação da vinhaça, também já foi demonstrado (Cambuim, 1983). Além disso a aplicação contínua de doses elevadas de vinhaça provoca a saturação dos sítios de adsorção de carbono orgânico dissolvido, permitindo um aumento de sua lixiviação e a possibilidade de contaminação de águas subterrâneas (Benke *et al.*, 1999).

O impacto principal causado ao solo e às águas subterrâneas, devido à infiltração da vinhaça, refere-se à salinização, bem como à concentração crescente de nitrato, nitrito, amônia, magnésio, fosfato, alumínio, ferro, cloreto de manganês, e carbono orgânico. A Mobilização de metais como o ferro, cádmio, cobre, cromo, cobalto, níquel, chumbo, zinco, também poderia ocorrer, mudando o pH do solo e das águas subterrâneas. (Pereira, 2008). Elementos como o fosfato e o nitrato, dependendo da concentração, destacam-se como contaminantes de águas superficiais e subterrâneas, e, nos últimos anos, têm gerado grande preocupação acerca dos efeitos na saúde da população humana e animal (Meurer *et al.*, 2000; Resende *et al.*, 2002). A aplicação inadequada de vinhaça pode contribuir, ainda, para o aumento dos elementos químicos no solo, principalmente de K e Na, que influenciam o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (Brito *et al.*, 2005).

A elevação temporária do pH é um dos principais efeitos da vinhaça nos atributos químicos do solo, isso deve-se ao seu elevado teor de CBO que impõe um ambiente reduzido e permite com que os íons H^+ passem a atuar como aceitadores finais de elétrons (Doelsch *et al.*, 2009). Portanto, considerando a sustentabilidade ambiental da exploração do etanol, as doses e frequências de aplicação de vinhaça no solo devem ser monitorizadas, uma vez que o pH e carga líquida podem ser notavelmente influenciados (Ribeiro *et al.*, 2012).

2.4. Tratamento dos efluentes da indústria do queijo e do etanol

Atualmente, a gestão de águas residuais de queijo tem sido conduzida, principalmente, por aplicação de processos biológicos anaeróbios, com eficiências de remoção de matéria orgânica superiores a 80%. No entanto, na maioria dos casos, o efluente dos processos

biológicos não apresenta características compatíveis com a Legislação Ambiental Europeia, excedendo os valores limite de carência química e biológica de oxigênio. Além disso, os níveis de fósforo e azoto presentes podem conduzir ao fenômeno de eutrofização.

Relativamente à vinhaça, os tratamentos convencionais baseiam-se em processos biológicos, principalmente os anaeróbios, que têm sido amplamente utilizados para reduzir os seus efeitos negativos sobre o ambiente (Souza *et al.*, 1992; Bénitez *et al.*, 1998; Döll & Foresti, 2010), uma vez que permitem a redução da contaminação e a formação de produtos gasosos que podem ser valorizados. No entanto, na maioria dos casos estas tecnologias biológicas não permitem a obtenção de efluentes com valores compatíveis com os limites de descarga (Pant e Adholeya, 2007). Por outro lado, a elevada carga orgânica, conduz ao desequilíbrio entre a produção e o consumo de ácidos voláteis, tornando instável o funcionamento dos reatores anaeróbios (Döll e Foresti, 2010), consequentemente tratamentos adequados e eficientes são necessários. De forma a controlar os problemas ambientais da vinhaça têm sido estabelecidas normas e leis no Brasil, das quais se pode destacar a Norma Técnica CETESB P4.231 (homologada em Março de 2005) (Döll e Foresti, 2010).

Os processos mais utilizados atualmente para tratamento das águas residuais da indústria de laticínios são: tratamentos aeróbios e anaeróbios, tratamentos de separação por membranas, tratamentos por coagulação/ floculação ou eletrocoagulação/ precipitação, biorremediação ou algumas combinações entre estes tratamentos (Arvanitoyannis & Kassaveti, 2008).

Resultados do tratamento de água do queijo obtidos por Rivas *et al.* (2010), utilizando o processo de coagulação-floculação por meio de três diferentes coagulantes, nomeadamente, FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, e FeCl_3 , indicaram reduções satisfatórias no teor de CBO e CQO. A condição ideal do FeSO_4 foi obtida utilizando 250 ppm de sal a um pH de 8,5, no qual se conseguiram remoções de 50 e 60 % de CQO e CBO, respetivamente. Tais reduções apresentaram-se maiores em comparação com o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, ao passo que este necessitou de uma quantidade de sal significativamente mais elevada (1000 ppm). Contudo, o emprego do FeCl_3 a 250 ppm eliminou teores de CQO e CBO_5 na ordem dos 40-60%.

Os biorreatores de membrana, que são combinações de unidades de lamas ativadas e membrana de filtração para a retenção de biomassa, têm sido utilizados com sucesso para o tratamento de águas residuais do queijo (Pavlova *et al.*, 1995; Hasar & Kinaci, 2004;). Esse sistema apresenta algumas vantagens como a alta intensidade de remoção de CBO, a remoção

de nutrientes de maior estabilidade, aplicáveis aos resíduos de difícil tratamento, menor produção de lama, mas por outro lado apresenta altos custos operacionais devido a manutenção das membranas e alto gasto energético (Çinar, *et al.*, 2004).

No processamento do leite, em grandes instalações, o soro do leite geralmente é seco e usado como matéria-prima para a alimentação de animais e mais recentemente pela indústria agroalimentar e farmacêutica. No entanto, os pequenos produtores de queijo, não possuem equipamento para recuperar esse soro que, por sua vez, acaba por ser tratado em conjunto com a água residual gerada, aumentando significativamente o CQO final do efluente. De acordo com essa necessidade, um estudo baseado no acoplamento sequencial de degradação anaeróbia e aeróbia num digestor único foi proposto a fim de limitar os custos de investimento, e fornecer um processo eficiente e económico para o tratamento dos efluentes dos produtores de queijo de unidades em pequena escala (Frigon *et al.*, 2009). A melhoria do processo biológico, como opção atraente para fábricas de queijo de pequeno e médio porte, utilizando um coagulante eficaz e económico ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), como pré-tratamento alcalino na biodegradação anaeróbia, também tem sido proposto (Rivas, *et al.*, 2011).

A vinhaça contém uma série de compostos orgânicos recalcitrantes, em particular os poliaromáticos e polifenóis, tais como ligninas, taninos e ácidos húmicos que a tornam um efluente de difícil degradação, uma vez que os métodos tradicionais de tratamentos não conseguem eliminá-los completamente ou, pelo menos, transformá-los em espécies menos tóxicas (Edwards & Amirtharajah, 1985; Sierra & Lettinga, 1990; Heredia *et al.*, 2005) devido ao efeito negativo que estes compostos orgânicos apresentam (especialmente compostos polifenólicos) sobre os microrganismos usados durante o tratamento biológico (Bénitez *et al.*, 2003).

Souza e colaboradores (1992) obtiveram eficiência de remoção de carência química de oxigénio (CQO) de 72% quando utilizaram um reator UASB em condições termofílicas e uma carga orgânica diária de 25-30 kg de CQO/m³. Neste caso a produção diária de gás apresentou valores de 10 Nm³/m³. Seria, portanto, desejável dispor de um pré-tratamento com oxidação química capaz de converter o inibidor e compostos refratários em moléculas mais simples de baixo peso molecular facilmente utilizados como substratos pelas populações anaeróbias. Desta forma, as vantagens típicas dos processos anaeróbios seriam preservadas (Henze & Harremoës, 1983).

Assim, pesquisas recentes têm sido conduzidas no intuito de alcançar resultados mais satisfatórios no tratamento da vinhaça. Santana & Machado (2008) obtiveram resultados excelentes utilizando a radiação solar na degradação da vinhaça, no qual os catalizadores TiO_2 e $Nb_2O_5-TiO_2$ apresentaram alta atividade (45 e 55% de redução de carbono orgânico total, respectivamente) demonstrando que a fotocatalise heterogênea pode ser considerada eficaz no tratamento desse efluente industrial recalcitrante. Martín *et al.* (2002) utilizaram ozono, UV e dióxido de titânio no tratamento da vinhaça e conseguiram reduzir o CQO e o COT (Carbono Orgânico Total) e aumentar o coeficiente de rendimento e a taxa média específica de metano (25%) em relação à vinhaça não tratada. Zaya *et al.* (2007) investigaram a purificação da vinhaça, que já havia sido submetida a um tratamento biológico, por meio da aplicação de dois métodos complementares: coagulação / floculação usando $FeCl_3$ como um coagulante, seguido por oxidação eletroquímica, utilizando um eletrodo de Ox Ti / RuPb (40%) como ânodo e Ox Ti / PtPd (10%) como cátodo, tendo o experimento demonstrado grande potencial para reduzir o CQO (mais de 95%) e cor e turbidez (na ordem dos 100%). Davila *et al.* (2011), também obtiveram resultados favoráveis na remoção de COT, CQO, sólidos totais e turvação (21%, 61%, 50%, 80%, respectivamente), utilizando o processo de eletrocoagulação/eletroflotação da vinhaça.

2.5. Caracterização de lamas residuais

Atualmente, alguns resíduos são produzidos como resultado das tentativas da sociedade com vista a solucionar problemas ambientais, tais como a poluição da água e da atmosfera. Algumas das quantidades crescentes de resíduos volumosos dão origem a novos problemas – entre os exemplos incluem-se as lamas do tratamento das águas residuais (AEA, 1999). O aumento da quantidade de produção de lamas está relacionado com o aumento da percentagem da população servida por sistemas de tratamento das águas residuais. Assim, as políticas de redução da poluição causada pelas águas residuais devem levar em conta aplicações que evitem a transferência da poluição da água para o solo ou para a atmosfera durante o processo de eliminação das lamas, gerando riscos suplementares para o ambiente (AEA, 2005).

As lamas resultantes do tratamento de águas residuais domésticas e industriais apresentam características diferentes. Assim, a composição da água residual, o (s) processo (s) de

tratamento e a concentração de reagentes determinam o conteúdo orgânico e nutricional das lamas. A correta eliminação ou valorização são mecanismos de gestão requeridos pela legislação, sendo este último a solução de gestão preferencial (Otero *et al.*, 2003). Na União Europeia, os principais destinos dados às lamas que são geradas são: reciclagem, depósito em aterro sanitário e incineração (EEA, 2001).

As lamas colocadas em aterros – principal via de eliminação em muitos Estados Membros – ao se decomporem, devido à presença de matéria orgânica num ambiente com falta de oxigênio, produzem gases como o metano e o dióxido de carbono (ambos gases de efeito estufa), além dos maus odores e do lixiviado altamente contaminado que pode afetar as águas subterrâneas. A incineração de lamas apresenta custos elevados, devido à exigência de processos sofisticados para a depuração dos gases de combustão, além de apresentar outros problemas relacionados à manipulação dos resíduos, à produção de dióxido de carbono e à destruição total da matéria orgânica e dos nutrientes contidos nas lamas. Portanto, a utilização de lamas nos solos agrícolas como adubo é considerada como a melhor opção ambiental, desde que não coloque nenhuma ameaça ao ambiente, nem à saúde humana e animal (CCE, 2000). Nesse âmbito, a Diretiva 86/278/CEE procura regulamentar a disseminação de lamas de depuração nos solos agrícolas, visto que a aplicação destes recursos não convencionais é bastante abrangente, pois, geralmente, reduz a poluição dos efluentes e os custos de tratamento, e beneficia economicamente os agricultores, nomeadamente, na utilização de recursos a baixo custo. Adicionalmente constitui uma vantagem para os solos mediterrânicos, que se caracterizam por baixo teor de matéria orgânica, além de evitar a eliminação das lamas por deposição em aterro, armazenamento em lagoas ou incineração.

2.5.1. Reutilização de lamas em atividades agrícolas e seus possíveis impactes

A reutilização agrícola de resíduos orgânicos (lamas de tratamento de águas residuais urbanas, lamas celulósicas, resíduos de matadouro e de agroindústrias, etc.) tem aumentado exponencialmente, devido ao seu valor agronómico e à sua capacidade para aumentar a qualidade e a quantidade de matéria orgânica e nutrientes no solo (Mazzarino *et al.*, 1998; Laos *et al.*, 2000), como azoto, fósforo, potássio, cálcio, etc. Além disso, a valorização agrícola deste tipo de resíduos apresenta-se como uma alternativa ao uso excessivo de fertilizantes químicos comerciais.

A reciclagem agrícola é a mais promissora alternativa para a adequada disposição das lamas produzidas em consequência do tratamento de efluentes, tanto sob o aspeto ambiental quanto económico (Andreoli *et al.*, 2001). Nos países desenvolvidos cerca de 40% da lama produzida é utilizada na agricultura. Na Espanha, por exemplo, a utilização de lamas faz-se principalmente com o intuito de melhorar o baixo teor de matéria orgânica dos solos mediterrânicos, propiciando o combate à erosão e à desertificação (CCE, 2000; Gasco & Lobo, 2007). A matéria orgânica pode melhorar a sustentabilidade do solo, com reflexos ambientais imediatos na melhoria da qualidade dos recursos hídricos, tendo em vista que a parte orgânica aumenta o conteúdo de húmus, melhorando a capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo; o que num sentido mais amplo, pode influenciar as condições da biosfera (Andreoli *et al.*, 2001).

Além disso a presença de elementos como fósforo e azoto podem melhorar de maneira significativa a fertilidade do solo, bem como as suas características físico-químicas, reequilibrando o conteúdo mineral e proporcionando às plantas nutrientes essenciais que possam acelerar o seu crescimento, vigor e produtividade (Ferreira *et al.*, 2001; Gonçalves & Castro, 2004).

As lamas são também caracterizadas por conterem níveis elevados de metais pesados e outros poluentes que, uma vez aplicados no solo, devido à transferência e acumulação na cadeia alimentar, podem vir a ser tóxicos para as plantas (reduzindo o peso da raiz ou número de folhas), para os microrganismos, para os animais e para os humanos (McBride, 2003; Gonçalves & Castro, 2004; Dai *et al.*, 2006). Existe, também, um entendimento geral de que os efeitos da aplicação de lamas na atividade microbiana, na fauna e na flora do solo são difíceis de estudar, porque elas são influenciadas por uma série de fatores interdependentes como fertilização, retenção de água, teor de metais pesados, método de aplicação das lamas, etc. (Schowanek *et al.*, 2004). Nessa perspetiva, a sua utilização exige certa cautela, pois tanto os metais quanto os agentes patogénicos como ovos de helmintos, esporos de fungos e colónias de bactérias tendem a se concentrarem no precipitado. Por isso, as políticas de reciclagem agrícola devem ser baseadas em estudos que definam critérios agrónómicos, ambientais e sanitários, de modo a garantir a sua utilização segura (Andreoli *et al.*, 2001).

Na China, uma investigação conduzida por Wang *et al.* (2005), demonstrou que o impacto causado por metais pesados devido à aplicação de lamas na agricultura deve ser avaliado, pois as lamas de algumas ETARs apresentaram concentrações de metais (Cr, Ni, Cu, Cd, Zn)

acima dos valores permitidos, de modo que sob essas condições não poderiam ser utilizadas na agricultura por não serem ambientalmente seguras. Assim, não há dúvidas de que a presença de metais pesados tóxicos, outros compostos tóxicos e microrganismos patogênicos nas lamas restringe a sua utilização como um fertilizante.

Todavia, alguns estudos têm sido realizados a fim de reduzir o nível de contaminação por esses elementos. Uma das alternativas tem sido a conversão pirolítica de lamas de águas residuais em biocarvão, que poderá ser uma opção de gestão sustentável para os solos agrícolas mediterrânicos, pois, por sua vez, essa alternativa indicou um menor risco de lixiviação de metais pesados como o Cu, Ni, Zn, bem como uma redução na biodisponibilidade destes metais para as plantas (Méndez *et al.*, 2012). Já o processo de biolixiviação baseia-se na solubilização de metais a partir do metabolismo de bactérias do gênero *Acidithiobacillus*, capazes de converter o ferro e enxofre em sulfato solúvel. No entanto a biolixiviação tem sido efetuada em condições controladas de laboratório, sendo necessário mais estudos aprofundados para a aplicação em larga escala, bem como a utilização de microrganismos geneticamente modificados a fim de melhorar a taxa de lixiviação (Pathak *et al.*, 2009).

Devido a presença de substâncias potencialmente perigosas presentes nas lamas, alguns representantes de federações, associações e autoridades públicas, se opõem a sua utilização na agricultura, servindo como matéria de debate desde a década de sessenta, na Suécia. Inclusive, a intratabilidade das controvérsias, muitas vezes, pautam-se em afirmações científicas que são interpretadas de diferentes maneiras por esses representantes. Entretanto, apesar dos impasses entre apoiantes e oponentes, a utilização de lamas continua despertando interesse por várias razões: a ênfase política sobre a reciclagem de nutrientes como parte de um desenvolvimento sustentável; os benefícios económicos para agricultores e municípios; os inconvenientes referentes às outras alternativas de manipulação das lamas, como, por exemplo, os custos mais elevados (Bengtsson & Tillman, 2004).

O equilíbrio do solo é determinante para o sustento da vida terrestre, por isso sua proteção tornou-se uma importante preocupação global, evidenciando uma crescente pressão pública e regulatória para avaliar, compreender e minimizar os possíveis impactes relacionados ao seu uso (Schowaneka *et al.*, 2004). A aplicação de lamas obtidas por processos de precipitação constitui uma alternativa inovadora. Conseqüentemente, a sua reutilização afeta o sistema

solo-recursos hídricos-planta, sendo necessário a monitorização dos diferentes componentes do sistema, de forma a viabilizar e a minimizar os impactos ambientais e na saúde pública.

2.6. Cultura da Alface

A alface é originária do Próximo Oriente e da região Mediterrânica. Do Egipto, o seu cultivo, passou para a Grécia e depois para Roma, onde adquiriu popularidade (Gardé & Gardé, 1988).

A alface é uma espécie herbácea, pertencente ao género *Lactuca sativa* (Cermeño, 1977; Cermeño, 1988; Maroto, 1990) e à família *Asteracea*. A planta é anual e umas das hortaliças mais consumidas em todo o mundo (Henz & Suinaga, 2009), sendo-lhe atribuídas propriedades tranquilizantes, cujo valor energético é de 20 cal/100 g e muito apreciadas devido o seu alto teor em vitaminas e sais minerais (Maroto, 1990).

A alface é uma excelente fonte de vitamina A, possuindo também as vitaminas B1, B2, C e os minerais cálcio e ferro. A alface é constituída essencialmente por água (95%), encontram-se também algumas fibras (1,5%), minerais (0,7%), proteínas (1,25%), lípidos (0,2%), vitaminas e ácidos orgânicos, com pequenas variedades entre tipos. Em valores médios, cem gramas de folhas de alface contém 1,2 g de proteínas, 2,3 g de hidratos de carbono, 38 mg de cálcio, 1,1 mg de ferro e 42 mg de fósforo (Cunha, 1997; DISQUAL, 2012).

Entre as cultivares de alface existe uma grande diversidade de formas, tamanhos e cores. A cor de suas folhas variam do amarelado ao verde-escuro, porém algumas variedades apresentam cores arroxeadas devido ao pigmento antocianina. A textura das folhas pode ser macia ou amanteigada ou rija e estaladiça. As flores são hermafroditas, o ovário bicarpelar, com um único óvulo dando origem à semente, e a fecundação é autogâmica. Os frutos são aquênios estriados e de forma alongada (Gardé & Gardé, 1988) e as raízes são aprumadas e curtas – raramente excede os 25 cm de profundidade - e com pequenas ramificações. Quando cultivada em estufa, pode ser colhida 60 dias após o transplântio (Cermeño, 1977).

Atualmente, as diferentes culturas de alfaces podem ser dos tipos: Bola de Manteiga, Batávias, Romanas, Grasses ou Latinas, de folhas ou de cortar e as de caule ou alfaces espargo. Em Portugal, as cultivares mais difundidas pertencem ao grupo Bola de Manteiga, sendo que o cultivo de Batávias (de origem europeia) tem vindo a aumentar, gradualmente,

mesmo em regiões como o Entre-Douro e Minho, onde há cerca de uma década praticamente não existia (DISQUAL, 2012). A diversidade nas características morfológicas e fisiológicas entre os vários tipos de alface determina diferenças significativas na conservação pós colheita e nos aspetos de manuseamento da planta (Henz & Suinaga, 2009).

2.6.1. Exigências edafoclimáticas

Essa espécie hortícola pode dizer-se que se adapta bem em quase todos os tipos de solos, desde que não falte água. Entretanto, os tipos de solos ideais são os areno-argilosos (Gardê & Gardê, 1988), com boa drenagem interna e ricos em matéria orgânica, onde o pH deve estar entre 6,7 a 7,4, pois não resiste à acidez, pode adaptar-se a terrenos ligeiramente alcalinos. A excessiva concentração de sais no solo provoca, muitas vezes, necrose da margem das folhas e atrasos no crescimento da planta (Cermeño, 1977; Cermeño, 1988; Maroto, 1990).

Os adubos orgânicos são amplamente empregados nos sistemas de produção de alface, como condicionadores do ambiente químico e físico da rizosfera e que implicam na resposta biológica das plantas (Rodrigues & Casali, 1998). Entretanto deve haver o cuidado para que não sejam aplicados em doses excessivas, visto que isso poderá comprometer a produtividade da cultura (Silva *et al.*, 2000).

A sua adaptação a um determinado clima depende principalmente da variedade cultivada. Em geral, as cultivares se desenvolvem bem em climas temperados e húmidos, principalmente no período de crescimento vegetativo. A ocorrência de temperaturas mais altas acelera o ciclo cultural, resultando em plantas menores devido ao espigamento precoce (Henz & Suinaga, 2009). No entanto, algumas variedades suportam bem o calor, sem tendência a espigar, outras são capazes de suportar o inverno, desde que não seja demasiado rigoroso, mas em termos gerais o seu crescimento ótimo ocorre em temperaturas de 15-20 °C (Gardê & Gardê, 1988; Maroto, 1990), podendo a temperatura máxima tolerável chegar aos 30°C e a mínima aos 6°C. A humidade relativa mais apropriada está entre os 60 e 80 %, contudo, em determinadas fases do ciclo pode desenvolver-se melhor com humidade relativa abaixo dos 60 % (Cermeño, 1977).

A luz também desempenha um importante papel nas variedades de alface que formam repolhos. Um bom repolhamento depende principalmente do equilíbrio entre a luz recebida e

a temperatura: quando a temperatura é superior a 20°C são necessários dias longos e com forte luminosidade; quando os dias são curtos e a luminosidade é fraca as temperaturas deverão ser baixas. As alfaces não repolham quando se conjugam temperaturas altas e fraca luminosidade (DISQUAL, 2012).

2.6.2. Doenças e pragas

Entre as principais pragas que podem afetar a cultura da alface pode citar as lagartas (comedoras de folhas), os pulgões (amarelecimento das folhas) a mosca branca (produzem larvas que sugam a seiva das folhas) e as lesmas e os caracóis (Gardê & Gardé, 1988).

Relativamente às doenças causadas por fungos destacam-se o míldio aveludado (*Bremia lactucae*) que produz inicialmente manchas amarelas nas folhas e depois manchas esbranquiçadas; o oídio (*Erysiphe cichoracearum*) – formação de pó branco nas folhas (Maroto, 1990); a murchidão originada pelo ataque de diversos fungos (*Pythium*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, etc.); a podridão cinzenta (*Botrytis cinérea*) apresenta efeitos de queima nas margens das folhas (Gardê & Gardé, 1988).

Portanto, as ações contra as doenças e pragas devem privilegiar a luta preventiva e racionalizar as intervenções químicas para assegurar a melhor eficácia e o respeito pelos intervalos de segurança de cada produto. As doenças provocadas por fungos são as mais temíveis e as mais correntes. No entanto, as doenças bacterianas assumem uma importância cada vez maior. Assim, as técnicas culturais e outras medidas preventivas para evitar ou reduzir os problemas sanitários das culturas são de fundamental importância. No entanto, estas nem sempre são suficientes para solucionar todos os problemas que surgem, sendo por isso, necessário recorrer em, certas ocasiões, à utilização de produtos químicos. Estes devem ser usados de modo racional, sem pôr em risco os trabalhadores ou os consumidores (DISQUAL, 2012).

2.6.3. Cultura de alfaces com efluentes tratados

O uso de água residual tem demonstrado ser uma fonte de nutrientes para a cultura de alfaces, interferindo principalmente na formação de massa fresca e, por consequência, na área foliar

(Sandri *et al.*, 2007). Estudos sobre o efeito da fertirrega com águas residuais tratadas da indústria de laticínios e de matadouros indicaram uma contribuição significativa para o aumento da produtividade média da alface conduzida em estufa (Rodrigues *et al.*, 2011). O uso de lamas como fertilizantes agrícola para a planta de alfaces resultou num aumento da matéria fresca nas folhas e crescimento da parte aérea das plantas (Lopes *et al.*, 2005).

Por outro lado, a preocupação com os efeitos dos efluentes e resíduos utilizados na produção de culturas, não pode ser desconsiderada, pois trabalhos têm evidenciado a contaminação das folhas da alface por agentes patogénicos como *E. coli*, *Salmonella*, *L. innocua*, etc. presentes em solos contaminados por compostos e na água usada na rega, determinando perigos para a saúde humana (Oliveira *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2012). A presença de metais pesados como Ni, Cu, Zn e Al, em efluentes tratados, também pode causar impactes negativos na germinação e massa de plântulas de alface, sendo que a mistura desses metais causa maior toxicidade na planta do que a soma dos seus componentes separados (Charles, *et al.*, 2011), ou seja, mesmo que pela legislação o efluente a ser disposto contenha níveis aceitáveis do metal, a mistura desses elementos poderá, ainda assim, constituir-se num problema de cunho ambiental.

3. Materiais e Métodos

3.1. Localização do ensaio

O ensaio foi conduzido, durante dois meses (15/12/2011 a 13/02/2012), numa estufa situada no Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja/Portugal, junto à Quinta da Saúde na estrada que liga Beja a Évora (IP2), a 1,5 km de Beja e cuja localização geográfica é 38° 01' 53" N de latitude e 7° 52' 28" O de longitude e 226 m de altitude (Figura 3).



Figura 3. Área do Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja (Google Maps)

3.2. Instalação do ensaio e delineamento experimental

A transplantação das plântulas de alface foi realizada no dia 20 de Dezembro para os vasos definitivos, onde os mesmos tinham 22 cm de diâmetro e 15 cm de altura, obtendo um volume total de 3 dm³. O espaçamento adotado foi de 30 cm x 30 cm. A transplantação foi realizada quando as plântulas de alface apresentavam de três a quatro folhas definitivas, com aproximadamente 5 cm de altura. A alface utilizada neste ensaio foi a do grupo crespa.

Antes da plantação foram feitas análises químicas e físicas do substrato utilizado no cultivo das alfaces, que foram determinadas no Laboratório de Controlo de Qualidade de Água da Escola Superior Agrária de Beja. O substrato utilizado na plantação das alfaces era constituído de 60% de casca de pinheiro moída e 40% de areia, adquirido na Empresa Alenflor – Centro de Jardinagem do Alentejo Lda, com certificado de que este não estava contaminado de nenhum patógeno de solo. Quando analisado quimicamente, o substrato apresentou pH médio de 7,66 que está próximo da neutralidade e baixo valor de condutividade, mostrando que também o material é inerte, podendo as suas características serem vistas na tabela 2.

Tabela 2. Caracterização físico-química do substrato.

Parâmetro	Unidades	Intervalo	Valor médio
pH	-	7.55-7.84	7.66±0.16
Condutividade	mS/cm	0.84-0.94	0.90±0.06
Matéria seca	%	85.9-87.2	86.4±0.7
Matéria orgânica	%	24.8-36.8	30.4±6.5
Azoto <i>Kjeldahl</i>	g/kg de matéria seca	0.8-4.3	2.5±1.9
Ca	g/kg de matéria seca	8.1-11.1	9.4±1.3
Mg	g/kg de matéria seca	2.7-5.1	3.7±1.2
K	g/kg de matéria seca	1.01-1.24	1.14±0.10
P	g/kg de matéria seca	0.16-0.23	0.19±0.03
Na	g/kg de matéria seca	0.33-0.77	0.55±0.24

O delineamento foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos distribuídos em cinco repetições, exceto para o tratamento com lama de vinhaça, com 4 repetições. Os tratamentos foram denominados como: T0 – alfaces regadas com água subterrânea e cultivada em substrato sem qualquer tipo de fertilização (ensaio testemunha); T1 – alfaces fertirrigadas com vinhaça tratada; T2 – alfaces fertirrigadas com água residual do queijo tratada; T3 – alfaces cultivadas com lama obtida do tratamento da vinhaça; T4 – alfaces cultivadas com lamas obtidas do tratamento da água do queijo.

3.3. Caracterização das águas residuais tratadas utilizadas no cultivo das alfaces

A vinhaça foi adquirida na Usina Cosan grupo Raízen, localizada no município de Piracicaba, São Paulo – Brasil e a água residual de queijo foi recolhida de uma fábrica localizada na região geográfica do “Queijo Serpa” (Portugal). As águas residuais brutas foram tratadas por processos de precipitação química básica + neutralização natural, os quais permitiram a remoção parcial de matéria orgânica, sólidos, gorduras e nutrientes, etc. A Tabela 3 resume as principais características físico-químicas das águas tratadas e utilizadas nos ensaios de rega. As águas tratadas apresentam elevado teor de salinidade, sendo no caso da vinhaça aproximadamente 60% superior à água residual de queijo. Este efeito deve-se à valorização de soro, com conseqüente redução da carga orgânica, sais e nutrientes na água residual de queijo.

Tabela 3. Caracterização físico-química das águas residuais tratadas

Águas residuais tratadas		Vinhaça	Queijo
Parâmetro	Unidades	Valores médios	
pH	-	7.71±0.13	7.92±0.01
Condutividade	mS/cm	9.1±0.1	3.73±0.03
Potential redox	mV	-604.9	145.9±10.0
Carência Química de Oxigênio	mg/L	21604±323	1044.4±481.1
Sólidos totais	g/L	23.2±0.1	2.5±0.1
Sólidos voláteis	g/L	11.0±0.3	0.5±0.1
Sólidos fixos	g/L	12.1±0.4	1.9±0.1
Dureza total	mg/L CaCO ₃	7424.5±221.7	429.7±21.3
Dureza cálcica	mg/L CaCO ₃	6144.4±192.0	380.6±21.3
Dureza magnésiana	mg/L CaCO ₃	1280.1±399.7	49.1±21.3
Azoto Kjeldahl	mg/L	223.3±3.8	95.0±9.7
Azoto Amoniacal	mg/L	39.0±1.9	1.3±0.3
Ca	mg/L	2457.8±76.8	152.2±8.5
Mg	mg/L	311.1±97.1	11.9±5.2
K	mg/L	2395.1±58.4	81.7±4.6
Na	mg/L	183.9±66.3	1041.6±16.1

O elevado valor de salinidade da vinhaça tratada resulta, principalmente, do teor de cálcio e potássio, com valores médios de aproximadamente 2,4 g/L. Contrariamente, o sódio com valores médios de aproximadamente 1,0 g/L constitui o principal responsável pela salinidade da água residual de queijo. De acordo com a classificação de Fipps (2003) as águas residuais estudadas podem ser catalogadas como águas de rega de Classe 5 (inadequada) com risco muito alto de salinidade do solo (Varenes, 2003). Segundo Bauder e colaboradores (2011) as

limitações para o seu uso são graves, conseqüentemente, uma boa drenagem do solo é necessária, pois as plantas sensíveis podem ter dificuldades na germinação. Contudo, algumas culturas apresentam tolerância média a elevada à salinidade, podendo mesmo aumentar a quantidade e a qualidade da produção em condições de *stress* hídrico. Assim, alguns estudos têm demonstrado o aumento da qualidade do tomate em condições de salinidade, nomeadamente, com incremento de espécies antioxidantes, sólidos solúveis, aminoácidos e ácidos orgânicos (De Pascale *et al.*, 2001; Sato *et al.*, 2006). No que diz respeito às culturas de alface a redução de 50% da produção só é alcançada para níveis de salinidade da água de rega de 3,4 mS/cm, sendo a tolerância máxima de salinidade no solo de 9 mS/cm (Fipps, 2003).

O azoto das águas tratadas encontra-se principalmente na forma orgânica, sendo no caso da água residual de queijo de aproximadamente 98-99%. Em ambos os casos, a dureza das águas deve-se principalmente à presença de cálcio. Assim, no caso da vinhaça e água residual de queijo o cálcio é responsável por cerca de 83% e 89% da dureza total, respetivamente. A carga orgânica da vinhaça, monitorizada pela CQO, é cerca de 21 vezes superior à observada na água residual de queijo, apresentando valores similares à água residual bruta de queijo quando não existe valorização de soro de queijo.

3.4. Caracterização das lamas provenientes do tratamento de água residual de queijo e vinhaça

Os conteúdos de matéria orgânica e nutrientes das lamas obtidas no tratamento da vinhaça e água residual do queijo por precipitação química básica são condições potenciais para a sua aplicação agrícola, cobrindo as deficiências de matéria orgânica, macro e micronutrientes em solos áridos a baixo custo. As condições básicas usadas no processo de precipitação levam à obtenção de lamas com elevado valor de pH, permitindo o seu uso como corretivo do solo. A descrição dos ensaios para a obtenção das lamas pode ser conferida na publicação 1 do Anexo I.

Na Tabela 4 encontra-se a caracterização química da lama da vinhaça e lama do queijo utilizada no ensaio. As lamas apresentam características alcalinas, e o alto valor de condutividade é indicativo da presença de elevado conteúdo em sais e/ou compostos

hidrossolúveis. O pH elevado das lamas demonstra estabilidade e a possibilidade de utilização como corretivo de acidez em solos ácidos e/ou com carência de cálcio e magnésio. Além disso, são ricas em cálcio, magnésio, fósforo, azoto, etc.

Tabela 4. Caracterização química das lamas de vinhaça e de queijo utilizadas no cultivo das alfaces

Lamas resultantes das águas tratadas		Vinhaça	Queijo
Parâmetro	Unidades	Valores Médios	
pH	-	9.56±0.0	12.96±0.03
Condutividade	mS/cm	11.22±0.0	8.70±0.24
Matéria Orgânica	% na lama seca	42.2±0.7	19.7±1.0
Azoto <i>Kjeldahl</i>	g/Kg de peso seco	3.8±0.1	1.0±2.1
Ca	g/Kg de peso seco	104.7±20.2	245.3±27.9
Mg	g/Kg de peso seco	26.2±5.0	13.6±8.0
K	g/Kg de peso seco	9.4±1.1	0.21±0.06
P	g/Kg de peso seco	3.9±0.3	2.8±0.1
Na	g/Kg de peso seco	3.3±0.0	4.4±1.1
Cl	g/Kg de peso seco	-	6.2±0.2

Os cálculos da quantidade de lamas e das águas tratadas a serem aplicadas foram baseados na necessidade de potássio, azoto e fósforo para a cultura da alface conforme Carrijo *et al.* (2004). Entretanto, os volumes de águas de queijo e de vinhaça utilizados foram fracionados de acordo com a quantidade total de azoto, potássio e fósforo exigida pela cultura, indicada na Tabela 5. Esse parcelamento foi efetuado, pois sabe-se que quanto maior o parcelamento da fertirrega maior o aproveitamento da planta e menor é o risco de lixiviação dos nutrientes, evitando assim possível contaminação no lençol freático.

Tabela 5. Parcelamento diário para o azoto, fósforo e potássio para a cultura da alface.

SEMANA	N (%)	P (%)	K (%)
1	0,14	0,05	0,08
2	0,41	0,45	0,2
3, 4 e 5	2,85	2,41	2,4
6, 7 e 8	1,73	2,19	2,27

Para a lama do queijo foram utilizados 6 ton/ha para cada vaso e para a lama da vinhaça foram utilizados 4 ton/ha para cada vaso, tendo em vista que a lama da vinhaça apresenta maiores teores de azoto, fósforo e, principalmente, o potássio.

As Figuras 4 e 5 mostram as características visuais dos efluentes depois de tratados.

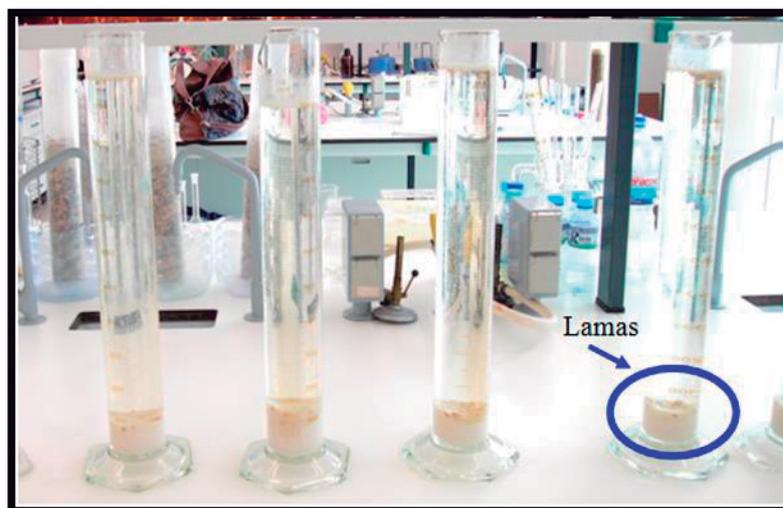


Figura 4. Características visuais do efluente e das lamas obtidas no tratamento de água residual do queijo



Figura 5. Características visuais do efluente e das lamas obtidas no tratamento de água residual da vinhaça

3.5. Descrição do ensaio

A água utilizada no ensaio T0 (testemunha), T3 (lama da vinhaça) e T4 (lama do queijo) foi captada de um furo existente no Centro Hortofrutícola onde foi desenvolvido o ensaio (Tabela 6). Na água de furo não foram encontrados teores de potássio, sendo estes valores normais para água de rega, que de acordo com Ayers & Westcot (1991), estão entre 0,0 e 2,0 mg/L. O valor médio da CE foi de 0,476 mS/cm, indicando baixo índice de salinidade. O valor médio de 7,5 para o pH é considerado normal numa escala para a água de rega que está entre 6,5 e 8,4, conforme o Decreto-Lei 236/98. O sódio apresentou valores médios de 58,9 mg/L, teores críticos para a água de rega, segundo Trani (2001). Entretanto para Crook (1991), valores de sódio até 70 mg/l não são prejudiciais para as plantas.

Tabela 6. Caracterização da água de furo utilizado no ensaio

Parâmetro	Unidades	Valores Médios
pH	-	7,5±0,40
Condutividade	mS/cm	0,476±0,072
Ca	mg/L	58,9±16,6
Mg	mg/L	36,4±9,4
Cl	mg/L	45,8±17,4
P	mg/L	1,2±0,6
N	mg/L	0,9±0,6
Na	mg/L	18,2±2,9

A quantidade de água de rega adicionada baseou-se nas necessidades hídricas da planta, utilizando a evapotranspiração como base para os cálculos durante o seu ciclo. Quando efetuava a rega para os tratamentos com lama e a fertirrega para os tratamentos com água tratada, esperava-se 24 horas para recolher o soluto drenado, a fim de analisar o lixiviado quanto aos seus componentes químicos. A primeira fertirrega ocorreu cinco dias após a transplantação das alfaces para os vasos e eram sempre efetuadas no período da manhã. Sendo realizada uma vez nas duas primeiras semanas e duas vezes nas semanas seguintes. A adubação por meio das lamas foi feita numa única dose cinco dias após a transplantação, mesmo dia em que se iniciou a fertirrega.

O volume de água de vinhaça (1^a a 8^a semana) e água residual do queijo (1^a e 2^a semana) foram completadas com a água subterrânea usadas nos ensaios T0, T3 e T4 para atingirem o volume total de água pretendido, calculado em função da evapotranspiração da cultura. Os tratamentos utilizando vinhaça e água residual do queijo tratadas foram designados por T1 e T2, respetivamente. A Tabela 7 mostra os volumes de águas utilizados durante as oito semanas de cultivo e a Figura 6 mostra as alfaces cultivadas no ensaio.

Tabela 7. Volume total de água residual tratada de queijo e de vinhaça utilizado no ensaio

Semanas	Volume total de água para a rega (mL/vaso)	Volume de vinhaça aplicada (mL/vaso)	Volume de água residual de queijo aplicada (mL/vaso)
1 ^o	500	10	30
2 ^o	400	30	73
3 ^o	870	300	870
4 ^o	870	200	870
5 ^o	870	200	870
6 ^o	830	120	830
7 ^o	830	120	830
8 ^o	830	120	830



Figura 6. Alfaces cultivadas com vinhaça e água residual do queijo tratadas e suas respectivas lamas (A e B)

3.6. Colheita e Avaliação da produtividade e crescimento da cultura

As plantas foram colhidas na oitava semana após a transplantação, pela manhã, cortadas rentes à superfície dos substratos, sendo separadas a parte aérea e raiz. O peso fresco da parte aérea das plantas de alface foi determinado em gramas após a colheita, lavagem e retirada do excesso de água. As alfaces foram pesadas logo após serem colhidas constituindo o peso total fresco (produção total).

Na obtenção da altura das plantas, utilizou-se do método direto, que consistiu em registrar a distância vertical entre a base e o ápice da planta com auxílio de uma régua graduada, com precisão de 1 mm.

Para o diâmetro da parte aérea das plantas foi determinado o valor médio da distância entre as margens em cm. Retiraram-se duas folhas de cada planta para análise foliar. A área foliar foi medida com a ajuda de um integrador de área foliar LICOR (modelo LI 3000).

O restante do material foi disposto em estufa, a 80 °C, até atingir peso constante, para a determinação da matéria seca.

Após uma semana, as raízes foram retiradas dos vasos, lavadas para retirar o excesso de terra e secas ao ar livre para a eliminação do excesso de água da lavagem. Posteriormente foram determinados o comprimento da raiz, matéria fresca e matéria seca. O comprimento de raiz em cm foi determinado após a colheita, lavagem e secagem do material. Foi medida a distância da base do corte no caule até a parte apical da raiz.

O teor de clorofila foi determinado pelo índice SPAD com a utilização do clorofilômetro portátil (Chlorophyll Meter SPAD-502). As leituras foram efetuadas no momento da colheita, sendo escolhidas duas folhas de cada vaso, dando preferência àquelas situadas no meio da planta, no qual foram feitas duas leituras próximas à nervura central da folha, sem entretanto encostar na nervura e tomando-se o cuidado para que a folha ficasse completamente expandida. Assim, foram obtidas as médias das 4 leituras por planta e posteriormente a média por tratamento.

3.7. Procedimentos analíticos

3.7.1. Análises físico-químicas das alfices, substratos e lamas

As amostras das folhas de alface e suas respectivas raízes foram inicialmente lavadas e secas em estufa a 80 °C durante 24 h. Em seguida foram trituradas para posterior realização dos procedimentos de extração da solução e análise química.

As medições de pH e de condutividade elétrica do substrato e lamas foram efetuadas num extrato aquoso numa razão resíduo/água destilada de 1:5 em peso, a 20 °C.

A matéria seca das folhas e raízes das alfices, das lamas e do substrato foi determinada pelo método gravimétrico e a matéria orgânica por calcinação (Sawyer *et al.*, 1994).

Na determinação do azoto total foi utilizado o método de *Kjeldahl* que se baseia na mineralização dos compostos orgânicos contidos na amostra em meio ácido, a quente e na presença de um catalisador metálico.

Após a mineralização das amostras por via seca e solubilização por ácido foram analisados o sódio e o potássio num fotómetro de chama CORNING 410, o ferro num espectrofotómetro de absorção atômica modelo SpectrAA 220FS, o fósforo total por espectrofotometria do visível a 430 nm, o cálcio e magnésio foram determinados pelo método de compleximetria e os cloretos foram analisados pelo método *Mohr*.

3.7.2. Colheita e Análises físico-químicas das águas

As amostras da água lixiviada e a água do furo local foram recolhidas semanalmente e acondicionadas em garrafas de polietileno, sendo as águas de lixiviação filtradas. As amostras foram conservadas à 4 °C, conforme indicado no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995) para posterior realização das análises propostas. Tanto as águas de lixiviação quanto as águas tratadas do queijo e da vinhaça foram caracterizadas de acordo com os parâmetros: pH, condutividade, N, Ca, Mg, P, K, Na, Cl. Além desses, foram também analisados os parâmetros CQO, CBO₅, potencial redox, sólidos e azoto amoniacal das águas tratadas do queijo e vinhaça.

O pH e o potencial redox foram monitorizados em aparelho WTW InoLab. A condutividade foi quantificada em medidor Jenway 4510. Os parâmetros CQO (método colorimétrico de refluxo fechado), fósforo (método vanadato-molibdato), azoto amoniacal (método por destilação) e sólidos analisaram-se recorrendo a métodos Standards (APHA, 1998). Determinou-se o azoto *Kjeldahl* por meio da metodologia descrita na Norma Internacional ISO nº 5663 (1983). Os cloretos foram analisados pelo método de *Mohr* e o CBO₅ pelo método respirométrico. O sódio e potássio foram determinados num fotómetro de chama CORNING 410. A medição do cálcio e magnésio foram efetuadas pelo método de complexiometria com EDTA na presença de indicador negro de eriocromo T e para a determinação do cálcio utilizou-se o indicador Calcon. A determinação da alcalinidade foi feita por volumetria, usando como titulante uma solução de ácido forte (HCl) de concentração conhecida.

3.8. Avaliação da análise sensorial

Para determinar qual a influência das diferentes condições de tratamento sobre as características sensoriais da alface, compôs-se um grupo de provadores, formado por 27 pessoas, entre funcionários, alunos e professores da Escola Superior Agrária de Beja que, embora não fossem treinados, eram consumidores de alface. Dentre os voluntários, 12 eram do sexo masculino e 15 do sexo feminino, sendo que 5 dos provadores tinham idade entre os 18 e 25 anos e 22 provadores tinham mais de 26 anos de idade.

A prova sensorial foi realizada no mesmo dia da colheita das plantas, sendo escolhidas algumas folhas das alfices e levadas para o Laboratório de Análise Sensorial da Escola Superior Agrária, onde foram seguidos os padrões higiénicos de lavagem e de preparação de amostras. Cada cabina de prova foi composta por cinco amostras servidas em placas de Petri codificadas, copo com água, guardanapo, esferográfica e ficha de prova adequadamente elaborada onde constavam os atributos: cor verde, tenrura, sabor amargo, paladar a alface, e preferência. As amostras foram designadas por T (testemunha), C (água do queijo), V (água da vinhaça), Q (lama do queijo) e W (lama da vinhaça). Os atributos de cada amostra foram classificados por uma escala entre 1 (menos intenso) e 9 (mais intenso) (Anexo II). Cada provador foi orientado a provar as amostras de alface, tomando um pouco de água no início e entre uma amostra e outra (Figura 7).



Figura 7. Disposição da bancada para a prova sensorial (A); Provadores durante a prova sensorial (B e C)

3.9. Análises estatísticas

Os resultados dos tratamentos utilizados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as suas médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, empregando o programa disponibilizado na página do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Os gráficos foram elaborados por meio do programa Statplus 2009.

4. Resultados e Discussões

4.1. Efeitos dos tratamentos na parte aérea da alface

4.1.1. Parâmetros de crescimento

Os dados experimentais médios e a análise de variância em todos os tratamentos, referentes à área foliar da planta, produção total, matéria seca, altura e diâmetro da planta são apresentados na Tabela 8. De acordo com o teste F foram encontradas evidências de diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos com relação às referidas variáveis.

Tabela 8. Análise de variância e valores médios das variáveis de crescimento das plantas obtidas no ensaio: testemunha (T0), vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Área Foliar (cm ² /planta)	Matéria Seca (%)	Produção total (kg/ha)	Altura da Planta (cm)	Diâmetro da Planta (cm)
F tratamentos	8,22 **	17,11 **	17,62 **	12,00 **	11,95 **
Média geral	212,60	11,99	19 775,83	8,77	21,43
Desvio-padrão	40,35	0,76	3 745,26	1,03	1,61
CV (%)	18,98	6,30	18,94	11,69	7,51
Teste de Tukey a 5%:					
T0	218,80 abc	11,90 b	22 072,00 b	9,60 a	22,00 ab
T1	152,27 c	14,05 a	11 256,00 c	6,90 c	18,45 c
T2	177,56 bc	12,31 b	14 664,00 c	7,60 bc	19,40 bc
T3	293,14 a	10,07 c	30 015,00 a	11,13 a	24,50 a
T4	237,36 ab	11,26 bc	22 920,00 ab	9,10 ab	23,40 a

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

As maiores médias de área foliar foram observadas no tratamento T3 (lama da vinhaça), sendo esta de 293,14 cm²/planta, no qual se pode observar uma diferença significativa, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey entre as médias das plantas desse tratamento e as plantas regadas com a água da vinhaça (T1) e água do queijo (T2). Notou-se que, ao contrário da lama da vinhaça, o tratamento com água da vinhaça obteve a menor média (152,27 cm²/planta) de área foliar entre todos os tratamentos, seguido da água do queijo que apresentou média de 177,56 cm²/planta. Esses resultados sugerem que a área foliar apresentou um decréscimo progressivo com o aumento da salinidade na água de rega. Rocha *et al.* (2000) avaliando o comportamento do melão submetido a condições de salinidade, observaram que a área

foliar apresentou esse tipo de tendência. De acordo com Richards (1974), o efeito osmótico reduz a disponibilidade de água para a planta e, como mecanismo para a adaptação ao *stresse* hídrico, em função dos níveis de sais, reduz progressivamente a superfície transpiratória. Greenway & Muns (1980) sugerem que a salinidade exerce efeito direto sobre a expansão ou divisão da célula, onde o efeito principal da salinidade ocorre sobre a redução da área foliar. O tratamento T4 (lama de queijo) obteve média de 237,36% cm²/planta sendo o segundo tratamento com maior valor de área foliar, porém diferiu apenas do tratamento T1. Não houve diferenças entre a testemunha e os demais tratamentos, pelo teste de Tukey (Figura 8).

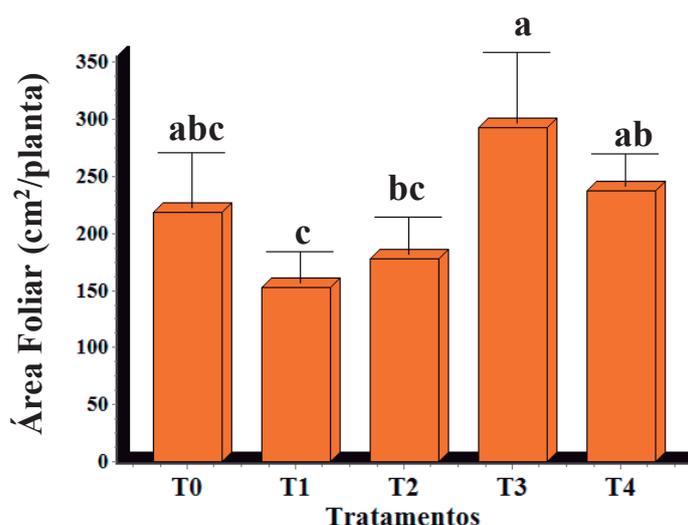


Figura 8. Valores médios da área foliar das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

A Figura 9 apresenta a produtividade das folhas da cultura da alface em função dos tratamentos recebidos. A produção máxima ocorreu no tratamento T3 com a média de 30015 kg/ha, o que representa um acréscimo, aproximado, de 36% em relação ao tratamento testemunha (22072 kg/ha), havendo, entre estes tratamentos, diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. No entanto, os valores médios da produção de folha da alface, quer no tratamento T3 quer no tratamento T4 (22920 kg/ha), não são considerados estatisticamente diferentes. Observou-se que a qualidade da água de vinhaça (T1) e de queijo (T2) teve uma influência negativa na produção da alface, sendo que estes tratamentos obtiveram um decréscimo de 49% (11256 kg/ha) e 33% (14664 kg/ha), respectivamente, em relação à produção alcançada pela testemunha, apresentando, assim, diferença significativa em comparação com os valores médios de produtividade obtidos nos tratamentos T0, T3 e T4. Jucken (2000) obteve produção superior utilizando água residual de

laticínio com a cultivar “Americana”, nas condições da região Sul do Brasil, com valores médios de 59600 kg/ha. Rodrigues *et al.* (2011) observaram uma maior produção da cultura para os tratamentos fertirrigados com águas residuais de laticínios e de matadouros quando comparados ao tratamento só irrigado (Testemunha). Os efeitos das águas residuais tratadas do queijo e da vinhaça na produtividade da cultura estão resumidos na publicação 2 do anexo I.

Comparando-se os valores médios dos dois tipos de água residual e os dois tipos de lamas utilizadas, observou-se que as lamas tiveram um efeito significativo no aumento da produtividade das folhas de alface em relação às águas residuais tratadas. Tendo a lama da vinhaça um aumento de 166 % em relação à água da vinhaça e a lama do queijo um aumento de 56 % em relação à água do queijo.

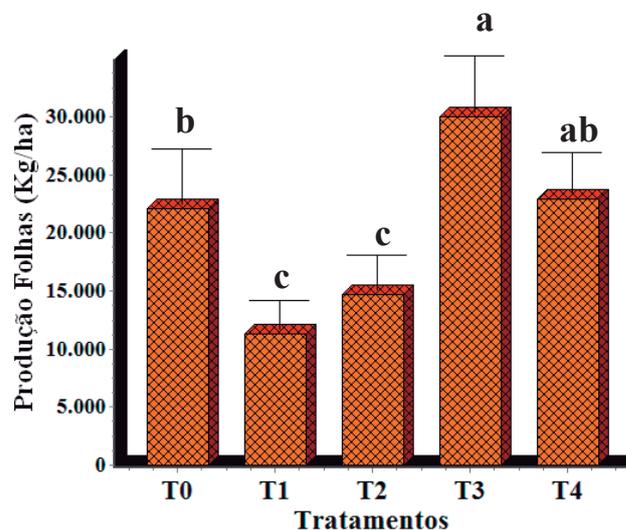


Figura 9. Valores médios da produção de folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

Os dados médios de matéria seca total podem ser observados na Figura 10. A reutilização de água da vinhaça (T1) mostrou maior produção de massa seca (14,05%) quando comparada com todos os outros tratamentos, constituindo diferença significativa pelo teste de Tukey. O tratamento com a água e lama do queijo obtiveram valores médios de 12,31% e 11,26%, respectivamente e não apresentaram diferenças significativas entre as médias do tratamento testemunha (11,90%). Observou-se que a menor produção de matéria seca foi no tratamento T3 (lama da vinhaça), que diferiu dos tratamentos T0 (testemunha), T1 (água da vinhaça) e T2

(água do queijo), mas em comparação com o tratamento T4 (lama do queijo) não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

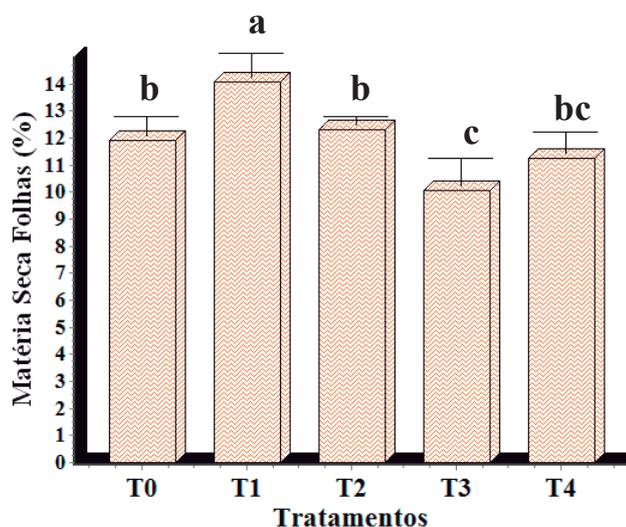


Figura 10. Valores médios da matéria seca de folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

Os dados de altura da alface são apresentados na Figura 11. Verificou-se que o maior e menor valor médio da altura das folhas ocorreu nos tratamentos que levaram lama da vinhaça (T3) e água da vinhaça (T1), respectivamente, assemelhando-se aos resultados apresentados na produção das folhas. As alfaces cultivadas com a lama da vinhaça obtiveram um aumento de 61% em relação à altura média das plantas cultivadas com a água da vinhaça. Esses resultados mostraram que ao nível de 5% de probabilidade, para o teste de Tukey, houve diferença significativa. As alfaces cultivadas com as lamas (T3 e T4) e as do tratamento testemunha (T0) alcançaram alturas superiores aos das plantas cultivadas com as águas residuais tratadas (T1 e T2) (Figura 12). Os tratamentos T0, T3 e T4 produziram plantas com alturas estatisticamente semelhantes, sendo os valores médios 9,60 cm, 11,13 cm e 9,10 cm, respectivamente. Ao passo que as plantas cultivadas com água da vinhaça e do queijo alcançaram valores médios de 6,90 cm e 7,60 cm, respectivamente, não apresentando entre si, diferenças estatísticas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

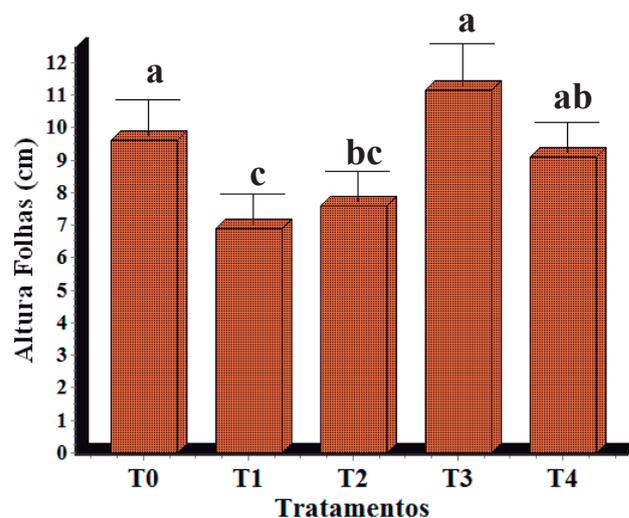


Figura 11. Valores médios obtidos na altura das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)



Figura 12. Diferenças entre a altura das alfaces cultivadas com diferentes tratamentos com 6 semanas de cultivo

Como pode ser verificado na Figura 13, para o parâmetro de diâmetro de cabeças de alface, tanto na testemunha (T0) quanto no cultivo com as lamas da vinhaça (T3) e do queijo (T4), não houve diferenças no desenvolvimento das alfaces. Sendo que o diâmetro das alfaces cultivadas com lama da vinhaça e do queijo tiveram um acréscimo de 11% e 6 %, respectivamente, em relação à testemunha. Seguindo a tendência observada nos parâmetros de altura e de produção de folhas, os ensaios com águas residuais tratadas (T1 e T2), obtiveram as menores médias com 16% e 11,8% de decréscimo no diâmetro das plantas em relação à testemunha, respectivamente, no qual pode ser constatado diferença significativa, pelo teste de Tukey, entre T0 e T1. Porém não houve diferença estatística entre T0 e T2. Jucken (2000) não encontrou variação significativa, entre as alfaces cultivadas com águas residuais de laticínio e de matadouro.

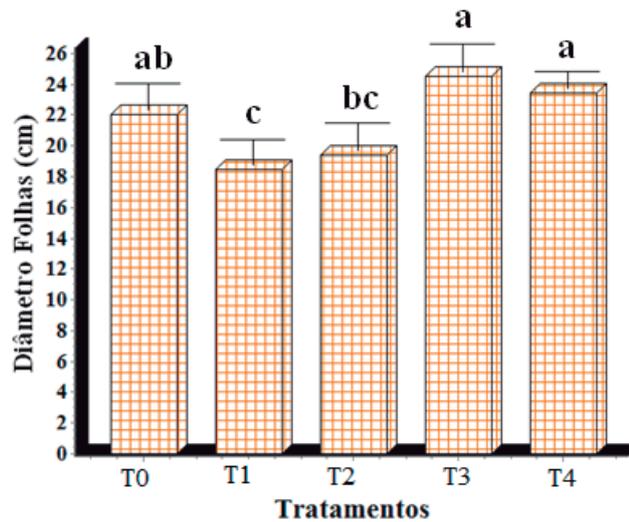


Figura 13. Valores médios obtidos no diâmetro das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

4.1.2. Teor de Clorofila

A Tabela 9 apresenta a análise de variância e a comparação entre as médias pelo teste de Tukey, obtidas pelo índice SPAD, relacionado com o teor de clorofila na folha. O teor de clorofila não foi influenciado significativamente pelos tratamentos, de acordo com a análise de variância.

Tabela 9. Análise de variância e valores médios e teores de clorofila das plantas obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Clorofila	
F tratamentos	2,41	
Média geral	24,13	
Desvio-padrão	1,75	
CV (%)	7,24	
Teste de Tukey a 5%:		
T0	23,28	a
T1	23,36	a
T2	24,88	a
T3	26,20	a
T4	23,36	a

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias.

Os resultados com os teores de clorofila nas folhas das alfaces mostraram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos utilizados, pelo teste de Tukey (Figura 14). Entretanto, a maior média foi encontrada no tratamento T3 (lama da vinhaça) que obteve incremento de 12,5% em relação à testemunha (T0). Os tratamentos T1, T2 e T4 obtiveram incrementos na ordem dos 0,3%; 6,8% e 1,3%, respectivamente, em relação à testemunha.

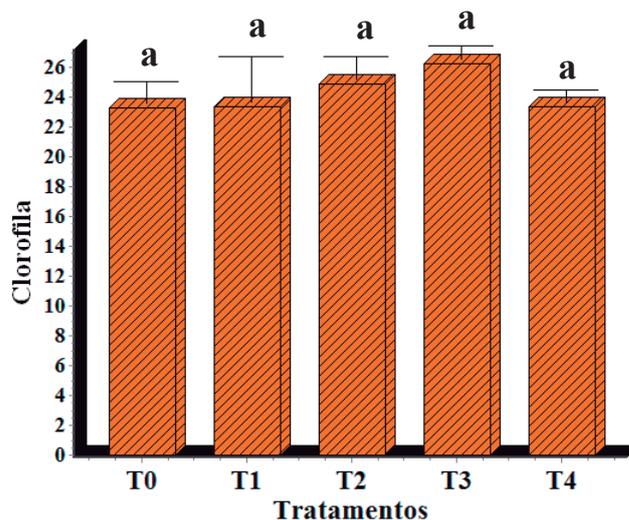


Figura 14. Valores médios obtidos no teor de clorofila das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

4.1.3. Análise química das folhas das alfaces

A Tabela 10 mostra a análise de variância e a comparação entre as médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, dos teores médios de nutrientes na parte aérea da alface para os diferentes tratamentos. Foram encontradas diferenças significativas, de acordo com teste F, ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos com relação aos teores de P, Ca e Fe e ao nível de 5% de probabilidade com relação ao Mg.

Tabela 10. Análise de variância e valores médios dos teores de Cl, Ca, Mg e MO das folhas de alface obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Fósforo (g/kg)		Cálcio (g/kg)		Magnésio (g/kg)		Ferro (g/kg)	
F tratamentos	14,57	**	11,72	**	3,76	*	8,92	**
Média geral	2,48		3,22		6,24		0,12	
Desvio-padrão	0,20		0,71		1,28		0,04	
CV (%)	8,03		22,14		20,48		35,88	
Teste de Tukey a 5%:								
T0	2,59	b	2,12	b	7,38	a	0,16	a
T1	2,06	c	2,52	b	5,83	a	0,15	a
T2	2,27	bc	2,80	b	5,29	a	0,16	a
T3	2,99	a	4,76	a	5,03	a	0,05	b
T4	2,60	ab	4,21	a	7,41	a	0,06	b

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

O fósforo desempenha papel fundamental nos processos energéticos das plantas e está presente nos compostos que constituem as substâncias responsáveis pela transmissão do código genético das células (ADN e ARN) (Carrizo *et al.*, 2004). Alguns autores relatam um maior rendimento da alface em detrimento dos níveis de fósforo em diferentes tipos de solo sob diferentes condições ambientais (Soundy *et al.*, 2001; González-Ponce, 2009). Neste trabalho, foi possível observar que quanto maior o teor de fósforo presente no tecido vegetal da parte aérea, maior foi o rendimento da cultura, isso explica-se pelo facto do fósforo ser componente de vários compostos bioquímicos que estão relacionados com o mecanismo de suprimento de energia. Portanto, os teores desse nutriente interferem diretamente sobre a síntese de proteínas e consequentemente influenciam no crescimento das plantas (Mengel & Kirkby 1982; Bernardi *et al.* 2005). O tratamento T3 foi o que apresentou maior valor médio, sendo este de 2,99 g/kg de alface. Assim, apresentou diferença significativa comparativamente aos tratamentos T0, T1 e T2, com aumentos de 15%; 45% e 31%, respetivamente em relação a esses tratamentos. Por outro lado, não houve diferença estatística pelo teste de Tukey em relação ao tratamento T4. As variações foram pequenas entre os tratamentos que receberam as águas residuais tratadas T1 (2,06 g/kg) T2 (2,27 g/kg), não apresentando diferenças significativas. Do mesmo modo, as alfaces tratadas com lamas T3 (2,99 g/kg) e T4 (2,60 k/kg), também não diferiram estatisticamente entre si. Neste trabalho, as concentrações encontradas na parte aérea estão abaixo da faixa (4 a 6 g/kg) considerada como adequada para a cultura (Reuter & Robinson, 1997).

O cálcio é absorvido em grandes quantidades pela maioria das hortaliças, sendo o responsável pelo bom desenvolvimento radicular e fortalecimento da parede celular (Carrijo *et al.*, 2004). Observou-se na análise do teor de cálcio, que todos os tratamentos apresentaram valores médios abaixo dos limites adequados sugeridos por Trani & Raij (1997), onde, segundo essa fonte, a média de cálcio encontrado na alface é de 15 até 25 g/kg. Neste ensaio experimental os teores encontrados foram de 2,12 g/kg, 2,52 g/kg e 2,80 g/kg para os tratamentos T0, T1 e T2, respectivamente, que, por sua vez, não diferiram estatisticamente entre si. Os tratamentos T3 e T4 obtiveram os melhores resultados, com médias de 4,76 g/kg e 4,21 g/kg, respectivamente, caracterizando um aumento percentual de 124% e 98% em relação ao tratamento testemunha. Ensaio com lamas do queijo conduzidos por Prazeres *et al.* (2012) demonstraram um incremento de 46% de Ca foliar quando foi aplicada uma dose de lama de 12 t/ha em relação ao ensaio testemunha.

O magnésio é parte da molécula de clorofila essencial para a fotossíntese, que ajuda a ativar muitas enzimas necessárias para o crescimento das plantas, para além de desempenhar um papel no transporte de P na planta (Mengel e Kirkby, 2004). O teor de magnésio encontrado em todos os tratamentos mostrou níveis acima dos adequados para a alface, conforme apresentado por Trani & Raij (1997), que recomenda valores entre 4 a 6 g/kg. Não houve, também, diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Os teores médios mais elevados foram obtidos no tratamento T4 (7,41 g/kg) e testemunha (7,38 g/kg). Os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram valores médios de 5,83 g/kg, 5,29 g/kg e 5,03 g/kg, respectivamente.

Neste trabalho, mesmo havendo níveis de cálcio e magnésio mais elevados na água da vinhaça do que na água de queijo, não se observou o efeito cumulativo diferenciado entre estes tratamentos e o ensaio testemunha.

A Figura 15 mostra os valores médios obtidos nos diferentes tratamentos para os parâmetros P, Ca e Mg.

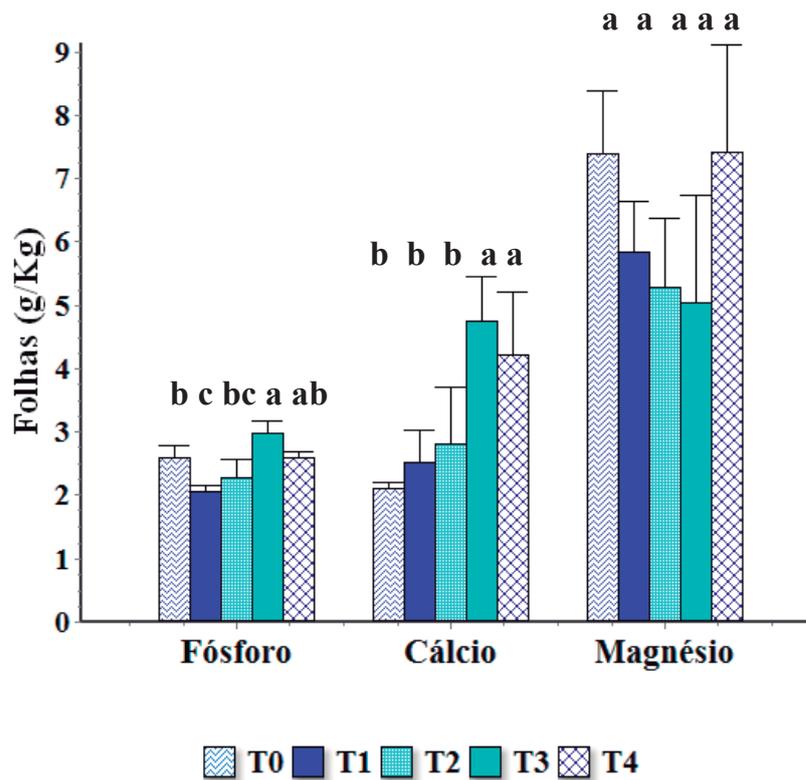


Figura 15. Valores médios obtidos para os teores de fósforo, cálcio e magnésio das folhas das alfices cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

Observou-se que os teores de ferro para os tratamentos T0, T1 e T2 foram de 0,16; 0,15 e 0,16 g/kg, respetivamente, não apresentando diferença significativa a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey (Figura 16). Os tratamentos T3 e T4 obtiveram os valores médios mais baixos, sendo estes de 0,05 g/kg e 0,06 g/kg, respetivamente. Tais tratamentos não diferiram entre si pelo teste de Tukey, porém apresentaram diferenças significativas em comparação com os tratamentos T0, T1 e T2, tendo mostrado decréscimos de 75 e 62,5 %, respetivamente em relação ao tratamento testemunha. Os resultados obtidos encontram-se na faixa adequada para a alfice de acordo com Trani & Raj (1997), que menciona valores com ampla faixa desde 50 até 200 mg/kg. Apenas o tratamento T3 obteve valor médio próximo ao adequado.

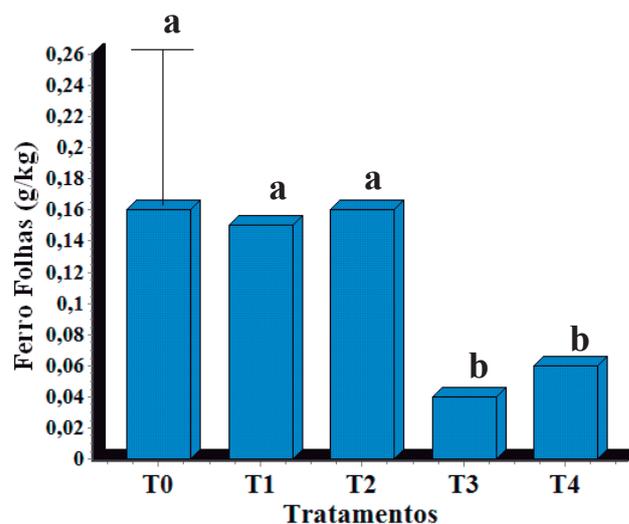


Figura 16. Valores médios obtidos para os teores de ferro das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

A Tabela 11 mostra a análise de variância e a comparação entre as médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, dos teores médios de nutrientes na parte aérea da alface para os diferentes tratamentos. De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos com relação aos teores de N, Cl, K, Na e MO.

Tabela 11. Análise de variância e valores médios dos teores de N, Cl, K, Na e MO das folhas de alface obtidos no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Azoto (g/kg)		Cloretos (g/kg)		Potássio (g/kg)		Sódio (g/kg)		Matéria Orgânica (%)
F tratamentos	6,13	**	35,12	**	24,03	**	90,52	**	17,59 **
Média geral	9,93		17,33		34,47		3,01		91,51
Desvio-padrão	1,62		2,12		3,70		0,66		0,72
CV (%)	16,26		12,25		10,73		21,87		0,70
Teste de Tukey a 5%:									
T0	12,51	a	9,86	d	30,70	bc	1,78	b	92,70 a
T1	7,52	b	14,08	c	42,11	a	1,51	b	92,81 a
T2	10,14	ab	24,66	a	24,43	c	7,99	a	91,63 ab
T3	10,07	ab	19,38	b	44,79	a	1,64	b	89,47 c
T4	9,45	ab	19,06	b	32,37	b	1,85	b	90,55 bc

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

Relativamente aos cloretos, verificou-se o máximo teor no tratamento T2 (água do queijo), com incremento de 150% em comparação ao T0 (testemunha), havendo diferenças significativas pelo teste de Tukey, em relação a todos os outros tratamentos. O valor médio do tratamento testemunha diferiu estatisticamente de todos os demais tratamentos, sendo o que apresentou menor teor de cloretos. Os tratamentos T1, T3 e T4 obtiveram aumentos percentuais de 42%, 96% e 93%, respetivamente, em relação ao tratamento testemunha. Entre os tratamentos que levaram lamas de vinhaça e de queijo os teores médios foram de 19,38 g/kg e 10,06 g/kg, respetivamente, não havendo diferenças significativas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Os teores obtidos de azoto foram abaixo do intervalo considerado adequado para a alface, que de acordo com Trani e Raji (1997) é de aproximadamente 30 a 50 g/kg e para Reuter & Robinson de 31 a 40 g/kg. Sandri *et al.* (2006) utilizando água residual composta de esgoto doméstico e água de lavagem de oficina mecânica observaram valores de 31,6 a 35,7 g /kg de azoto em folhas de alface. Neste trabalho os valores foram de 7,52 a 12,51 g/kg. A carência de azoto reduz o crescimento e provoca clorose das folhas mais velhas, que podem até secar se a deficiência permanecer por longo tempo (Carrizo *et al.* 2004). Observou-se que os teores médios obtidos de azoto total nas folhas de alface dos tratamentos T0, T2, T3 e T4 não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey. Entretanto, os valores mais elevados foram obtidos no tratamento testemunha que obteve incrementos de 23%, 24% e 32% em relação aos tratamentos T2, T3 e T4. Porém, comparativamente ao tratamento T1, houve diferenças significativas pelo teste de Tukey, com um aumento percentual de 66 % da testemunha em relação a este. Possivelmente o menor teor de azoto encontrado no tratamento T1 está relacionado com a menor produtividade das plantas desse tratamento, uma vez que a deficiência de azoto pode interferir no crescimento e vigor das alfaves. Primavesi (1985) e Vidigal *et al.* (1997) associam o aumento da matéria seca dos tecidos das folhas à deficiência de azoto. Esse fato pode ser observado no tratamento T1 que obteve a maior produção de matéria seca.

Prazeres *et al.* (2012) e Lopes *et al.* (2005) também obtiveram reduções nos teores de azoto foliar em tratamentos com lamas residuais de queijo e de esgoto, respetivamente, em relação ao tratamento testemunha.

O potássio age como catalisador de algumas reações enzimáticas, e está envolvido com a turgidez das células, abertura e fechamento dos estomas, e no processo de síntese, acumulação

e transporte de hidratos de carbono (Carrijo *et al.*, 2004). Observou-se que o potássio apresentou, em todos os tratamentos, teores médios abaixo dos preconizados para as folhas de alface, que é de aproximadamente 50 a 80 g/kg, de acordo com o Reuter & Robinson (1997). As maiores médias foram observadas nos tratamentos com água e lama da vinhaça, com incrementos de aproximadamente 37% e 45%, respectivamente, em relação à testemunha, não havendo diferença significativa ao nível de 5% entre esses tratamentos (T1 e T3), que no entanto, diferiram dos demais. Paula *et al.* (1992) também relataram aumentos no teor de potássio em folhas de cebolas cultivadas com doses de vinhaça. Já os valores encontrados nos tratamentos utilizando água do queijo e lama do queijo apresentaram diferenças significativas entre si, com teores médios de 24,43 g/kg e 32,37 g/kg, mas não diferiram significativamente, pelo teste de Tukey, do tratamento testemunha que obteve o teor médio de 30,70 g/kg. Todavia, vale ressaltar que durante o processo tecnológico de separação de lamas, estas podem ter menor quantidade de potássio do que as águas, visto que este elemento ocorre mais facilmente na forma solúvel (Warman e Termmeer, 2005). Porém, mesmo com menores teores de potássio, as lamas apresentaram melhores resultados do referido nutriente em detrimento de suas respectivas águas, indicando o menor nível de lixiviação desse íon e consequentemente, um maior aproveitamento por parte de planta.

Os teores médios de sódio obtidos no tratamento com água residual do queijo foi 3,5 vezes superior ao do tratamento testemunha, diferindo significativamente de todos os outros tratamentos, visto que a água do queijo apresenta alta concentração desse elemento. Os valores médios encontrados nos tratamentos T0, T1, T3 e T4 foram na ordem de 1,78 g/kg, 1,51 g/kg, 1,64 g/kg e 1,85 g/kg, respectivamente. Segundo Sandri (2003), esse comportamento é característico das plantas de alface que apresentam grande capacidade para reter os íons de sódio em grandes quantidades em seus tecidos. A Figura 17 mostra os teores médios de cloretos, sódio, azoto e potássio obtidos na parte aérea das alfaces.

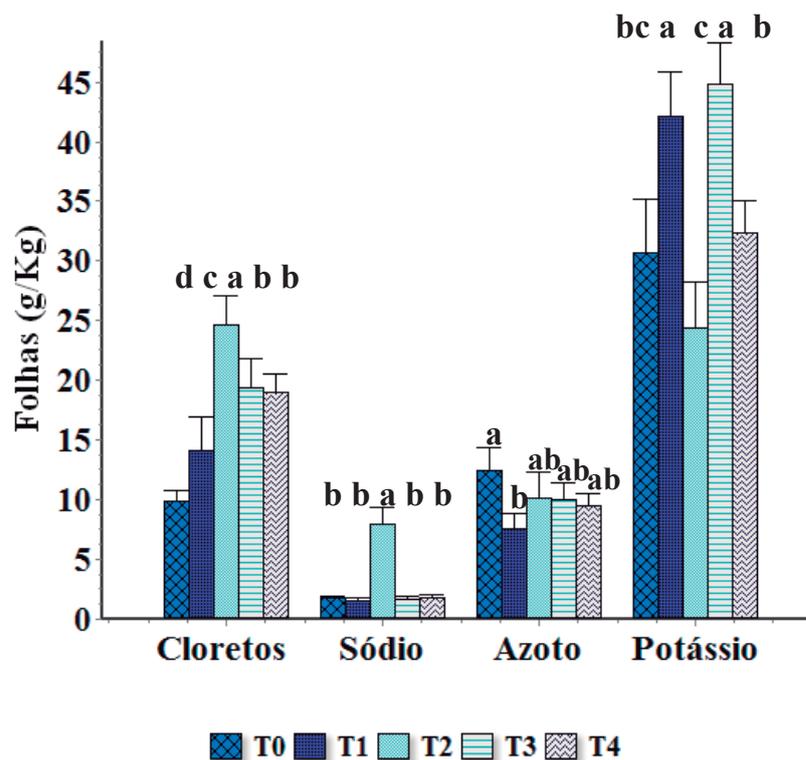


Figura 17. Valores médios obtidos para os teores de cloretos, sódio, azoto e potássio das folhas das alfaces cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

A Figura 18 indica os dados relativos dos teores de matéria orgânica obtidos nos diferentes tratamentos. O tratamento que apresentou teor máximo foi o T1 (água da vinhaça), embora não tenha havido variações significativas entre este, o T0 (testemunha) e o T2 (água do queijo), constituindo valores médios de 92,81%, 92,70% e 91,63%, respectivamente. O tratamento que obteve menor teor médio foi o T3 (lama da vinhaça), seguido pelo T4 (lama do queijo), cujos valores foram de 89,47% e 90,55%, respectivamente, não apresentando diferenças estatísticas entre si, porém diferiram estatisticamente, pelo teste de Tukey, do tratamento testemunha e dos tratamentos fertirrigados com as águas tratadas.

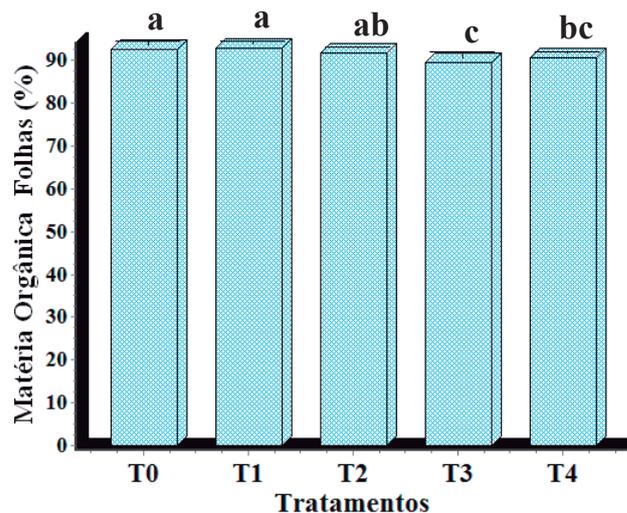


Figura 18. Valores médios obtidos para os teores de matéria orgânica das folhas das alfases cultivadas com água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3), lama do queijo (T4) e testemunha (T0)

4.1.4. Análise sensorial

Os dados experimentais médios e a análise de variância em todos os tratamentos, referentes à análise sensorial das alfases são apresentados nas Tabela 12. De acordo com o teste F (teste que compara as médias), não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos com relação aos atributos: cor verde, tenrura, sabor amargo, paladar a alface e a sua preferência.

Tabela 12. Análise de variância e valores médios dos atributos avaliados na análise sensorial das alfases obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Cor Verde	Tenrura	Sabor amargo	Paladar a alface	A sua preferência					
F tratamentos	0,66	0,72	0,14	0,45	0,89					
Média geral	6,33	4,65	4,04	5,95	5,51					
Desvio-padrão	1,62	2,03	2,30	1,81	2,36					
CV (%)	25,50	43,60	56,91	30,46	42,85					
Teste de Tukey a 5%:										
T0	6,33	a	4,59	a	3,96	a	6,00	a	5,75	a
T1	6,37	a	4,48	a	4,22	a	6,00	a	5,67	a
T2	6,00	a	4,93	a	3,96	a	6,19	a	5,67	a
T3	6,70	a	5,04	a	4,22	a	6,00	a	6,33	a
T4	6,26	a	4,22	a	3,85	a	5,56	a	5,29	a

Nível de significância: **: 1%, *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.



A análise sensorial é uma ferramenta importante para determinar a aceitação de um produto entre os consumidores, uma vez que é utilizada para medir, analisar e interpretar de forma rápida e criteriosa atributos físicos e químicos de alimentos por meio da percepção pelos sentidos da visão, olfato, tato, audição e gustação (Matthheis Fellman, 1999).

Verificou-se que as médias das notas dadas pelos provadores no teste sensorial referentes aos atributos tenrura (Figura 19 A); cor verde (Figura 19 B); sabor amargo (Figura 19 C); paladar a alface (Figura 19 D) e preferência (Figura 19 E) não diferiram sensorialmente, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Entretanto, os altos coeficientes de variação indicam variabilidade de resultados, uma vez que os provadores tiveram opiniões diversas. Pôde-se observar que, nas respostas dos provadores, as amostras do tratamento T4 (lama do queijo) obteve as menores médias em relação aos atributos tenrura, sabor amargo, paladar a alface e preferência. O tratamento T2 (água do queijo) recebeu notas médias mais baixas em relação ao atributo cor e mais altas em relação à tenrura e paladar a alface. As amostras do tratamento T1 e T3 foram consideradas com o sabor mais amargo. De acordo com Oliveira (2009), o sabor é uma mistura complexa de informações sensoriais que interagem para formar o que chamamos sabor característico de um alimento. Na boca as informações sensoriais obtidas pelas percepções gustativas, olfativas e táteis que o alimento transmite ao serem processadas no cérebro determinam o sabor dos alimentos. O tratamento T3 obteve médias mais altas em relação à cor verde e preferência. O teste de preferência pode ser considerado como uma das mais importantes etapas da análise sensorial, pois representa o somatório de todas as percepções sensoriais e expressa o julgamento, por parte do consumidor, sobre a qualidade do produto (Dutcosky, 1996). O resumo da prova sensorial realizada neste trabalho pode ser vista na publicação 3 do Anexo I.

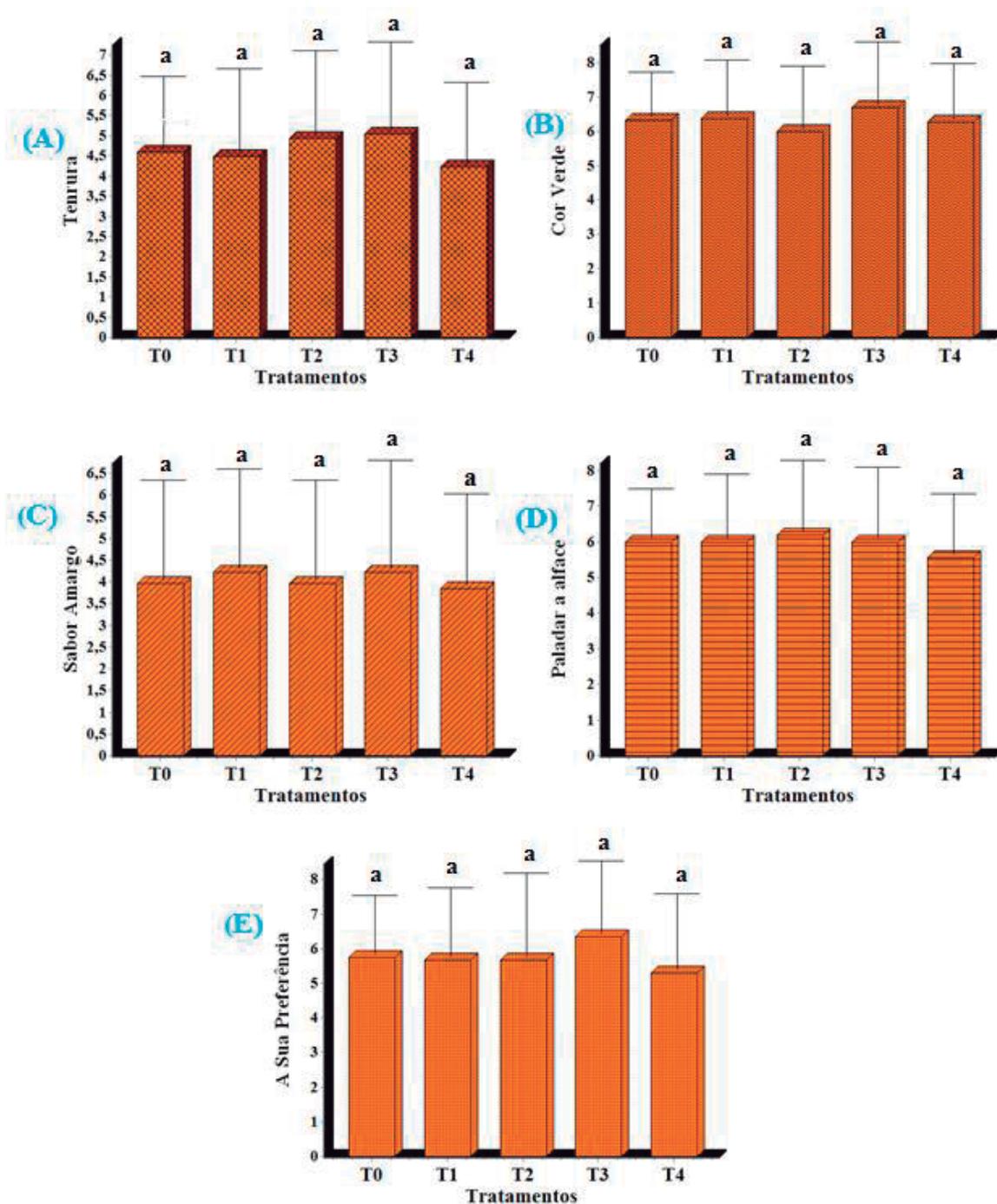


Figura 19. Média das notas dadas pelos provadores na análise sensorial para os atributos: tenura (A), cor verde (B), sabor amargo (C), paladar a alface (D) e preferência (E)

4.2. Efeitos dos tratamentos nas raízes de alface

4.2.1. Parâmetros de crescimento

As raízes, além de darem suporte à planta, desempenham outras importantes funções como a absorção e a translocação de água e nutrientes, a síntese de algumas fitohormonas e a

formação de órgãos de reserva em algumas espécies (Varenes, 2003). A análise de variância e as comparações entre as médias, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, referentes ao peso fresco total da raiz da alface, a matéria seca e o comprimento da raiz nos diferentes tratamentos estão representadas na Tabela 13. De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade para o peso fresco, ao nível de 5% de probabilidade para a matéria seca e não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos com relação ao comprimento da raiz.

Tabela 13. Análise de variância e valores médios do peso fresco total, matéria seca e comprimento das raízes de alfaces obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Peso Fresco (g/planta)	Matéria Seca (%)	Comprimento da raiz (cm)
F tratamentos	25,21 **	4,39 *	0,36
Média geral	18,43	18,14	20,05
Desvio-padrão	2,80	1,79	2,33
CV (%)	15,18	9,86	11,60
Teste de Tukey a 5%:			
T0	18,46 b	19,69 a	20,90 a
T1	14,68 bc	18,55 a	19,76 a
T2	12,00 c	18,23 ab	20,50 a
T3	29,68 a	14,91 b	19,63 a
T4	19,60 b	18,66 a	19,40 a

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

Os resultados referentes ao peso fresco total das raízes (Figura 20) seguem, praticamente, a mesma tendência observada para a parte aérea (produção total) neste ensaio, ou seja, o tratamento T3 foi o que obteve maior média (29,68 g/planta), com um aumento percentual de 60% em relação ao ensaio testemunha (18,46 g/planta), seguido pelo tratamento T4 que obteve média de 19,6 g/planta. Comparando os tratamentos que foram fertirrigados com água da vinhaça e água do queijo (T1 e T2, respetivamente) verificou-se diminuição do peso médio da raiz em 20% para o T1 e 34% para o T2, em relação ao ensaio testemunha. Observa-se na Tabela 13, que o tratamento T3 diferiu significativamente dos demais tratamentos, enquanto os tratamentos T0 (testemunha), T1 (água da vinhaça) e T4 (lama do queijo) não diferiram entre si. O tratamento T2 (água do queijo) alcançou o menor ganho de peso fresco, sendo semelhante estatisticamente ao tratamento T1 (água da vinhaça). A Figura 21 mostra o aspeto

visual das raízes após serem recolhidas e lavadas para a retirada do excesso de terra, na qual, também, podem ser observadas as diferenças dos tamanhos obtidos em cada tratamento.

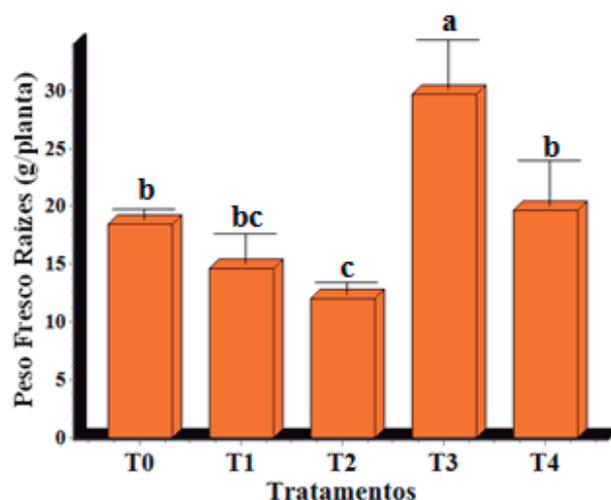


Figura 20. Peso fresco de raiz de alfases submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

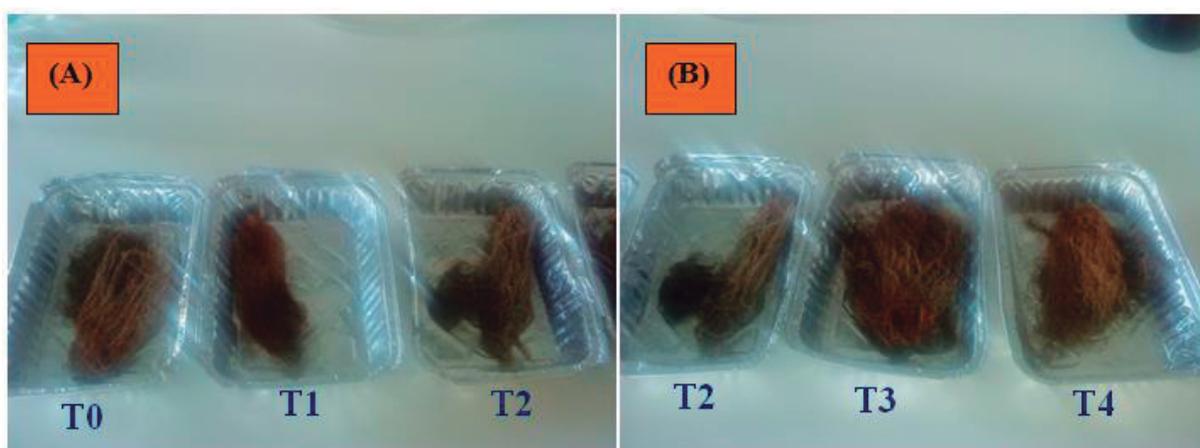


Figura 21. Raízes de alfases cultivadas sob diferentes tratamentos: (A) T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo e (B): T2 (água do queijo); T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

Relativamente à matéria seca (Figura 22), assim como na parte aérea, o tratamento T3 (lama da vinhaça) obteve média inferior, com 14,91%, sendo que não diferiu estatisticamente do tratamento T2 (água de queijo). O máximo teor de matéria seca foi obtido no tratamento testemunha, com 19,69%. Todavia, o ensaio testemunha não diferiu estatisticamente, pelo teste de Tukey, dos tratamentos T1, T2 e T4, que alcançaram valores médios de 18,55 %, 18,23% e 18,66 %, respectivamente.

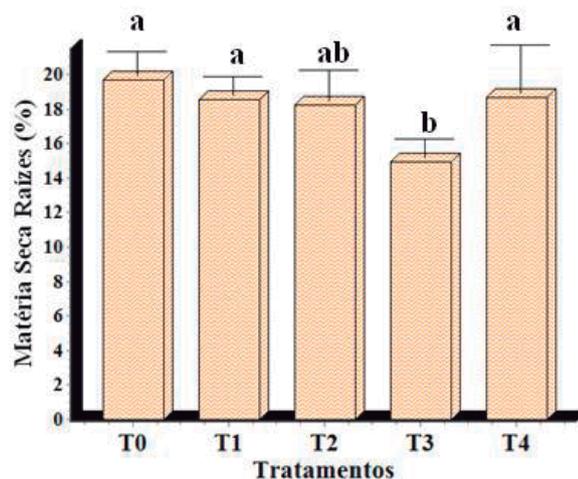


Figura 22. Matéria seca de raiz de alfices submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

Para a variável comprimento de raiz, o ensaio testemunha apresentou maiores valores, porém sem diferir significativamente dos demais tratamentos. Os comprimentos médios alcançados pelas raízes nos tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4 foram de 20,90 cm; 19,76 cm; 20,50 cm; 19,63 cm e 19,40 cm, respectivamente (Figura 23). Baumgartner *et al.* (2007), ao utilizarem águas residuais na cultura de alfices, encontraram média de 12,8 cm, entre os tratamentos, para o comprimento das raízes, valores menores do que os que foram verificados neste trabalho.

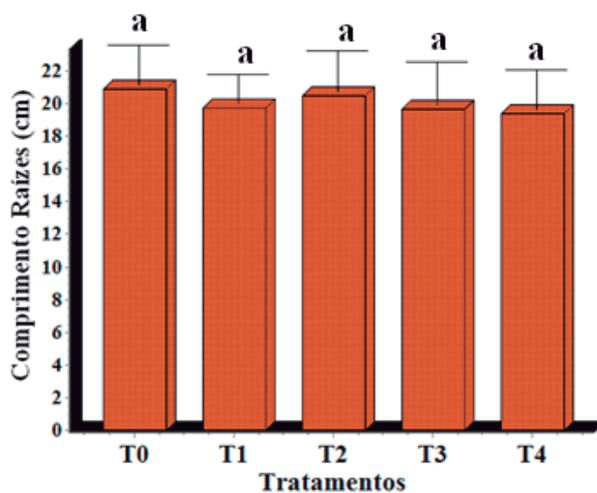


Figura 23. Comprimento de raiz de alfices submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

4.2.2. Análise química das raízes

A análise de variância e as comparações entre as médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, referentes aos teores de matéria orgânica, ferro, fósforo, cálcio e magnésio nos diferentes tratamentos estão representadas na Tabela 14. De acordo com o teste F, foram encontradas diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade para o Fe, P e Mg e não houve evidências de diferenças entre os tratamentos com relação aos teores de MO e Ca.

Tabela 14. Análise de variância e valores médios dos teores de MO, Fe, P, Ca e Mg das raízes de alfaces obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Matéria Orgânica (%)	Ferro (g/kg)	Fósforo (g/kg)	Cálcio (g/kg)	Magnésio (g/kg)					
F tratamentos	1,50	7,78 **	4,85 **	1,20	4,93 **					
Média geral	91,33	0,42	1,80	3,83	3,16					
Desvio-padrão	1,88	0,10	0,32	0,98	0,99					
CV (%)	2,06	23	17,86	25,59	31,18					
Teste de Tukey a 5%:										
T0	92,83	a	0,41	b	1,71	ab	3,96	a	1,84	b
T1	90,66	a	0,34	b	1,34	b	3,59	a	3,98	a
T2	90,67	a	0,42	b	1,89	ab	4,37	a	2,41	ab
T3	90,36	a	0,29	b	1,87	ab	4,14	a	3,84	a
T4	91,92	a	0,62	a	2,22	a	3,14	a	3,85	a

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

Relativamente ao ferro, os resultados foram mais elevados do que os apresentados pela parte aérea. O tratamento T4 (lama do queijo) apresentou valores superiores, com um aumento percentual de 51% comparativamente à testemunha, havendo diferenças significativa, pelo teste de Tukey com todos os demais tratamentos. Os tratamentos T1, T2 e T3 não apresentaram diferenças significativas em relação ao tratamento testemunha. Porém os tratamentos que receberam tanto a água da vinhaça (T1), quanto a lama da vinhaça (T3) apresentaram os menores valores médios, com reduções na ordem dos 17% e 29%, relativamente à testemunha.

Quanto aos teores de fósforo, diferentemente do que ocorreu na parte aérea, onde os maiores valores foram obtidos pelo tratamento T3 (lama da vinhaça), nas raízes a média superior foi encontrada no tratamento T4 (lama do queijo), com 2,22 g/kg. Embora tenha sido o melhor resultado, não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey, em comparação com os tratamentos T0, T2 e T3, que obtiveram teores médios de 1,71 g/kg; 1,89 g/kg e 1,87 g/kg. O

tratamento com água da vinhaça obteve menor teor médio (1,34 g/kg), porém diferiu estatisticamente apenas do tratamento T4.

Os teores de cálcio encontrados nas raízes, não apresentaram diferenças significativas para os diferentes tratamentos. Porém, os teores mais altos foram obtidos no tratamento T2 e não no T3 como aconteceu na parte aérea. Houve um incremento de 10% do tratamento T2 em comparação com a testemunha, ao passo que o tratamento T3 obteve um aumento percentual de 4% em relação à testemunha. Os menores valores foram obtidos no tratamento T4 e T1, com valores médios de 3,14 g/kg e 3,59 g/kg, caracterizando uma redução de 20% e 9%, respectivamente, em relação à testemunha.

Os resultados referentes ao magnésio mostram que o T1 foi o tratamento com valores superiores, tendo um incremento de 109% em relação à testemunha, constatando-se assim, pelo teste de Tukey, que houve diferença significativa entre esses tratamentos. O teor mais baixo (1,84 g/kg) foi verificado no tratamento testemunha, que entretanto não diferiu estatisticamente do tratamento T2, tendo este último alcançado teor médio de 2,41 g/kg. Entre os tratamentos T1, T2, T3 e T4 não houve diferenças significativas, ao nível de 5 % de significância, pelo teste de Tukey. A Figura 24 mostra os resultados dos teores médios de P, Fe, Ca e Mg encontrados nas raízes de alfaces cultivadas com os diferentes tratamentos.

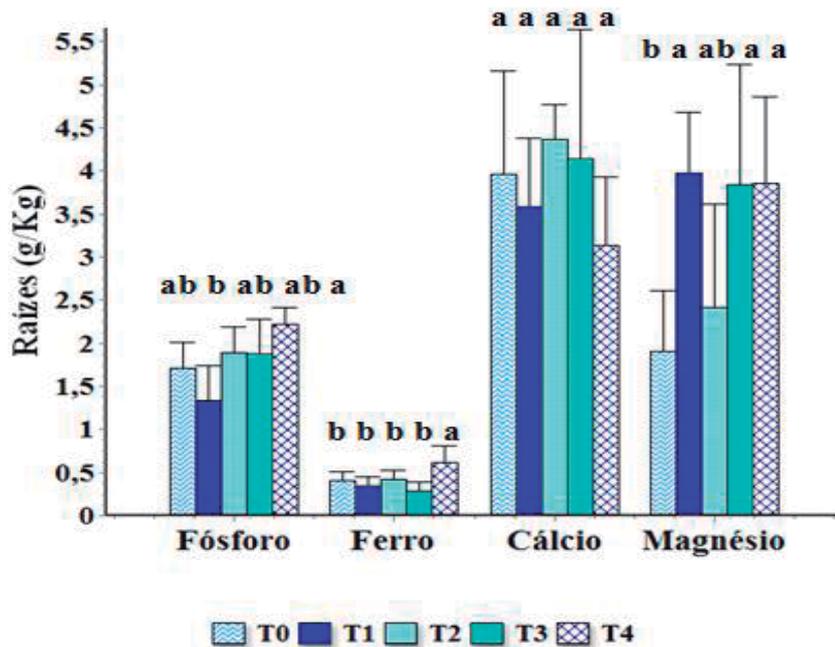


Figura 24. Teores médios de fósforo, ferro, cálcio e magnésio de raízes de alfases submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

Os teores de matéria orgânica encontrados em todos os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey. Entretanto, os melhores valores médios foram obtidos no tratamento testemunha, alcançando 92,83%. Assim como na parte aérea da planta, o menor teor (90,36%) pode ser verificado no tratamento T3 (lama da vinhaça), que apresentou reduções mínimas (aproximadamente 2%) em relação à testemunha. Os tratamentos T1, T2 e T4 obtiveram teores na ordem dos 90,66%; 90,67% e 91,92%, respectivamente (Figura 25).

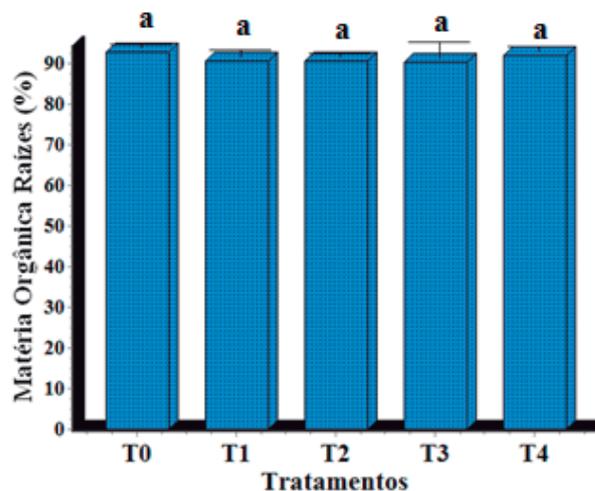


Figura 25. Matéria orgânica de raiz de alfases submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

A análise de variância e as comparações entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância referentes aos teores de azoto, cloretos, sódio e potássio nos diferentes tratamentos está representado na tabela 15, onde pode ser constatado que, de acordo com o teste F, houve diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos, com relação aos teores em questão.

Tabela 15. Análise de variância e valores médios dos teores de N, Cl, Na e K das raízes de alfaces obtidas no ensaio: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Azoto (g/kg)		Cloretos (g/kg)		Sódio (g/kg)		Potássio (g/kg)	
F tratamentos	10,83	**	92,62	**	162,82	**	9,97	**
Média geral	7,02		11,20		2,78		33,07	
Desvio-padrão	1,00		1,96		0,56		4,02	
CV (%)	14,23		17,47		20,15		12,15	
Teste de Tukey a 5%:								
T0	5,64	b	4,54	c	0,94	b	25,25	c
T1	8,82	a	11,60	b	1,03	b	39,73	a
T2	7,30	ab	25,20	a	8,41	a	33,90	ab
T3	8,10	a	9,52	b	2,05	b	37,21	ab
T4	5,45	b	4,80	c	1,30	b	30,09	bc

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

Observou-se que os resultados, referentes aos teores de azoto nas raízes, apresentaram valores superiores no tratamento T1 (água da vinhaça), contrariando o que ocorreu na parte aérea, no qual o T1 alcançou os resultados inferiores. O tratamento T1 diferiu estatisticamente do ensaio testemunha, com incremento de 56% e do T4 (lama do queijo) com incremento de 61% no teor de azoto. Entretanto, comparativamente aos tratamentos T2 (água do queijo) e T3 (lama da vinhaça), não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey, sendo que estes obtiveram incrementos na ordem dos 29% e 45% em relação à testemunha.

Os dados médios relacionados aos cloretos mostram que, assim como observado na parte aérea, o maior (25,20 g/kg) e menor (4,54 g/kg) resultados foram obtidos nos tratamentos T2 (água do queijo) e T0 (testemunha), respectivamente. Pelo teste de Tukey, verificou-se que houve diferenças significativas entre o T2 e os demais tratamentos, constatando-se um aumento de cerca de 4,5 vezes no teor de cloretos desse tratamento em detrimento ao da testemunha. Os tratamentos que receberam a água e a lama da vinhaça (T1 e T3) não diferiram estatisticamente entre si, alcançando teores médios de 11,69 g/kg e 9,52 g/kg,

respetivamente. Já a lama do queijo (T4) obteve um teor médio de 4,80 g/kg, não diferindo estatisticamente do tratamento testemunha (T0), pelo teste de Tukey.

O sódio presente nas raízes obteve valor superior (8,41 g/kg) no tratamento T2, semelhante ao que ocorreu na parte aérea da planta. O valor médio alcançado nesse tratamento foi cerca de 8 vezes maior do que o encontrado no tratamento testemunha, diferindo significativamente de todos os demais tratamentos. Entre os tratamentos T0, T1, T3 e T4 não houve diferenças estatísticas entre si, sendo que o menor teor médio foi obtido no tratamento testemunha com 0,94 g/kg. As médias referentes aos tratamentos T1, T3 e T4 foram na ordem de 1,03 g/kg; 2,05 g/kg e 1,30 g/kg, respetivamente.

Relativamente ao potássio, os valores superiores continuam sendo dos tratamentos que receberam a vinhaça, entretanto, nas raízes, a água da vinhaça é que obteve maiores teores, e não a lama da vinhaça, como aconteceu na parte aérea. Porém, não houve diferenças significativas entre esses dois tratamentos, uma vez que o T1 alcançou média de 39,73 g/kg e o T3 de 37,21 g/kg, sendo estes valores superiores 57% e 47% em relação ao T0 (testemunha). O menor teor médio foi verificado no tratamento testemunha com valor de 25,25 g/kg, constituindo semelhança estatística apenas com o tratamento T4. A Figura 26 mostra os teores médios de Cl, Na, N e P encontrados nas raízes de alfaces cultivadas com os diferentes tratamentos.

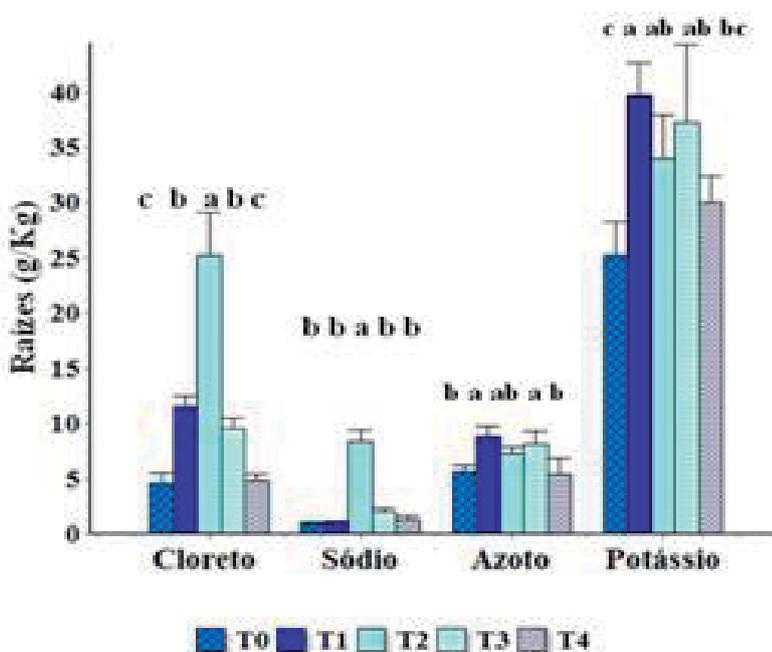


Figura 26. Teores médios de cloroetos, sódio, azoto e potássio de raízes de alfaces submetidas a diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

4.3. Efeitos dos tratamentos no substrato

A análise de variância e as comparações entre as médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, referentes ao pH e à condutividade do substrato nos diferentes tratamentos estão representadas na Tabela 16. A análise de variância mostra que houve diferenças significativas entre os tratamentos com relação ao pH e CE, ao nível de 1% de significância.

Tabela 16. Análise de variância e valores médios do pH e CE do substrato utilizado na cultura de alfaces sob diferentes tratamentos: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	pH		Condutividade (mS/cm)	
F tratamentos	10,16	**	24,66	**
Média geral	8,31		0,66	
Desvio-padrão	0,09		0,08	
CV (%)	1,06		12,43	
Teste de Tukey a 5%:				
T0	8,18	b	0,48	c
T1	8,34	ab	0,70	b
T2	8,18	b	0,94	a
T3	8,45	a	0,64	bc
T4	8,42	a	0,51	c

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

Os resultados experimentais referentes ao pH do substrato indicam que T3 e T4 foram estatisticamente superiores ao tratamento testemunha com médias de 8,45 e 8,42, respectivamente. O tratamento testemunha, que obteve média de 8,18, foi estatisticamente semelhante aos tratamentos T1 e T2, pelo teste de Tukey (Figura 27). Neste trabalho verificou-se o aumento do pH em todos os tratamentos comparativamente ao pH inicial do substrato que tinha média de 7,66. Alguns trabalhos utilizando águas residuais na rega relataram aumentos no valor do pH do solo (Johns & McConchie, 1994; Al-Nakshabandi *et al.*, 1997; Rodrigues *et al.*, 2011). Trabalhos com a aplicação de vinhaça, também, têm demonstrado aumentos do pH do solo (Brito *et al.* 2005; Brito *et al.* 2009). Entretanto, Bebé *et al.* (2009) não verificaram alterações do pH do solo com a fertirrega da vinhaça ao longo dos anos.

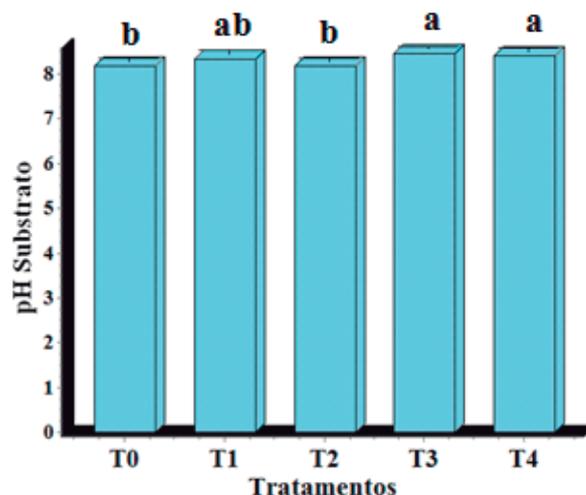


Figura 27. Valores médios do pH do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo

A condutividade elétrica do substrato dos tratamentos que levaram águas tratada de queijo (T2) apresentou aumento significativo, pelo teste de Tukey, em relação ao tratamento testemunha, com incrementos de 95%, diferindo, também, estatisticamente dos demais tratamentos. O tratamento T1 diferenciou-se estatisticamente da testemunha, com incremento de 45%. Já os tratamentos T3 e T4 não se diferenciaram estatisticamente da testemunha, porém apresentaram aumentos de 33% e 6%, respectivamente em relação à esta. A condutividade observada nos substratos dos tratamentos T0, T1, T3 e T4 ficou abaixo da condutividade inicial do substrato, sendo esta de 0,90 mS/cm. Apenas o tratamento T2 apresentou média semelhante à inicial (0,94 mS/cm). Todavia, os valores médios de condutividade elétrica do substrato, para todos os tratamentos, mantiveram-se abaixo do valor de 1,3 dS/m recomendado por Ayers & Westcot (1991) como máxima salinidade tolerada pela cultura da alface. A Figura 28 mostra os dados referentes à condutividade elétrica nos diferentes tratamentos.

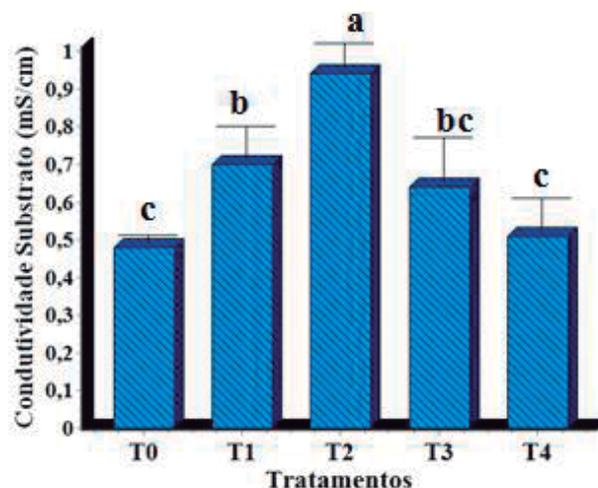


Figura 28. Valores médios de condutividade elétrica do substrato utilizado na cultura das alfases sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.

A análise de variância e as comparações entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância referentes aos teores de sódio, potássio, fósforo, azoto e matéria orgânica do substrato nos diferentes tratamentos estão representadas na Tabela 17.

Tabela 17. Análise de variância e valores médios do pH e condutividade do substrato utilizado na cultura de alfases sob diferentes tratamentos: testemunha (T0), água da vinhaça (T1), água do queijo (T2), lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Sódio (g/kg)	Potássio (g/kg)	Fósforo (g/kg)	Azoto (g/kg)	Matéria Orgânica (%)
F tratamentos	26,81 **	23,13 **	25,04 **	4,85 **	8,94 **
Média geral	0,39	0,72	0,17	2,98	32,30
Desvio-padrão	0,09	0,09	0,02	0,40	5,89
CV (%)	23,17	12,52	13,17	13,46	18,24
Teste de Tukey a 5%:					
T0	0,27 b	0,67 bc	0,16 bc	2,47 b	40,21 a
T1	0,34 b	1,04 a	0,25 a	2,79 ab	37,46 a
T2	0,76 a	0,66 bc	0,15 bc	2,98 ab	35,52 ab
T3	0,30 b	0,73 b	0,17 b	3,55 a	22,32 c
T4	0,27 b	0,51 c	0,12 c	3,24 a	23,99 bc

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

Observou-se aumento da concentração de azoto total em todos os tratamentos comparativamente à testemunha (Figura 29). Os valores mais altos foram verificados nos tratamentos com as lamas, no qual obtiveram aumentos de 43% (T3) e 31% (T4) em relação à testemunha, diferindo estatisticamente desta. A testemunha obteve uma média de concentração de azoto semelhante ao que já havia no substrato antes do cultivo das alfaces e embora tenha tido o menor valor médio, não diferiu estatisticamente dos tratamentos T1 e T2, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, sendo que estes obtiveram incrementos de 12% e 20%, respetivamente.

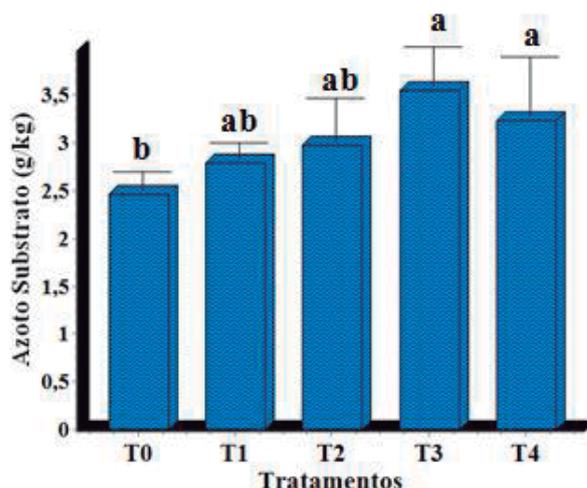


Figura 29. Valores médios dos teores de azoto do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.

Os mais altos níveis de sódio encontrados no substrato foram observados no tratamento T2 (0,76 g/kg), isso deve-se à elevada concentração desse ião na água de queijo. Houve diferença significativa entre o T2 e os demais tratamentos, com incremento de 181% em relação à testemunha e de 38 % quando comparado ao teor inicial de sódio no substrato. Entretanto, constatou-se um decréscimo dos níveis de sódio nos tratamentos T0, T1, T3 e T4, quando comparado com as concentrações encontradas no substrato antes do cultivo das alfaces. O teor médio inicial era de 0,55 g/kg, após o plantio ocorreram reduções na ordem dos 50%, 38%, 45% e 50%, para os respetivos tratamentos. Além disso, verificou-se que quanto maior a concentração de sódio na água de irrigação, maiores foram as concentrações encontradas no substrato. Esses resultados concordam com Jnad *et al* (2001) que utilizando água residual com tratamento secundário, observou aumentos deste ião no solo de acordo com a sua concentração no efluente.

Relativamente às concentrações de fósforo no substrato, verificou-se que os resultados mais altos foram encontrados no tratamento T1, o qual diferiu estatisticamente de todos os demais tratamentos, com aumento percentual de 56% em relação à testemunha. O tratamento que obteve menor média foi o T4, com reduções de 25% em relação à testemunha, porém só diferiu estatisticamente do T1. Em comparação com a concentração de fósforo no substrato antes do cultivo das plantas, notou-se que apenas o tratamento T1 apresentou aumentos desse ião, ao passo que T0, T2, T3 e T4 obtiveram reduções de 15%, 21%, 10% e 36%, respetivamente. Kouraa *et al.* (2002) constataram que, após um ano de cultivo de alfaces e batatas regadas com água residual tratada, esgoto bruto e água potável, não houve alterações nos teores de fósforo no solo. Por outro lado, Al-Nakshabandi *et al.* (1997) observaram aumento significativo nos teores de fósforo no solo utilizado para cultivar beringelas regadas com efluente tratado contendo 28 mg/L de PO₄.

Observou-se que houve redução na concentração de potássio em todos os tratamentos quando comparados com a concentração inicial deste ião no substrato. As reduções para os tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4 foram de 41%, 8%, 42%, 35% e 55%, respetivamente. O nível mais baixo foi observado no tratamento T4 com média de 0,51 g/kg e o mais alto no tratamento T1, com média de 1,04 g/kg, sendo que este último diferiu significativamente, pelo teste de Tukey, dos demais tratamentos. Os tratamentos T2, T3 e T4 foram semelhantes estatisticamente ao tratamento testemunha. Juchen (2000), por sua vez, verificou um aumento de 19% de potássio em parcelas de solo que cultivaram alfaces irrigadas com efluentes tratados de lacticínios. Relativamente à aplicação de vinhaça Paula *et al.* (1992) observaram aumento significativo dos teores de potássio no solo, porém Brito *et al.* (2003), aplicando doses elevadas de 350 e 700 m³/ha, verificaram a redução dos teores de Ca, Mg, Na e K, indicando a capacidade de retenção de catiões pelo solo. Essas situações ressaltam a importância de se estudar cada vez mais a dinâmica dos iões da vinhaça de acordo com as particularidades de cada solo (Neto, 2012). A Figura 30 mostra os dados dos teores médios de sódio, potássio e fósforo no substrato.

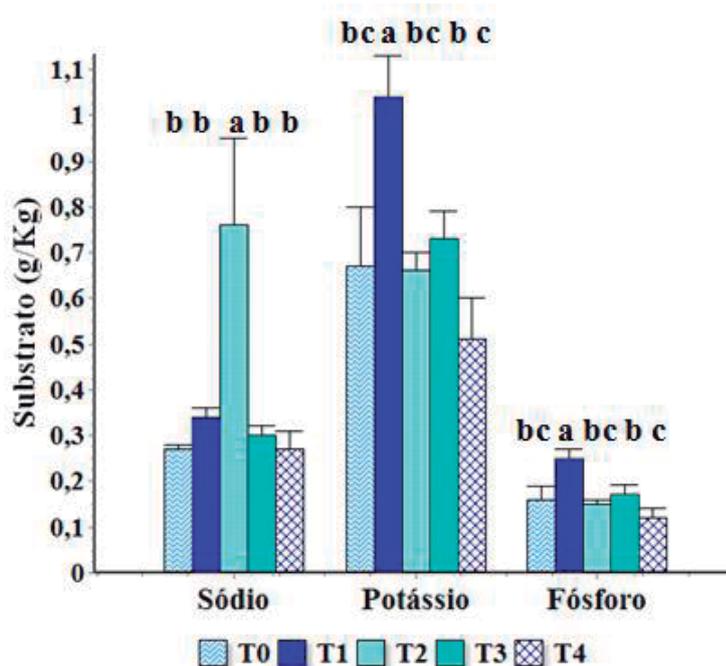


Figura 30. Valores médios dos teores de sódio, potássio e fósforo do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.

Os resultados referentes ao teor de matéria orgânica do substrato (Figura 31) mostram que houve um acréscimo no tratamento testemunha (T0) e nos tratamentos com as águas residuais tratadas (T1 e T2), enquanto os tratamentos com lamas constituíram reduções em detrimento dos teores iniciais (antes do cultivo). Os tratamentos T0, T1 e T2 apresentaram aumentos de 34%, 24% e 18%, respectivamente, não havendo, entre eles, diferenças estatísticas, pelo teste de Tukey. Os tratamentos T3 e T4 obtiveram reduções de 25% e 20%, respectivamente e foram considerados pelo teste de Tukey, semelhantes entre si. Juchen (2000) relatou um aumento de 11,0% nos teores de matéria orgânica do solo com a rega de efluentes da agroindústria de laticínios.

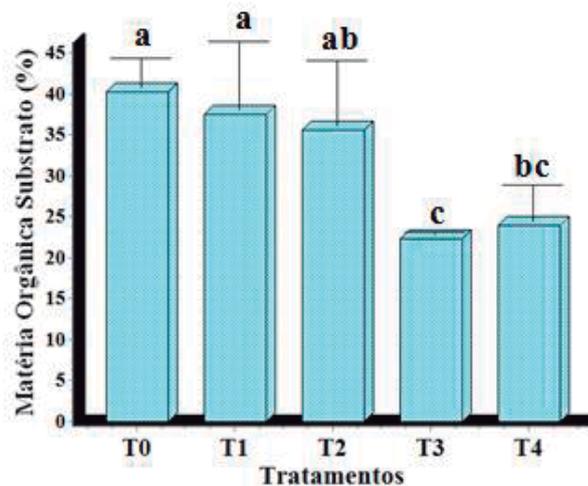


Figura 31. Valores médios dos teores de matéria orgânica do substrato utilizado na cultura das alfaces sob diferentes tratamentos: T0 – testemunha; T1 – água da vinhaça; T2 – água do queijo; T3 – lama da vinhaça; T4 – lama do queijo.

4.4. Efeitos dos tratamentos nas águas de lixiviação

A qualidade da água de rega afeta não só a produção e qualidade das culturas mas também a estrutura e composição físico-química do solo, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a vegetação e a fauna. Os resultados obtidos da análise de variância e a comparação das médias dos tratamentos, pelo teste de Tukey, encontram-se representados na Tabela 18 e 19.

Tabela 18. Análise de variância e valores médios do pH, CE, Ca e Mg da água de lixiviação provenientes da rega de alfaces cultivadas sob diferentes tratamentos: testemunha (T0); água da vinhaça (T1); água do queijo (T2); lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	pH	Condutividade (mS/cm)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)				
F tratamentos	1,90	17,51 **	9,74 **	2,29				
Média geral	8,06	2,02	181,61	73,50				
Desvio-padrão	0,48	0,69	68,92	26,83				
CV (%)	5,99	34,04	37,95	36,50				
Teste de Tukey a 5%:								
T0	8,05	a	1,16	b	111,58	b	61,84	a
T1	7,78	a	2,76	a	303,97	a	73,50	a
T2	7,88	a	3,40	a	197,20	b	79,92	a
T3	8,31	a	1,63	b	166,41	b	93,92	a
T4	8,27	a	1,13	b	128,90	b	58,34	a

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

Tabela 19. Análise de variância e valores médios dos teores de N, Na, K, Cl e P da água de lixiviação provenientes da rega de alfaces cultivadas sob diferentes tratamentos: testemunha (T0); água da vinhaça (T1); água do queijo (T2); lama da vinhaça (T3) e lama do queijo (T4)

Análise de variância	Azoto (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Fósforo (mg/L)
F tratamentos	1,77	14,98 **	13,79 **	5,33 **	0,01
Média geral	21,20	193,45	425,12	447,22	2,83
Desvio-padrão	9,79	161,49	176,97	348,86	2,66
CV (%)	46,18	83,48	41,63	78,00	93,69
Teste de Tukey a 5%:					
T0	17,85 a	66,73 b	262,98 b	196,95 b	2,88 a
T1	28,96 a	139,21 b	816,23 a	583,72 ab	2,73 a
T2	20,94 a	585,82 a	441,96 b	882,92 a	2,73 a
T3	20,67 a	83,87 b	358,11 b	312,95 b	2,93 a
T4	17,58 a	91,59 b	246,32 b	259,58 b	2,91 a

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

CV: coeficiente de variação.

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias, pelo teste de Tukey.

O pH da água de lixiviação proveniente da rega com vinhaça e água residual de queijo apresentou valores médios de 7,78 e 7,88, respectivamente. Tais valores ficaram abaixo dos apresentados pelo ensaio testemunha (8,05), contudo, não houve diferenças significativas, pelo teste de Tukey, entre esses tratamentos. Os valores mais altos de pH, assim como ocorreu no substrato, foram apresentados pelas lamas, com médias de 8,31 para T3 e 8,27 para T4. Entretanto não houve diferenças estatísticas entre as lamas e os demais tratamentos. De acordo com a Figura 32, pôde-se observar que os valores de pH do percolado sofreram variações durante as 8 semanas de coletas, apresentando acréscimos ou decréscimos, sendo que no final das coletas, todos os tratamentos apresentaram um aumento do pH em comparação com a primeira recolha.

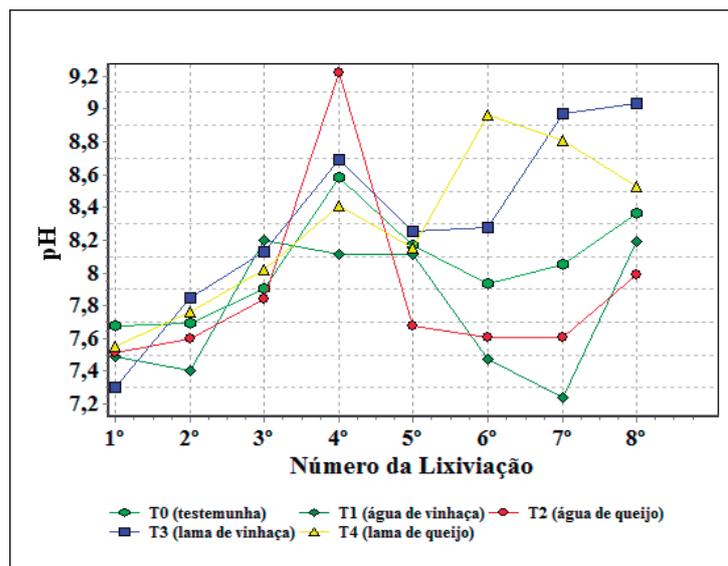


Figura 32. Variação do pH das águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.

Os tratamentos T1 e T2 apresentaram os valores mais elevados de condutividade elétrica, com médias de 2,76 mS/cm e 3,40 mS/cm, respectivamente, constituindo diferenças estatística, pelo teste de Tukey, em relação aos tratamentos testemunha e com lamas, que apresentaram valores de 1,16 mS/cm (T0), 1,63 mS/cm (T3) e 1,13 mS/cm (T4). A comparação entre a lixiviação das águas tratadas de queijo e vinhaça pode ser vista na publicação 4 do Anexo I.

A Figura 33 mostra que a condutividade dos tratamentos testemunha e com as lamas decresceu até à sexta coleta, e a partir daí manteve-se praticamente constante até o à última recolha. Já com os tratamentos T1 houve acréscimo até a terceira semana e no tratamento T2, salvo na quarta coleta, houve sempre um aumento da condutividade.

O elevado valor de condutividade apresentado pelas águas de lixiviação provenientes da rega com água da vinhaça tratada deve-se principalmente aos teores de potássio, cloreto e cálcio. A salinidade da água de lixiviação proveniente da rega com água residual do queijo resulta, principalmente, dos elevados teores de cloreto, sódio e potássio. As diferenças observadas provêm, essencialmente, da qualidade e quantidade de nutrientes nas águas de irrigação. Assim, os valores de condutividade e dos cloretos das águas tratadas estudadas encontram-se acima dos valores máximos recomendados. Contudo, como referido anteriormente, o recurso a culturas com tolerância média a elevada à salinidade pode ser uma solução futura, tais como tomate, centeio, cevada e trigo, cujo rendimento potencial não é afetado para condutividades de água de rega de 1.7; 3.7; 4.0 e 5.0; respetivamente. (Fipps, 2003).

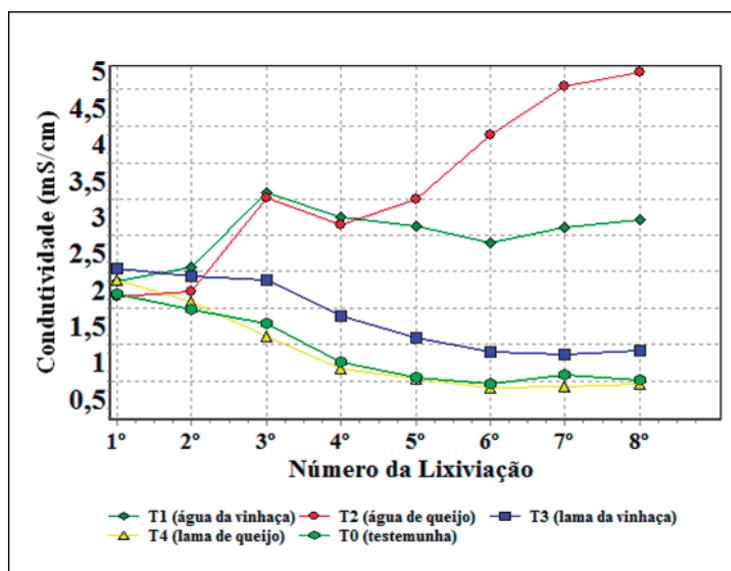


Figura 33. Variação da condutividade elétrica das águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.

O valor médio mais elevado de cálcio foi obtido no tratamento T1 (303,97 mg/L), sendo 172% superior ao obtido no ensaio testemunha (111, 58 mg/L), diferindo estatisticamente, pelo teste de Tukey, dos demais tratamentos. Os tratamentos T2, T3 e T4 obtiveram médias de 197, 20 mg/L, 166, 41 mg/L e 128,90 mg/L, respectivamente e não diferiram estatisticamente do tratamento testemunha. O teor máximo de magnésio foi obtido no tratamento T3, 51% superior ao tratamento T0. Entretanto, mesmo apresentando valores mais elevados, não houve diferenças estatísticas entre qualquer dos tratamentos. Na Figura 34 é possível verificar as variações nas concentrações de cálcio e magnésio no percolado ao longo das 8 coletas de lixiviações. Observou-se que a última coleta, comparativamente à primeira apresentou reduções de cálcio no que se refere aos tratamentos testemunha e com as lamas, ao passo que ocorreu aumento nos tratamentos com as águas tratadas. E no caso do magnésio, houve reduções nos tratamentos T0, T4 e T1 e aumento no T3.

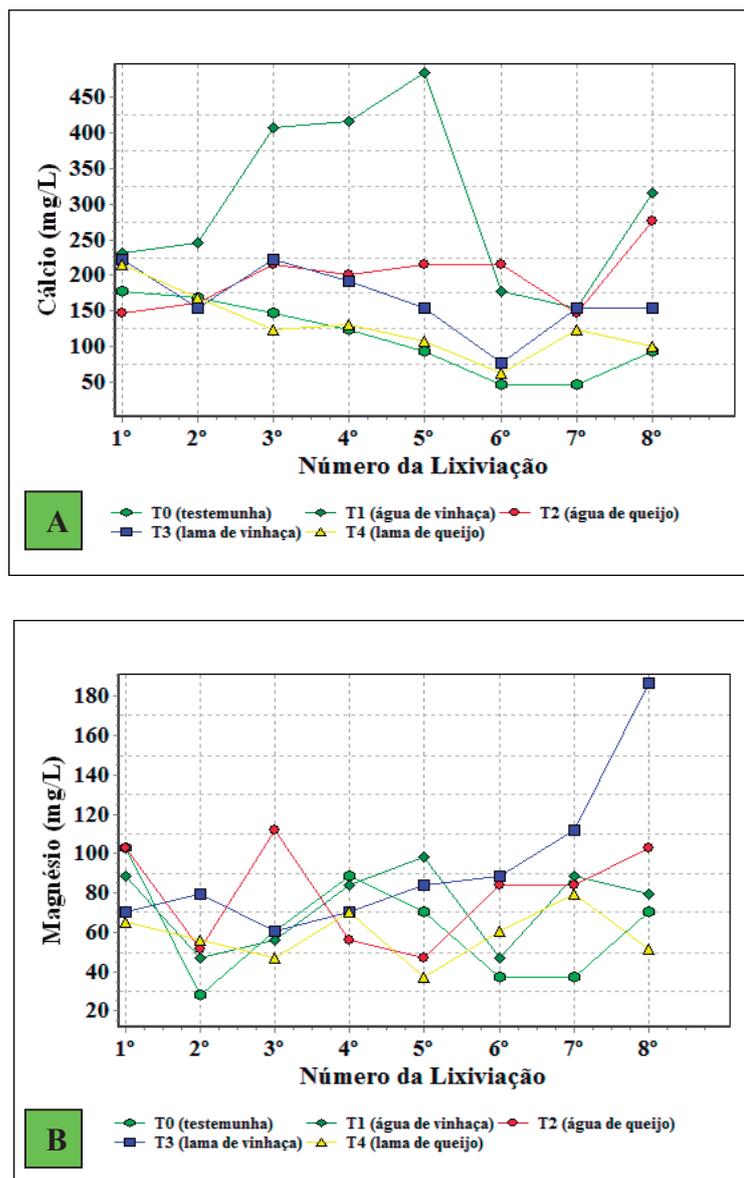


Figura 34. Variações de cálcio (A) e magnésio (B) das águas de lixiviações ao longo das 8 semanas.

Os teores de azoto exibiram valores de 28.96 e 20.94 mg/L para as águas de lixiviação provenientes da rega com água da vinhaça e água residual de queijo, respetivamente. Assim, foram obtidos incrementos de aproximadamente 62% e 17% em comparação com o ensaio testemunha. Por outro lado, o menor teor de azoto foi encontrado no tratamento T4, que por sua vez, apresentou reduções pequenas de 1,5% em relação à testemunha. Não houve diferenças estatísticas, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, entre nenhum tratamento. A Figura 35 mostra as variações das concentrações de azoto nas águas lixiviadas e observou-se que houve um decréscimo desse elemento, ao longo das 8 recolhas, em todos os tratamentos.

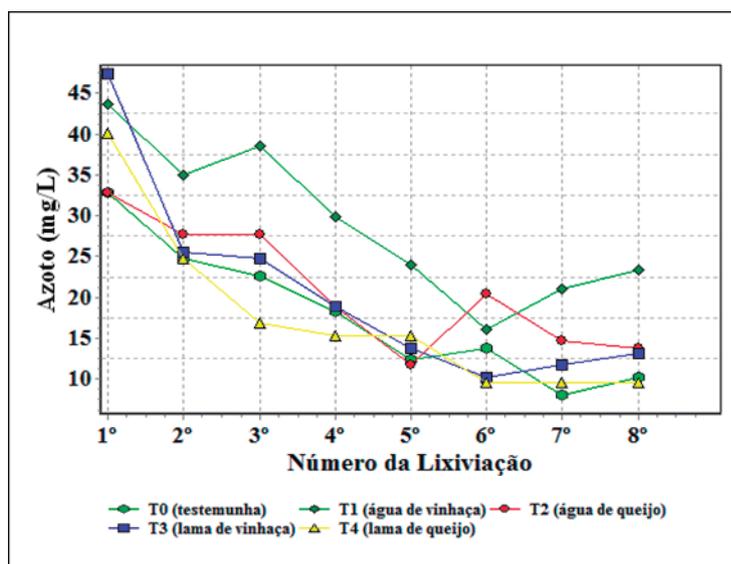


Figura 35. Variações de azoto nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.

O tratamento que apresentou maior lixiviação de sódio foi o T2 (água do queijo), sendo aproximadamente 7 vezes maior que o tratamento testemunha, diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos. Os tratamentos T0, T1, T3 e T4 obtiveram valores médios na ordem de 66,73 mg/L; 139, 21 mg/L; 83, 87 mg/L; e 91,59 mg/L, respetivamente, constituindo-se semelhantes entre si, pelo teste de Tukey. Durante as 8 semanas de recolha do lixiviado observou-se que não houve grandes variações nas concentrações de sódio para os tratamentos T0, T1, T3 e T4. Todavia, o tratamento T2 apresentou um crescente aumento na concentração desse elemento durante todas as recolhas (Figura 36).

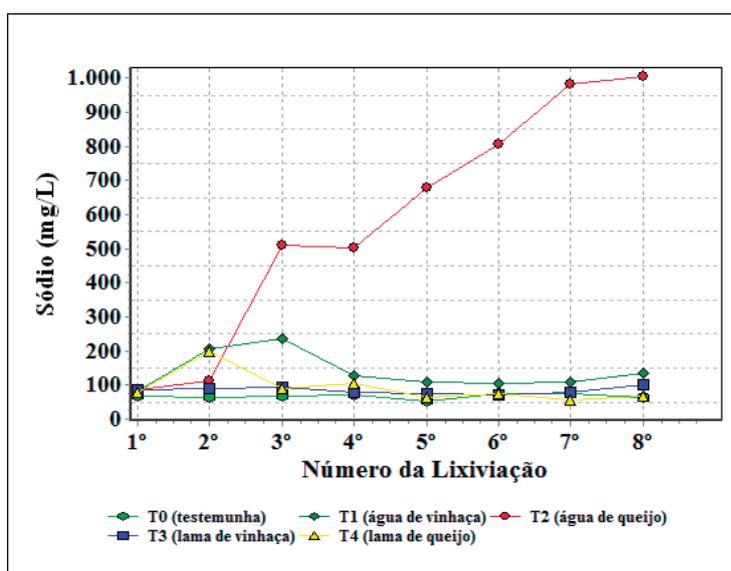


Figura 36. Variações de sódio nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.

Os valores de potássio foram maiores para os tratamentos que receberam águas tratadas. Porém, os valores máximos foram encontrados no tratamento com a água da vinhaça (T1), com concentrações cerca de duas vezes maiores em relação à testemunha, tendo o T1 diferido estatisticamente de todos os outros tratamentos. O nível mais baixo desse nutriente foi observado no tratamento T4, com reduções de 6%, relativamente à testemunha, porém não houve diferenças pelo teste de Tukey, entre o T4, T0, T2 e T3. Observou-se que durante as recolhas do lixiviado houve um decréscimo na concentração de potássio nos tratamentos testemunha e com as lamas, ocorrendo o contrário com os tratamentos com as águas tratadas (Figura 37).

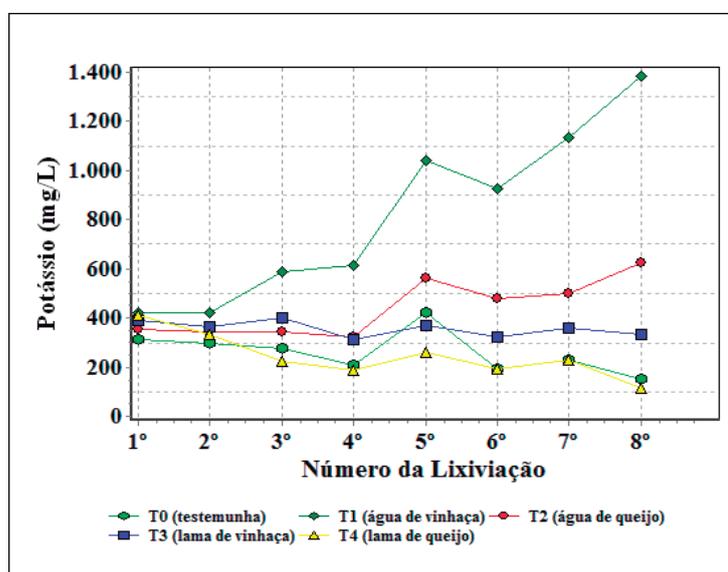


Figura 37. Variações de potássio nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas

Relativamente aos cloretos foram encontrados valores consideráveis nas soluções do lixiviado do tratamento T2, com média de 882 mg/L, o que representa um aumento de mais de três vezes em relação a testemunha. O tratamento T1 apresentou valores médios de 583, 72 mg/L, que embora tenha sido menores do que o T2, foram considerados semelhantes estatisticamente, pelo teste de Tukey. Os tratamentos com lamas obtiveram valores médios mais elevados do que os apresentados pela testemunha, porém não houve diferenças estatísticas entre estes. Em geral, observou-se que a lixiviação de sais, no tratamento T2, foi incrementada à medida que o ensaio foi conduzido, sendo que essa tendência pôde ser observada nos resultados da condutividade elétrica. Os demais tratamentos apresentaram um decréscimo de cloretos, ao longo das 8 semanas, nas águas de lixiviação (Figura 38).

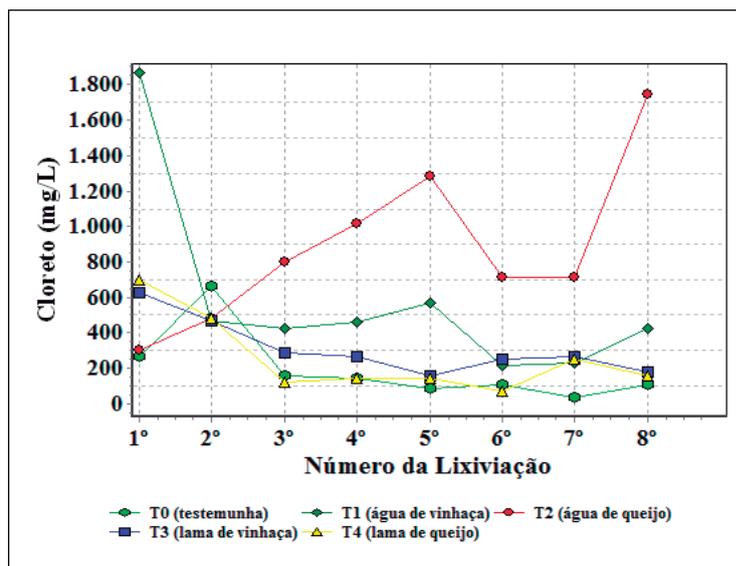


Figura 38. Variações de cloretos nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.

Os resultados da lixiviação do fósforo demonstram que não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos, embora os tratamentos com as lamas (T3 e T4) tenham sido os que apresentaram maiores valores médios, sendo 2,93 mg/L e 2,91 mg/L, respectivamente. O comportamento das concentrações no percolado apresentou-se semelhante em todos os tratamentos, ocorrendo um constante decréscimo desse elemento ao longo das 8 recolhas da lixiviação (Figura 39).

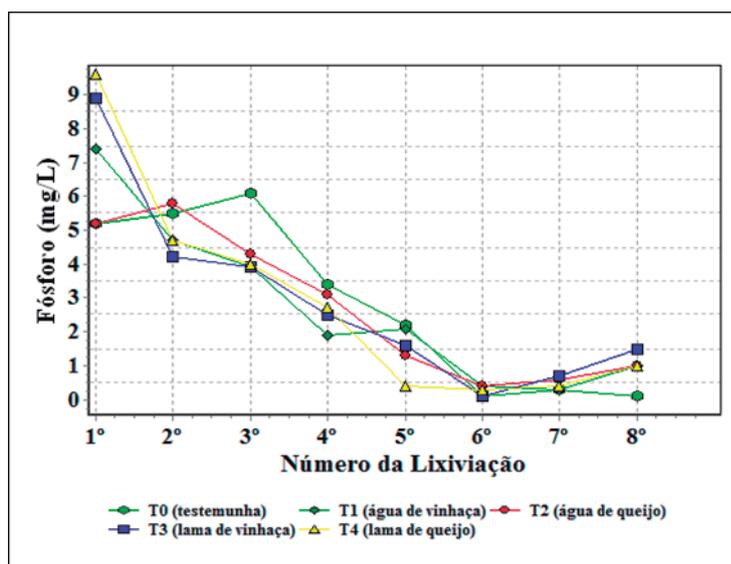


Figura 39. Variações de fósforo nas águas de lixiviação ao longo das 8 semanas.

5. Conclusões

Os resultados obtidos demonstram a possibilidade de uso da lama de vinhaça e da lama de queijo como fonte de nutrientes para as plantas, constituindo uma alternativa promissora aos fertilizantes convencionais. Para a maioria das características produtivas foi observado que os maiores rendimentos ocorreram nos tratamentos que receberam a lama de vinhaça, seguido da lama do queijo. Já, os tratamentos com as águas tratadas obtiveram os menores rendimentos, mostrando que a presença de sais na água residual influenciou no menor desenvolvimento da alfaca, em especial as plantas que foram regadas com a água de queijo. Entretanto, a opção de reutilização dessas águas em culturas com tolerância média a elevada à salinidade pode constituir uma alternativa viável.

Relativamente aos teores de nutrientes presentes nas folhas da planta observou-se que o tratamento com a lama de vinhaça apresentou os níveis mais elevados de potássio, fósforo e cálcio. Ao passo que os teores mais altos de ferro, cloretos e sódio foram observados no tratamento com a água residual de queijo. Os maiores níveis de magnésio foram atingidos pelo tratamento com a lama de queijo e de matéria orgânica no tratamento com a água de vinhaça.

A utilização de águas e lamas resultantes do tratamento de efluentes de queijarias e de vinhaça não alteraram as características sensoriais das alfases.

De um modo geral, a fertirrega com água de queijo e vinhaça e a fertilização com lama de queijo e lama de vinhaça promoveram algumas mudanças na composição química do substrato, podendo citar:

- Aumento do pH e do azoto em todos os tratamentos;
- Aumento do sódio nos tratamentos com água de queijo e reduções nos demais;
- Aumento do fósforo em tratamentos com água de vinhaça e reduções nos demais;
- Reduções de potássio em todos os tratamentos;
- Aumento da matéria orgânica nos tratamentos com água residual de queijo e água de vinhaça;

- Redução da matéria orgânica nos tratamentos com lama de vinhaça e lama de queijo;

Possivelmente o acúmulo dos elementos, no substrato, deve-se à aplicação das águas residuais tratadas e suas respectivas lamas, ao passo que as reduções devem-se principalmente ao consumo pelas plantas e a lixiviação.

Durante as recolhas das águas de lixiviação verificou-se a ocorrência de reduções nos teores de N e P em todos os tratamentos. As maiores concentrações de Na e CE foram observados no tratamento com água de queijo, bem como um aumento da concentração de cloretos ao longo das lixiviações. Houve um decréscimo na concentração de K e Ca nos tratamentos com a lama de vinhaça e lama de queijo e um acréscimo desses mesmos elementos nos tratamentos com a água residual do queijo e água de vinhaça. O aumento do pH, também, foi observado em todos os tratamentos.

6. Referências Bibliográficas

Acosta G.Y., Ramírez E, Gutiérrez E. (1998). Efectos de la aplicación del lodo residual municipal sobre suelos y plantas. In: 26° Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, Noviembre, 1-20.

AEA - Agência Europeia do Ambiente (1999). O Ambiente na União Europeia no amanhecer do novo século Resumo – Apêndice Factos e conclusões por questão ambiental, Copenhaga.

AEA – Agência Europeia do Ambiente (2005). O Ambiente na Europa. Situação e perspectivas 2005. Indicadores Chaves - Parte B.

Al-Nakshabandi, G. A., Saqqar, M. M., Shatanawi M. R., Fayyad, M., Al-horani, H. (1997). Some environmental problems associated with the use of treated waste water for irrigation in Jordan. *Agricultural Water Management*. 34 (1): 81-94.

Andreoli, C. V., Lara, A. I., Ferreira, A. C., Bonnet, B. R. P., Pegorini, E. S. (1998). Gestão dos Biossólidos Gerados em Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico. *Engenharia e Construção*, nº 24.

Angelakis, A. N., Monte, M. H. F. M., Bontoux, L., Asano, T. (1999). The Status of Wastewater Reuse Practise in the Mediterranean Basin: Need for Guidelines. *Water Resources*. 10, 2201-2217.

Arafat, S. & Yassen, A. E. (2002). Agronomic evaluation of fertilizing efficiency of vinasse. 17th WCSS, 14-21 August, Thailand.

Arvanitoyannis, I. & Kavasseti, A. (2008). Dairy waste management: treatment methods and potencial uses of treated waste. *Waste Management for the Food Industries*. 801-859.

Asano, T. (2001). Water From (Waste) Water - The Dependable Water Resource. 11th Stockholm Water Symposium, August, Stockholm, Sweden.

Asano, T., Burton, H., Tsuchihashi, Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse – Issues, Technologies and Applications*. Mc Graw-Hill, New York.

Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1991). A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, UFPB, 218pp. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem). Tradução: Gheyl, H. R., Medeiros, J. F., Damasceno.

Balanec, B., Geneviève, G., Bernard, C., Murielle, R., Georges, D. (2002). Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration. *Desalination*. 147, 89-94.

Barbosa, E.A.A. (2010). Fertirrigação e aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar. Tese de Mestrado, Instituto Agrônomo de Campinas, Tecnologia de Produção Agrícola, Campinas, 91pp.

Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L., Davis J.G. (2011). Irrigation Water Quality Criteria. Colorado State University Extension no. 0.506. Disponível em: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00506.html>. Acesso em: 10/07/2012.

Baumgartner, D., Sampaio, C., Silva, T. R., Teo, C. R. P. A., Vilas Boas, M. A. (2007). Reutilização de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. *Engenharia Agrícola*. 27 (1): 152-163.

Bebé, F.V., Rolim, M.R., Pedrosa, E.M.R., Silva, G.B., Oliveira, V.S. (2009). Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 22, 781-787.

Behmer, M. L. A. (1999). Tecnologia do leite: queijo, manteiga, caseína, iogurte, sorvetes e instalações: produção, industrialização, análise. 13ª ed. Nobel, São Paulo, 320pp.

Bengtsson, M. & Tillman, A. (2004). Actors and interpretations in an environmental controversy: the Swedish debate on sewage sludge use in agriculture. *Resources, Conservation and Recycling*. 42, 65-82.

Bénitez, F. J., Heredia J. B., González, T., Real, F. J. (1998). Kinetic of the biodegradation of wine distillery wastewater by anaerobic digestion. *Environment Protection Engineering*. 24, 49-59.

Bénitez, F. J., Real, F. J., Acero, J. L., Garcia, L., Sánchez, L. M. (2003). Kinetics of the ozonation and aerobic biodegradation of wine vinasses in discontinuous and continuous processes. *Journal of Hazardous Materials*. 101, 203-221.

Benke, M. B., Mermut, A. R., Shariatmadari, H. (1999). Retention of dissolved organic carbon from vinasse by a tropical soil, kaolinite, and Fe-oxides. *Geoderma*. 91, 47-63.

Bernardi, A.C.C., Verruma-Bernardi, M.R., Werneck, C.G., Haim, P.G., Monte, M.B.M. (2005). Produção, aparência e teores de nitrogênio, fósforo e potássio em alface cultivada em substrato com zeólita. *Horticultura Brasileira*. 23, (4): 920-924.

Börjesson, P. (2009). Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective – what determines this? *Applied Energy*. 86, 589-594.

Brito, F. L., Rolim, M. M., Pedrosa, E. M. R. (2009). Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 4 (4): 456-462.

Brito, F. L.; Rolim, M. M.; Pedrosa, E. M. R. (2005). Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 9, 52-56.

Brito, F.L., Lyra, M.R.C., Rolim, M.M. (2003). Efeito da aplicação de vinhaça em colunas de solo: avaliação do poder de remoção de alguns parâmetros. In: 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Goiana. Anais. Goiana: SBEA, 2003. CD-Room.

Cambuim, F. A. (1983). A ação da vinhaça sobre a retenção de humidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes em solo arenoso. Tese de Mestrado, UFRPE, Recife, 133pp.

Carrijo, D. A., Souza, R. B., Marouelli, W. A., Andrade, R. J. (2004). *Fertirrigação de Hortaliças*. Embrapa, Circular Técnica, 13pp.

Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Análise de Variância e Teste de Tukey. Disponível em: <http://www.cca.ufscar.br/servicos/teste-de-tukey/>. (acesso em: Novembro 2012).

Cermeño, Z. S. (1977). *Cultivo de plantas hortícolas em estufa*. AEDOS, Barcelona, 368pp.

Cermeño, Z. S. (1988). *Prontuário do Horticultor – mais de 10 000 dados úteis*. Litexa, Lisboa, 408pp.

Charles, J., Sancey, B., Morin-Crini, N., Badot, P., Degiorgi, F., Trunfio, G., Crini, G. (2011). Evaluation of the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 74, 2057-2064.

Çinar, O., Hasar. H., Cumali, K. (2006). Modeling of submerged membrane bioreactor treating cheese whey wastewater by artificial neural network. *Journal of Biotechnology*. 123, 204-209.

Có Júnior, C., Marques, M.O., Tasso Júnior, L.C. (2008). Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*. 28 (1): 196-203.

Comissão das Comunidades Europeias – CCE (2000). Relatório da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu Sobre a Aplicação da Legislação Relativa aos Resíduos. Diretiva 5/442/CEE relativa aos resíduos, Diretiva 91/689/CEE relativa aos resíduos perigosos, Diretiva 75/439/CEE relativa à eliminação dos óleos usados e Diretiva 86/278/CEE relativa às lamas de depuração no período de 1995 – 1997.

CONAB (2012). Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_10_14_57_19_boletim_cana_p_ortugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf (acesso em: 14 Agosto 2012).

Cortez, L., Magalhães, P., Happi, J. (1992). Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. *Revista Brasileira de Energia*. 2 (2):111.

Costa, D. C. (2011). *Caracterização e Tratamento de Efluentes Resultantes da Atividade de Produção de Queijo*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Lisboa, 226 pp.

Costa, D. M. A. & Júnior, A. C. B. (2005). Avaliação da necessidade da reutilização de águas residuais. *Holos*. 2, 81-101.

Crook, J. (1991). Quality criteria for reclaimed water. *Water Science Technology*. 24 (9): 109-121.

Cunha, N.S. (1997). Avaliação de crescimento de duas variedades cultivadas de alface em três túneis baixos distintos e ambiente natural. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 67 pp.

Dai, J., Chen, L., Zhao, J., Ma, N. (2006). Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge. *Journal of Environmental Sciences*. 18 (6): 1094-1100.

Davila, J. A., Machuca, F., Marrianga, N. (2011). Treatment of vinasses by electrocoagulation–electroflotation using the Taguchi method. *Electrochimica Acta*. 56, 7433-7436.

Dawson, C.J. & Hilton, J., (2011). Fertiliser availability in a resource-limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food Policy*. 36, S14-S22.

Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto.

De Pascale S., Maggio A., Fogliano V., Ambrosino P., Ritieni A. (2001). Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 76 (4): 447-453.

Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T.T. (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. *Process Biochemistry*. 40, 2583-2595.

DISQUAL. Manual de Boas Práticas: Alface. Disponível em: http://www.crcvvirtual.org/vfs/old_crcv/biblioteca/disqual_alface/ (acesso em: 09 de Outubro 2012).

Doelsch, E., Masion, A., Cazevieille, P., Condom, N. (2009). Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture during aerobic or anaerobic incubation. *Waste Management*. 29 (6): 1929-1935.

Döll M.M.R., Foresti E. (2010). Effect of the sodium bicarbonate in the treatment of vinasse in AnSBBR operated at 55 and 35°C. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 15 (3): 275-282.

Dragone G., Mussatto S.I., Oliveira J.M., Teixeira J.A. (2009). Characterisation of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. *Food Chemistry*. 112 (4): 929-935.

Dutcosky, S.D. (1996). *Análise sensorial de alimentos*. Champagnat, Curitiba, 123 pp.

Edwards, G. A. & Amirtharajah, A. (1985). Removing colour caused by humic acids. *J. AWWA*. 77, 50-57.

EEA (European Environmental Agency) (2001). *Environmental Signals environmental assessment report*. N.º 8. Luxemburgo, ISBN 92-9167-271-8.

Emmanuel, E., Pierre, M.G., Perrodin, Y. (2009). Groundwater contamination by microbiological and chemical substances released from hospital wastewater: health risk assessment for drinking water consumers. *Environment International*. 35 (4): 718– 726.

ENEAPAI - *Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais* (2007). Ministério do Ambiente, Ordenamento e Desenvolvimento Regional, Portugal.

Fasciolo, G.E., Meca, M.I., Gabriel, E., Morábito, J. (2002). Effects on crops of irrigation with treated municipal wastewaters. *Water Science and Technology*. 45 (1): 133-8.

Ferrasse J.-H., Seyssiecq I., Roche N. (2003). Thermal Gasification: A Feasible Solution for Sewage Sludge Valorisation? *Chemical Engineering & Technology*. 26 (9): 941-945.

Ferreira, E.M., Castro, I.V., Henriques, J.C. (2001). Produção de pastagem em solo adicionado de lamas residuais urbanas. In Gonçalves, P. & Castro, I. V. (2004). *Efeito da Aplicação de Lamas Residuais Urbanas na Diversidade da População Rizobiana do Solo*. *Silva Lusitana*. 12 (1): 95-104.

Fipps G. (2003). *Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies*. Texas Cooperative Extension. College Station, TX. Publication Number B-1667.

Franco, A., Marques, M. O., Melo, W. J. (2008). Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: nitrogen contents in soil and plant. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 65 (4): 408-414.

Freire, W. J. & Cortez, L. A. B. (2000). *Vinhaça de cana-de-açúcar*. Agropecuária, 203pp.

- Frigon, J. -C., Breton, J., Bruneau, T., Moletta, R., Guiot, S. R. (2009). The treatment of cheese whey wastewater by sequential anaerobic and aerobic steps in a single digester at pilot scale. *Bioresource Technology*. 100, 4156-4163.
- Furtado, A. T., Scandiffio, M. I. G., Cortez, L. A. B. (2011). The Brazilian sugarcane innovation system. *Energy Policy*. 39, 156-166.
- Gardê, a. & Gardê, N. (1988). *Culturas Hortícolas*. 6ª ed. Clássica, Porto, 493pp.
- Gasco, G. & Lobo, M.C. (2007). Composition of a Spanish sewage sludge and effects ontreated soil and olive trees. *Waste Management*. 27, 1494-1500.
- Gemtos, T. A.; Chouliaras, N.; Marakis, S. (1999). Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop. *Journal of Agriculture and Engineering Research*. 73 (3): 283-296.
- Glória, N. A. & Orlando Filho, J. (1983). Aplicação da vinhaça como fertilizante. *Boletim Técnico, Planalsucar*, 38pp.
- Gomes, A. M., Pintado, M. E., Malcata, F. X. (2008). Conhecer a importância do leite na nutrição humana. *Leite I+D+T. Associação Nacional dos Industriais de Lacticínios*.
- Gómez, J. & Rodríguez, O. (2000). Effects of vinasse on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity. *Rev. Fac. Agron*. 17, 318-326.
- Gonçalves, P. & Castro, I. V. (2004). Efeito da Aplicação de Lamas Residuais Urbanas na Diversidade da População Rizobiana do Solo. *Silva Lusitana*. 12 (1): 95 - 104
- González-Ponce, R., Esther G., López-de-Sa, E. G., Plaza, C. (2009). Lettuce Response to Phosphorus Fertilization with Struvite Recovered from Municipal Wastewater. *Hortscience*. 44(2):426 - 430.
- Granato, E.F. (2003). *Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça*. Tese de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 139 pp.
- Greenway, H. & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 31, 149-190.

- Gutiérrez, J. L. R., Encina, P. A. G., Fdz-Polanco, F. (1991). Anaerobic treatment of cheese production wastewater using a UASB reactor. *Bioresource Technology*. 37, 271-276.
- Hanjra, M. A., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F., Jackson, T. M. (2012). Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 215, 255-269.
- Hasar, H. & Kinaci, C. (2004). Empirical model representing microbial activity in a submerged MBR treating strength wastewater. *Desalination*. 170, 161-167.
- Henz, G. P. & Suinaga, F. (2009). Tipos de alface cultivados no Brasil. Embrapa. ISSN 1414-9850.
- Henze, M. & Harremoes, P. (1983). Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors: a literature review. *Water Science and Technology*. 15(1): 1-101.
- Heredia, J. B., Torregrosa, J., Domínguez, J. R., Partido E. (2005). Degradation of wine distillery wastewaters by the combination of aerobic biological treatment with chemical oxidation by Fenton's reagent. *Water Science and Technology*. 51, 167-174.
- Hespanhol, I. (2004). Wastewater as a resource for beneficial uses in Brazil. Conferência de Chefes de Estados da América do Sul e Países Árabes.
- Hosetti B.B, Frost S. (1995). A review of the sustainable value of effluents and sludges from wastewater stabilization ponds. *Ecological Engineering*. 5, 421-431.
- Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial e Instituto Nacional dos Resíduos - INETI (2001). Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (Guia Técnico Sectorial - Indústria de Lacticínios). Lisboa, Portugal.
- Instituto Nacional de Estatísticas – INE. Estatísticas Agrícolas 2011.
- Jiménez-Cisneros, B. (1995). Wastewater reuse to increase soil productivity. *Water Science and Technology*. 32 (12): 173-180.
- Jnad, I., Lesikar, B., Kenimer, A., Sabbagh, G. (2001). Subsurface drip of residential effluent: I. soil chemical characteristics. *Transaction of the ASAE*. 44, 1149-1157.

Johns, G. G. & McConchie, D. M. (1994). Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. I. Field evaluation of effect on plant nutrients and additional elements in leaf, pulp and soil. *Australian Journal of Agricultural Research*. 45, 1601-1617.

Jucken, C.R. (2000). Avaliação do reúso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção da cultura da alface (*Lactuca sativa L.*) fertirrigada. In: Sandri, D. Regada cultura da alface com água residuária tratada com leitos cultivados com macrófita. (2003). Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 186pp.

Khan, S. & Hanjra, M.A. (2008). Sustainable land and water management policies and practices: a pathway to environmental sustainability in large irrigation systems. *Land Degradation and Development*. 19 (3): 469-487.

Korndorfer, G. H. & Anderson, D. L. (1997). Use and impact of sugar-alcohol residues vinasse and filter cake on sugarcane production in Brazil. *Sugar Azucar*. 92, 26-35.

Kouraa, A., Fethi, F., Lahlou, A., Ouazzani N. (2002). Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system en Benslimane (Marocco). *Urban Water*. 4, 373-378.

Kumar, V., Wati, L., Nigam, P., Banat, I. M., Yadav, B. S., Singh, D., Marchant, R. (1998). Decolorization and biodegradation of anaerobically digested sugarcane molasses spent wash effluent from biomethanation plants by white-rot fungi. *Process Biochemistry*. 33, 83-88.

Kushwaha, J.P., Srivastava, V.C., Mall, I.D. (2010). Treatment of dairy wastewater by inorganic coagulants: parametric and disposal studies. *Water Research*. 44 (20): 5867-5874.

Laos F., Satti P., Walter I., Mazzarino M.J., Moyano S. (2000). Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biology and Fertility of Soils*. 31, 462-469.

Lehrsch G.A., Robbins C.W., Brown M.J. (2008). Whey utilization in furrow irrigation: effects on aggregate stability and erosion. *Bioresource Technology*. 99 (17): 8458-8463.

Lopes, J. C., Ribeiro, L. G., Araújo, M. G., Beraldo, M. R. B. S. (2005). Produção de alface com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*. 23 (1): 143-147.

Maganha, M. F. B. (2006). Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos (Série P+L). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), São Paulo.

Marecos do Monte, M.H. (2007). Reutilização de Águas Residuais para Usos Urbanos, Industriais, Recreativos e Ambientais, Curso sobre Reutilização de Águas Residuais. In: Santos, M. M. C. (2008). Reutilização de águas residuais urbanas tratadas. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova De Lisboa, Lisboa, 100pp.

Maroto, J. V. (1990). Horticultura para aficionados. Mundi-Prensa, Madrid, 222pp.

Martín, M. A., Raposo, F., Borja, R., Martín, A. (2002). Kinetic study of the anaerobic digestion of vinasse pretreated with ozone, ozone plus ultraviolet light, and ozone plus ultraviolet light in the presence of titanium dioxide. *Process Biochemistry*. 37, 699-706.

Matthheis, J.P. & Fellman, J.K. (1999). Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15, 227-232.

Mazzarino, M.J., Laos, F., Satti, P., Moyano, S. (1998). Agronomic and environmental aspects of utilization of organic residues in soils of the Andean-Patagonian region. *Soil Science and Plant Nutrition*. 44 (1): 105-113.

McBride, M.B. (2003). Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environmental Research*. 8 (1): 5-9.

Medina, C. C., Neves, C. S. V. J., Fonseca, I. C. B., Torreti, A. F. (2002). Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. *Ciências Agrárias*. 23 (2): 179-184.

Melo, A.S.S.A. & Silva, M.P. Estimando o valor da “externalidade positiva” do uso da vinhaça na produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/pdf/e4_m4_a2.pdf> (acesso em: 01 setembro 2012).

Méndez, A., Gómez, A., Paz-Ferreiro, J., Gascó, G. (2012). Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*.

Mengel, K. & Kirkby, E. A. (2004). Principles of plant nutrition. Springer-Verlag, New York, NY. In: González-Ponce, R., Esther G., López-de-Sa, E. G., Plaza, C. (2009). Lettuce

Response to Phosphorus Fertilization with Struvite Recovered from Municipal Wastewater. Hortscience. 44 (2): 426-430.

Mengel, K. & Kirkby, E.A. (1982). Principles of plant nutrition. 3th Ed. Bern: International Potash Institute, 655 pp.

Meurer, E. J. (2000). Fundamentos de química do solo. Genesis, Porto Alegre, 175pp.

Monte, H. M. & Albuquerque, A. (2010). Reutilização de Águas Residuais – Guia Técnico. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Murray, A. & Ray, I. (2010). Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China. Water Research. 44, 1667-1679.

Naik, N. M., Jagadeesh, K. S., Alagawadi, A. R. (2008) .Microbial decolorization of spentwash: a review. Indian Journal of Microbiology. 48, 41-48.

Napoleão, B. A. (2007). Futuro promissor para a cana-de-açúcar. Informe agropecuário. 28 (239): 3.

Neto, J. A. L. (2012). Aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial e seus efeitos nos perfis de distribuição iônica e atributos físicos e químicos de um Nitossolo. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 138 pp.

Norma Internacional ISSO nº 5663 (1983). Qualité de léau. Dosage de l'azote Kjeldhal – Méthode après minéralisation au sélénium. International Organization for Standardization.

Oliveira, M. A. B. (2009). Análise sensorial de alimentos: práticas e experimentos. Noryam, Cachoeira do Itapemirim, 95pp.

Oliveira, M., Usall, J., Viñas, I., Solsona, C., Abadias, M. (2011). Transfer of *Listeria innocua* from contaminated compost and irrigation water to lettuce leaves. Food Microbiology. 28, 590-596.

Oliveira, M., Viñas, I., Usall, J., Anguera, M., Abadias, M. (2012). Presence and survival of *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce leaves and in soil treated with contaminated compost and irrigation water. International Journal of Food Microbiology. 156, 133-140.

Otero M., Rozada F., Calvo L.F., García A.I., Morán A. (2003). Elimination of organic water pollutants using adsorbents obtained from sewage sludge. *Dyes and Pigments*. 57 (1): 55-65.

Pant D. & Adholeya A. (2007). Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review. *Bioresource Technology*. 98 (12): 2321-2334.

Paranhos S. B. (1987). Cana-de-açúcar, Cultivo e Utilização, Fundação CARGIL – Campinas. In: Granato, E.F. (2003). Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça. Tese de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 139 pp.

Paranychianakis, N.V., Nikolantonakis, M., Spanakis, Y., Angelakis, A.N. (2006). The effect of recycled water on the nutrient status of Soultanina grapevines grafitd on different rootstocks. *Agricultural Water Manage*. 81, 185-198.

Pathak, A., Dastidar, M. G., Sreekrishnan, T. R. (2009). Bioleaching of heavy metals from sewage sludge: A review. *Journal of Environmental Management*. 90, 2343-2353.

Pattnaik, R., Yost, R.S., Porter, G., Masunaga, T., Attanandana, T. (2007). Improving multi-soil-layer (MSL) system remediation of dairy effluent. *Ecological Engineering*. 32 (1): 1-10.

Paula, M. B., Carvalho, V. D., Nogueira, F. D. (1992). Efeitos da vinhaça na produção e qualidade da cebola em solo de baixo potencial de produtividade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 27 (3): 389-393.

Pavlova, K., Simova, E., Beshkova, D., Tamamdjiev, A., Frengova, G., Grigorova, D., (1995). Bioconversion of the lactose in whey ultrafiltrate by cultivation of *kluveromyces marxianus var lactis* MC5. In: Çinar, O., Hasar. H., Cumali, K. (2006). Modeling of submerged membrane bioreactor treating cheese whey wastewater by artificial neural network. *Journal of Biotechnology*. 123, 204-209.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcóna, J. J., Koukoulakis,P., Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture - Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*. 97, 1233-1241.

Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Manage*. 57, 175-206.

Pereira, S. Y. (2008). Environmental aspects in ethanol production related to vinasse disposal and groundwater. 33th IGC - International Geological Congress, Oslo.

Prazeres, A.R., Carvalho, F., Rivas, J., Regato, M., Caturra, J., Costa, I., Mesquita, T. (2012). Conteúdo nutricional de alface verde adubada com diferentes doses de lama proveniente do tratamento de água residual de queijo. 11^o Encontro de Química dos Alimentos (11EQA), SPQ - Sociedade Portuguesa de Química, Setembro, Bragança, Portugal.

Primavesi, A. (1985). Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. 8^o Ed. Nobel, São Paulo, 541 pp.

Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P. G., Drechsel, P. d, Bahri, A., Minhas, P. S. (2010). The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management*. 97, 561-568.

Resende, M., Curi, N., Rezende, S. B., Corrêa, G. F. (2002). *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 4^a ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 338pp.

Reuter, D.J. & Robinson, J.B. (1997). *Plant analysis: an interpretation manual*. 2th Ed. Inkata Press, Sydney, 572 pp.

Ribeiro B.T., Lima J.M., Curi N., Oliveira G.C. (2012). Electrochemical attributes of soils influenced by sugarcane vinasse. *Bioscience Journal*. 28 (1): 25-32.

Richards, L.A. (1974). *Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sódicos*, Editorial Limusa, México, 172pp.

Rivas, J., Prazeres, A. R., Carvalho, F., Beltran, F. (2010). Treatment of Cheese Whey Wastewater: Combined Coagulation-Flocculation and Aerobic Biodegradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58, 7871-7877.

Rivas, J., Prazeres, A.R., Carvalho, F. (2011). Aerobic biodegradation of precoagulated cheese whey wastewater. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59 (6): 2511-2517.

Rocha, D. G. F., Holanda, J. S., Medeiros, J.F., Alencar, R. D., Porto Filho, F. Q., Rocha, A. A. (2000). Comportamento de variedades cultivadas de melão pele de sapo submetidas às condições de salinidade. In: 10^o Congresso Brasileiro de Fruticultura, Fortaleza. Anais. Fortaleza: SBF, 1 CD-ROM.

Rodrigues, E. T. & Casali V. W. D. (1998). Respostas da alface à adubação orgânica. II Teores, conteúdos e utilização de macronutrientes em cultivares. *Revista Ceres*. 45 (261): 437-449.

Rodrigues, M. B. Vilas Boas, M. A., Sampaio, S. C., Reis, C. F. Gomes, S. D. (2011). Efeitos de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico no solo e na produtividade da alface. *Engenharia Ambiental*. 8 (3): 173-182.

Saddoud A., Hassaïri I., Sayadi S. (2007). Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresource Technology*. 98 (11): 2102-2108.

Sandri, D. Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitos cultivados com macrófita. (2003). Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 186pp.

Sandri, D., Matsura, E. E., Testezlaf, R. (2007). Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 11 (1): 17-29.

Sandri, D., Matsura, E. E., Testezlaf, R. (2006). Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. *Engenharia Agrícola*. 26 (1): 45-57.

Santana, V. S. & Machado, N. R. C. F. (2008). Photocatalytic degradation of the vinasse under solar radiation. *Catalysis Today*. 133-135, 606-610.

Sarkar, B., Chhakrabarti, P. P., Vijaykumar, A., Kale, V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries - possibility of reuse. *Desalination*. 195, 141-152.

Sato S., Sakaguchi S., Furukawa H., Ikeda H. (2006). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae*. 109 (3): 248-253.

Sawyer C.N., Mccarty P.L., Parkin G.F. (1994). *Chemistry for Environmental Engineering*. 4th Ed. McGraw-Hill, Inc. New York, United States.

Schneider, I. & Topalova, Y. (2009). Structural and functional changes in river microbial communities after dairy wastewater discharge. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 23, 1210-1216.

Schowanecka, D., Carr, R., David, H., Douben, P., Hall, J., Kirchmanne, H., Patriaf, L., Sequi, P., Smith, S., Webb, S. (2004). A risk-based methodology for deriving quality standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture - Conceptual Framework. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 40, 227-251.

Sierra-Alvarez, R. & Lettinga, G. (1990). The metanogenic toxicity of wood resin constituents. *Biological Wastes*. 33 (3): 211-226.

Silva, A. J. N., Cabeda M. S.V., Carvalho F. G. (2006). Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 10 (3): 579-585.

Silva, M. A. & Silva G. L. (1986). Utilização agrícola da vinhaça e demais efluentes líquidos. *Álcool & Açúcar*. 31, 12-14 In: Ludovice, M. T. F. (1997). Estudo do Efeito Poluente da Vinhaça Infiltrada em Canal Condutor de Terra sobre o Lençol Freático. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 143 pp.

Silva, M. A. S., Griebeler, N. P., Borges, L. C. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 11 (1): 108-114.

Silva, R. S., Jablonski, A., Morselli, T. B. G. A., Garcia, S. dos S., Kroth, P. L. I. (2000). Produção de alface cultivado em solução nutritiva com adição de substâncias húmicas, em condições de casa de vegetação. *Revista Científica Rural*. 5 (1): 13-23.

Silva G.M.A & Filho J.O. (1981). Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. *Boletim Técnico PLANALSUCAR*, Piracicaba 3 (8): 5-22.

Siso, M. I. G. (1996). The biotechnological utilization of cheese whey: a review. *Bioresource Technology*. 57, 1-11.

Soundy, P., D.J. Cantliffe, G.J. Hochmuth, P.J. Stofella. (2001). Nutrient requirements for lettuce transplants using a flotation irrigation system. I. Phosphorus. *HortScience*. 36, 1066-1070.

Souza M.E., Fuzaro G., Polegato A.R. (1992). Thermophilic Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor. *Water Science & Technology*. 25 (7): 213-222.

Stagnitti, F. (1999). A model of the effects of nonuniform soil-water distribution on the subsurface migration of bacteria: Implications for land disposal of sewage. *Math Computer Mod.* 29, 41-52.

Standard methods for the examination of water and wastewater (1995) – APHA – AWWA – WEF. 19th Edition.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998) - APHA – 20th Ed. American Public Health Association. Washington DC, USA.

Statplus (2009). Analyst Soft Inc. Vancouver, Canadá.

Trani, P. E. (2001). Hortaliças folhosas e condimentares. In: Ferreira, M. E., Cruz, M. C. P., Raji, B. V., Abreu, C. A. (Org.). *Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura*. CNPq/FAPESP/POTAFOS. Jaboticabal, São Paulo. 1, 493-510.

Trani, P. & Raji, B. V. Hortaliças. In: Raji, B. V., Cantarella, H., Quaggio, J. A., Furlani, A. M. C. (1997). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2^a ed. Campinas, Instituto Agrônômico (Boletim Técnico 100).

US EPA (1992). *Guidelines for Water Reuse*. US Agency for International Development, Technical Report No. EPA/625/R-92/004.

US EPA (2004). *Guidelines for Water Reuse*. Environmental Protection Agency, Report EPA/625/R-04/108, Washington.

Vaccari G., Tamburini E., Sgualdino G., Urbaniec K., Klemeš J. (2005). Overview of the environmental problems in beet sugar processing: possible solutions. *Journal of Cleaner Production*. 13 (5): 499-507.

Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa, Portugal.

Vidigal, S.M., Ribeiro, A.C., Casali, V.W.D., Fontes, L.E.F. (1995). Resposta da alface (*Lactuca sativa L.*) ao efeito residual da adubação orgânica. I – Ensaio de Campo. *Revista Ceres*. 42 (239): 80-88.

Vourch, M., Balannec, B., Chaufer, B., Dorange, G. (2005). Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse. *Desalination*. 172 (3): 245–256.

Wang, C., Hu, X., Chen, M., Wu, Y. (2005). Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants *Journal of Hazardous Materials*. B119, 245-249.

Warman, P.R. & Termeer, W.C. (2005). Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: yields and N, P and K content of crops and soils. *Bioresource Technology*. 96, 955-961.

Yorgun, M. S., Balcioglu, I. A., Saygin, O. (2008). Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment. *Desalination*. 229 (1-3): 204-216.

Zayas, T., Romero, V. Salgado, L., Meraz, M., Morales, U. (2007). Applicability of coagulation/flocculation and electrochemical processes to the purification of biologically treated vinasse effluent. *Separation and Purification Technology*. 57, 270-276.

Anexo I. Publicações de Resumos e Posters em Congressos

Publicação 1

OBTENÇÃO DE CORRECTIVOS ORGÂNICOS ENRIQUECIDOS EM NUTRIENTES NO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE VINHAÇA E ÁGUA RESIDUAL DE QUEIJO

Ana R. Prazeres^{1,2*}, Fátima Carvalho¹, João Lelis³, Javier Rivas² e Júnia Caturra¹

¹ Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja, Rua de Pedro Soares, Apartado 158-7801-902, Beja, Portugal.

² Departamento de Ingeniería Química y Química Física, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas S/N, 06071 Badajoz, Spain.

³ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Avenida Pádua Dias, 11 - CEP 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil.

Resumo

A reutilização de resíduos orgânicos (lamas de tratamento de águas residuais urbanas, lamas celulósicas, resíduos de matadouro e de agroindústrias, etc.) tem aumentado exponencialmente, devido ao seu valor agronómico e à sua capacidade para aumentar a qualidade e quantidade de matéria orgânica e nutrientes no solo, como azoto, fósforo, potássio, cálcio, etc. Além disso, a valorização agrícola deste tipo de resíduos apresenta-se como uma alternativa ao uso excessivo de fertilizantes químicos comerciais.

A utilização de processos químicos e/ou biológicos para a remoção de fósforo em águas residuais por conversão em uma fração sólida tem sido considerada como opção, não só para evitar a eutrofização, mas também, para o seu uso posterior como fertilizante. Este trabalho experimental pretende aplicar um tratamento eficiente em águas residuais industriais e simultaneamente obter uma lama (fração sólida) que constitua matéria-prima para a agricultura como fertilizante e/ou corretivo. Assim, aplicou-se um tratamento de precipitação química básica a duas águas residuais industriais: vinhaça e água residual de queijo, de forma a obter lamas com possível valorização agrícola. Foram constituídos 5 ensaios de tratamento para obtenção de lama a partir de vinhaça: T₀ – lamas obtidas por sedimentação natural; T₁ – lamas obtidas por precipitação a pH=10.3; T₂ – lamas obtidas por precipitação a pH=11.1; T₃ – lamas obtidas por precipitação a pH=12.2, e T₄ – lamas obtidas por precipitação a

pH=12.5. As condições básicas usadas no processo de precipitação levam à obtenção de lamas com elevado valor de pH, permitindo o seu uso como corretivo do solo.

A lama obtida por sedimentação de vinhaça apresentou teores (g kg^{-1}) de matéria orgânica, cálcio, magnésio, potássio, fósforo e sódio de 890; 24.1; 4.9; 6.0; 0.5, e 2.4, respetivamente. Os teores de sódio e magnésio nas lamas obtidas por precipitação química de vinhaça (T_1 - T_4) apresentaram uma relação linear e positiva com o pH de precipitação, com coeficiente de determinação de 0.99 e 0.91, respetivamente. Contrariamente, os teores de fósforo ($r^2= 0.90$) e matéria orgânica ($r^2=0.91$) diminuíram linearmente com o aumento do pH de precipitação. Os teores máximos de matéria orgânica, cálcio, magnésio e potássio foram obtidos nas lamas dos tratamentos T_0 , T_1 , T_3 e T_4 , respetivamente. Adicionalmente, o volume máximo de lamas foi obtido no tratamento T_4 (380 mL L^{-1} de vinhaça), sendo 81% superior ao obtido no processo de sedimentação.

A precipitação básica de água residual de queijo foi conduzida a pH=11.0. Neste caso, o volume de lamas obtido foi aproximadamente 5 vezes inferior ao obtido no tratamento de vinhaça, nas mesmas condições de operação. As lamas obtidas no tratamento de água residual de queijo apresentaram conteúdos médios (g kg^{-1}) de matéria orgânica, fósforo e azoto de 512, 5.8 e 11.2, respetivamente. Nas mesmas condições de precipitação, os teores de matéria orgânica e fósforo obtidos nas lamas de vinhaça apresentaram valores de 607 e 7.9 g kg^{-1} , respetivamente.

Os conteúdos de matéria orgânica e nutrientes das lamas obtidas no tratamento de vinhaça e água residual de queijo por precipitação química básica são condições potenciais para a sua aplicação agrícola, cobrindo as deficiências de matéria orgânica, macro e micronutrientes em solos áridos a baixo custo.

Palavras-chave: precipitação química, vinhaça, água residual de queijo, lamas, matéria orgânica e nutrientes.

OBTENÇÃO DE CORRECTIVOS ORGÂNICOS ENRIQUECIDOS EM NUTRIENTES NO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE VINHAÇA E ÁGUA RESIDUAL DE QUEIJO



Ana R. Prazeres^{1,2*}, Fátima Carvalho¹, João Lelis³, Javier Rivas² e Júnia Caturra¹

¹Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja, Rua de Pedro Soares, Apartado 158-7801-902, Beja, Portugal.

²Departamento de Ingeniería Química y Química Física, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas S/N, 06071 Badajoz, Spain.

³Departamento de Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Avenida Pádua Dias, 11 - CEP 13418-900, Piracicaba/SP, Brazil.

* E-mail address: anariaprazeres@gmail.com; ana.prazeres@ipbeja.pt



I. INTRODUÇÃO.

A reutilização de resíduos orgânicos (lamas de tratamento de águas residuais urbanas, lamas celulósicas, resíduos de matadouro e de agro-indústrias, etc.) tem aumentado exponencialmente, devido ao seu valor agronómico e à sua capacidade para aumentar a qualidade e quantidade de matéria orgânica e nutrientes no solo (Mazzarino *et al.*, 1998; Laos *et al.*, 2000), como azoto, fósforo, potássio, cálcio, etc. Além disso, a valorização agrícola deste tipo de resíduos apresenta-se como uma alternativa ao uso excessivo de fertilizantes químicos comerciais. A utilização de processos químicos (Penetra *et al.*, 1999) e/ou biológicos (Stratfal *et al.*, 1999) para a remoção de fósforo em águas residuais por conversão em uma fracção sólida tem sido considerada como opção, não só para evitar a eutrofização, mas também, para o seu uso posterior como fertilizante (de-Bashan e Bashan, 2004). Este trabalho experimental pretende aplicar um tratamento eficiente em águas residuais industriais e simultaneamente obter uma lama (fracção sólida) que constitua matéria-prima para a agricultura como fertilizante e/ou correctivo.

II. METODOLOGIA.

As águas residuais bruta foram provenientes de uma pequena empresa localizada na região geográfica do "Queijo Serpa" (Figura 1) e de uma destilaria de etanol (cana-de-açúcar) localizada no Estado de São Paulo (Brasil). Estes efluentes caracterizam-se por elevados teores de matéria orgânica, sólidos em suspensão, gorduras, salinidade e baixo valor de pH. Por outro lado, constituem fontes ricas em nutrientes como N, K, P, Cl, etc (Tabela 1). Assim, aplicou-se um tratamento de precipitação química básica a estes dois efluentes industriais: vinhaça e água residual de queijo, de forma a obter lamas com possível valorização agrícola.

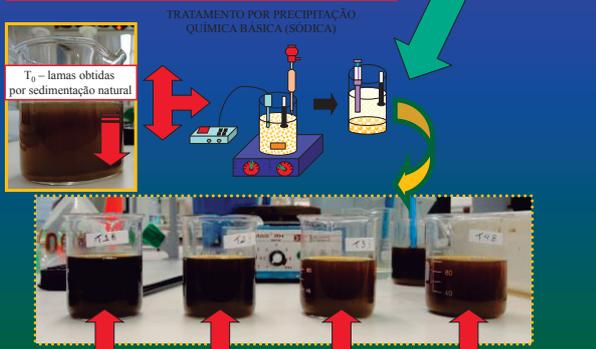


Figura 1. Localização geográfica das indústrias produtoras de "Queijo Serpa".

Tabela 1. Caracterização das águas residuais brutas.

Parâmetro	Unidades	Vinhaça	Água residual de queijo
pH	-	4.29±0.03	4.23±0.11
Condutividade	mS cm ⁻¹	8.43±0.19	12.39±1.11
Potencial redox	mV	37.1±58.2	195.6±88.9
CQO	mg L ⁻¹	31170±492	13494±4270
CBO ₅	mg L ⁻¹	15467±289	11696±962
CBO ₅ /CQO	-	0.50±0.02	1.05±0.16
Sólidos totais	g L ⁻¹	22.0±0.4	9.0±5.3
Sólidos voláteis	g L ⁻¹	14.4±0.7	4.2±4.3
Azoto Kjeldahl	mg N L ⁻¹	489.4±103.9	323.7±18.4
Azoto amoniacal	mg N L ⁻¹	46.2±0	62.9±7.3
Ca	mg L ⁻¹	605.0±63.2	117.2±6.2
Mg	mg L ⁻¹	444.1±41.8	49.2±25.8
K	mg L ⁻¹	2480.6±89.7	228.2±139.9
P	mg L ⁻¹	51.0±35.5	103.0±14.3
Na	mg L ⁻¹	151.5±8.5	1345.1±417.9
Cl	mg L ⁻¹	2335.2±254.0	2500.7±248.1

Foram constituídos 5 ensaios de tratamento para obtenção de lama a partir de vinhaça.



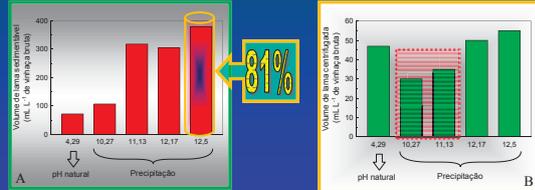
T₀ – lamas obtidas por sedimentação natural
 T₁ – lamas obtidas por precipitação a pH=10.3
 T₂ – lamas obtidas por precipitação a pH=11.1
 T₃ – lamas obtidas por precipitação a pH=12.2
 T₄ – lamas obtidas por precipitação a pH=12.5

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

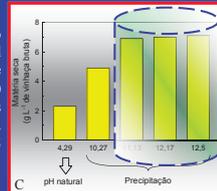
de-Bashan, L.E.; Bashan, Y. (2004) Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997-2003). *Water Res.* 38, 4222-4246.
 Laos, F.; Sam, P.; Walter, J.; Mazzarino, M.J.; Moyano, S. (2000) Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biol. Fertil. Soil* 31, 642-649.
 Mazzarino, M.J.; Laos, F.; Sam, P.; Moyano, S. (1998) Agronomic and environmental aspects of utilization of organic residues in soils of the Andean Patagonian region. *Soil Sci. Soc. Am.* 62, 105-113.
 Penetra, R.G.; Rauli, M.A.P.; Foresti, E.; Campos, J.R. (1999). Post-treatment of effluents from anaerobic reactor treating domestic sewage by dissolved air flotation. *Water Sci. Technol.* 40, 137-143.
 Stratfal, L.; Iltis, S.; Schmitt, M.R.; Lester, J.N. (1999). Biological phosphorus removal: its role in phosphorus recycling. *Environ. Technol.* 20, 491-495.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

O volume máximo de lamas foi obtido no tratamento T₄ (380 mL L⁻¹ de vinhaça), sendo 81% superior ao obtido no processo de sedimentação (Gráfico A, Figura 2). A precipitação básica de água residual de queijo foi conduzida a pH=11.0. Neste caso, o volume de lamas obtido foi aproximadamente 5 vezes inferior ao obtido no tratamento de vinhaça, nas mesmas condições de operação.



As lamas obtidas no tratamento de água residual de queijo (pH de precipitação = 11.0) apresentaram conteúdos médios (g kg⁻¹) de matéria orgânica, P e N de 512, 5.8 e 11.2, respectivamente.



Nas mesmas condições de precipitação (pH=11.0), os teores de matéria orgânica e P obtidos nas lamas de vinhaça apresentaram valores de 607 e 7.9 g kg⁻¹, respectivamente.

Figura 2. Volume de lama sedimentável, volume de lama centrifugada e matéria seca nas lamas obtidas por precipitação química básica de vinhaça.

Na figura 3 apresenta-se o efeito do pH de precipitação no teor de nutrientes das lamas obtidas no tratamento de vinhaça. Observa-se que os teores de Na e Mg (T₁-T₄) apresentaram uma relação linear e positiva com o pH de precipitação (Gráfico A), com coeficiente de determinação de 0.99 e 0.91, respectivamente. Contrariamente, os teores de P (r²= 0.90) e matéria orgânica (r²=0.91) diminuíam linearmente com o aumento do pH de precipitação (Gráfico B).

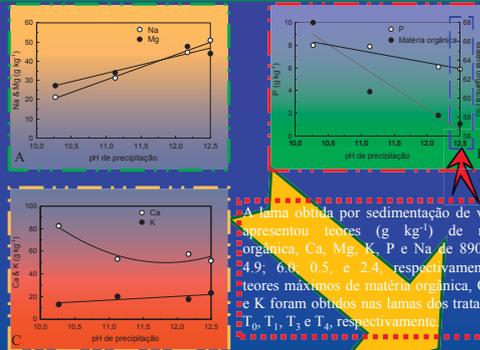


Figura 3. Efeito do pH de precipitação no teor de nutrientes das lamas obtidas no tratamento de vinhaça.

IV. CONCLUSÃO.

Os conteúdos de matéria orgânica e nutrientes das lamas obtidas no tratamento de vinhaça e água residual de queijo por precipitação química básica são condições potenciais para a sua aplicação agrícola, cobrindo as deficiências de matéria orgânica, macro e micronutrientes em solos áridos a baixo custo.

Agradecimentos: Os autores agradecem o suporte económico recebido pelo Grupo de Investigação TRATAQUAS (Espanha), Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (Bolta SFRI/BD/47559/2006), Portugal no âmbito do QREN-POPH, comparticipada pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais do MCTES. Os autores agradecem também o suporte financeiro do Laboratório de Controlo de Qualidade de Água (IPBeja - Portugal) e a cedência de alguns resíduos brutas à Universidade Gólgoteira.



Publicação 2

PRODUTIVIDADE E AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DE ALFACE VERDE IRRIGADA COM ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PROVENIENTES DAS INDÚSTRIAS DO ETANOL E DO QUEIJO

Ana R. Prazeres^{1,2*}, Fátima Carvalho¹, Javier Rivas², Mariana Regato³, João Lelis⁴, Júnia Caturra¹ e Idália Costa³

¹ Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja, Rua de Pedro Soares, Apartado 158-7801-902, Beja, Portugal.

² Departamento de Ingeniería Química y Química Física, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas S/N, 06071 Badajoz, Spain.

³ Departamento de Biociências, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja, Rua de Pedro Soares, Apartado 158-7801-902, Beja, Portugal.

⁴ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Avenida Pádua Dias, 11 - CEP 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil.

Resumo

Alguns países mediterrânicos, como Portugal, Espanha e Itália, têm graves desequilíbrios na quantidade de água, com frequentes e duradouros períodos de seca. A contaminação e a escassez de água diminuem a disponibilidade para as atividades agrícolas em detrimento das atividades prioritárias. Mundialmente, a agricultura representa 70% do consumo total de água. Assim, o uso de recursos hídricos não convencionais, tais como, águas residuais tratadas, tem vindo a ser alvo de estudos de investigação. O âmbito de aplicação de recursos não convencionais é bastante abrangente, geralmente, responde às crescentes necessidades de água, reduz a poluição dos efluentes e os custos de tratamento. Adicionalmente, beneficia os agricultores, nomeadamente, na utilização de recursos a baixo custo e, em alguns casos, minimiza as taxas de aplicação de fertilizantes.

A reutilização de água residual industrial constitui um dos principais desafios para a irrigação agrícola. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção e desenvolvimento de alface verde irrigada com duas águas residuais tratadas provenientes das indústrias do etanol e do queijo, designadas como vinhaça e água residual de queijo, respetivamente. A vinhaça e a água residual de queijo foram recolhidas de uma destilaria de etanol (cana-de-açúcar) localizada no Estado de São Paulo (Brasil) e de uma fábrica localizada na região do “Queijo Serpa” (Portugal). As águas residuais brutas apresentam propriedades ácidas e alto teor de matéria orgânica. Adicionalmente, estas águas residuais são caracterizadas por elevado conteúdo de sólidos em suspensão e gorduras. A aplicação destes efluentes tratados, por precipitação química, como fertilizantes na produção de alface não foi encontrada. Assim, foram constituídos três tratamentos com cinco repetições: T₀ – alface irrigada com água

subterrânea, T₁ – alface irrigada com vinhaça tratada e T₂ – alface irrigada com água residual de queijo tratada. Os ensaios de irrigação foram realizados em uma estufa do Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja (Portugal) durante dois meses. As plantas foram transplantadas para um substrato com as seguintes características físico-químicas: pH (H₂O)=7.66, condutividade (mS/cm)=0.90, matéria seca (%)=86.4, matéria orgânica (%)=30.4, N (g kg⁻¹)=2.5, Ca (g kg⁻¹)=9.4, Mg (g kg⁻¹)=3.7, K (g kg⁻¹)=1.14, P (g kg⁻¹)=0.19 e Na (g kg⁻¹)=0.55.

A produção total e comercializável de alface irrigada com água subterrânea foi de 22072 e 21232 kg ha⁻¹, respetivamente. Nos ensaios de irrigação com água residual tratada de vinhaça e de queijo obtiveram-se reduções na produção comercializável de 49% e 33%, respetivamente, em comparação ao T₀. No ensaio de irrigação com água residual tratada de queijo obteve-se uma produção comercializável aproximadamente 25% superior à obtida em T₁. No entanto, a acumulação de nutrientes na parte aérea da planta, relacionada com o valor nutricional da alface, apresentou o valor máximo no tratamento T₁. Assim, a matéria seca da parte aérea da planta apresentou um valor médio de 11.9%, 14.0% e 12.3% nos tratamentos T₀, T₁ e T₂, respetivamente. No que diz respeito à matéria seca da raiz obtiveram-se os seguintes valores 19.7%, 18.5% e 18.2% nos tratamentos T₀, T₁ e T₂, respetivamente.

O índice SPAD, relacionado com o teor de clorofila na folha, apresentou um incremento de aproximadamente 6.0% no tratamento T₂ comparativamente a T₀ e T₁. Adicionalmente, a irrigação com água residual tratada afetou o peso fresco da planta, obtendo-se os seguintes valores (g planta⁻¹): 128.9, 71.0 e 85.3 nos tratamentos T₀, T₁ e T₂, respetivamente. Na determinação do efeito da irrigação com água residual tratada também foram avaliados a altura da planta, o comprimento da raiz, o diâmetro do caule e da copa, a área foliar, o peso fresco e seco da parte aérea e da raiz.

Palavras-chave: Reutilização agrícola, vinhaça, água residual de queijo, alface, produção comercializável.

PRODUTIVIDADE E AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DE ALFACE VERDE IRRIGADA COM ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PROVENIENTES DAS INDÚSTRIAS DO ETANOL E DO QUEIJO

Ana R. Prazeres^{1,2*}, Fátima Carvalho³, Javier Rivas⁴, Mariana Regato³, João Lelis⁴, Júlia Caturra¹ e Idália Costa¹



¹Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja, Rua de Pedro Soares, Apartado 158-7801-902, Beja, Portugal.

²Departamento de Ingeniería Química y Química Física, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas S/N, 06071 Badajoz, Spain.

³Departamento de Biociências, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja, Rua de Pedro Soares, Apartado 158-7801-902, Beja, Portugal.

⁴Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Avenida Pádua Dias, 11 - CEP 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil.

* E-mail address: anariprazeres@gmail.com; ana.prazeres@ipbeja.pt



I. INTRODUÇÃO.

Alguns países mediterrânicos, como Portugal, Espanha e Itália, têm graves desequilíbrios na quantidade de água, com frequentes e duradouros períodos de seca (Aiello *et al.*, 2007). A contaminação e a escassez de água diminuem a disponibilidade para as actividades agrícolas em detrimento das actividades prioritárias. Mundialmente, a agricultura representa 70% do consumo total de água. Assim, o uso de recursos hídricos não convencionais, tais como, águas residuais tratadas, tem vindo a ser alvo de estudos de investigação (Hancock, 1999; Al-Lahlam *et al.*, 2003; Al-Lahlam *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2010). O âmbito de aplicação de recursos não convencionais é bastante abrangente, geralmente, responde às crescentes necessidades de água, reduz a poluição dos efluentes e os custos de tratamento. Adicionalmente, beneficia os agricultores, nomeadamente, na utilização de recursos a baixo custo e, em alguns casos, minimiza as taxas de aplicação de fertilizantes (Jiménez-Cisneros, 1995; Paranychianakis *et al.*, 2006).



A reutilização de água residual industrial constitui um dos principais desafios para a irrigação agrícola (Angelakis *et al.*, 1999). Assim, o objectivo deste trabalho foi avaliar a produção e desenvolvimento de alface verde irrigada com duas águas residuais tratadas provenientes das indústrias do etanol e do queijo, designadas como vinhaça e água residual de queijo, respectivamente.

II. MATERIAIS E MÉTODOS.

A vinhaça e a água residual de queijo foram recolhidas de uma destilaria de etanol (cana-de-açúcar) localizada no Estado de São Paulo (Brasil) e de uma fábrica localizada na região do "Queijo Serpa" (Portugal). As águas residuais brutas apresentam propriedades ácidas e alto teor de matéria orgânica. Adicionalmente, são caracterizadas por elevado conteúdo de sólidos em suspensão e gorduras.

Os ensaios de irrigação foram realizados em uma estufa do Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja (Portugal) durante dois meses. As plantas foram transplantadas para um substrato com as características físico-químicas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização do substrato.

Parâmetro	Unidades	Valor médio	Intervalo
pH ^a	Lama. água=1,2.5	7,66±0,16	7,55-7,84
Condutividade ^a	Lama. água=1,2.5	0,90±0,06	0,84-0,94
Matéria seca ^a	%	86,4±0,7	85,9-87,2
Matéria orgânica ^b	%	30,4±6,5	24,8-36,8
Azoto Kjeldahl ^b	g kg ⁻¹	2,5±1,9	0,8-4,3
Ca ^b	g kg ⁻¹	9,4±1,3	8,1-11,1
Mg ^b	g kg ⁻¹	3,7±1,2	2,7-5,1
K ^b	g kg ⁻¹	1,14±0,10	1,01-1,24
P ^b	g kg ⁻¹	0,19±0,03	0,16-0,23
Na ^b	g kg ⁻¹	0,55±0,24	0,33-0,77

Resultados após 3^o e 4^o réplicas.



III. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Na Figura 1 apresenta-se o efeito dos tratamentos na produção total e comercializável de alface verde. Nos ensaios de irrigação com água residual tratada de vinhaça e de queijo obtiveram-se reduções na produção comercializável de 49% e 33%, respectivamente, em comparação ao T₀.

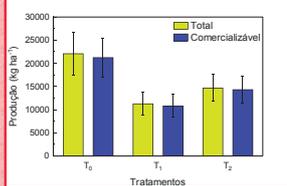


Figura 1. Efeito dos tratamentos na produção total e comercializável de alface verde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aicola, R., Ciardi, G. L., Cusani, S. (2007). "Effects of reclaimed wastewater irrigation on yield and tomato fruit: A case study in Sicily (Italy)". *Agric. Water Manage.* 91, 45-72.

Al-Lahlam, O., El-Aini, N.M., Foyad, M. (2003). "Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and concentrations of tomato fruit". *Agric. Water Manage.* 61, 51-62.

Angelakis, A.N., Mavrouli, M., Fyfe, M. (2007). "Translocation of heavy metals in tomato (*Solanum lycopersicon* L.) fruit irrigated with treated wastewater". *Sci. Hort.* 113, 290-294.

Angelakis, A.N., Mavrouli, M., Fyfe, M., Brown, J., Rivas, J. (1999). "The reuse of wastewater treated effluents in the Mediterranean basin: need for guidelines". *Water Res.* 33 (10), 2201-2217.

Carvalho, F., Rivas, J., Pereira, M., Pereira, A.S., Dantas, J. (2010). "Reuse of Sewage Sludge by Vegetables in Culture of Tomatoes: Effect on the composition of the soil". *Compos. Nacional de Rega e Drenagem, Centro Operativo de Tecnologia de Rega*. Maia, Beja, Portugal.

Hancock, R.E. (1999). "Guidelines for irrigation water quality". *Water Resour. Bull.* 35 (1), 1-9.

Jiménez-Cisneros, B. (1995). "Wastewater reuse in agriculture and its impact on soil and crop production". *Water Sci. Technol.* 32 (12), 173-180.

Paranychianakis, N.V., Vlachogiannis, M., Spandonis, S., Angelakis, A.N. (2006). "The effect of recycled water on the nutrient status of *Solanum lycopersicon* grafted on different rootstocks". *Agric. Water Manage.* 81 (1-2), 185-198.

A irrigação com água residual tratada afectou o peso fresco da planta, tendo-se obtido o valor máximo de 128,9 g planta⁻¹ no tratamento T₀ (Figura 2, Gráfico A). A matéria seca das folhas e raízes encontra-se representada no Gráfico B (Figura 2). O teor de matéria seca das folhas no tratamento de irrigação com vinhaça tratada foi aproximadamente 15% superior ao obtido no ensaio testemunha.

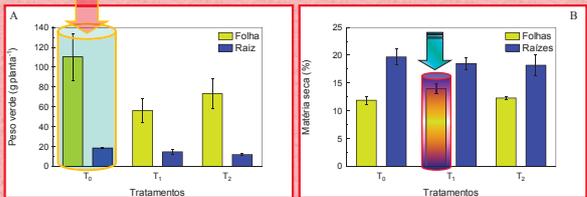


Figura 2. Efeito dos tratamentos no peso fresco e na matéria seca da planta.

O efeito dos tratamentos no índice SPAD (avaliado em dois períodos após a transplantação das plantas), comprimento da raiz, área foliar específica, diâmetro da copa e do caule encontra-se representado na Figura 3. O índice SPAD, relacionado com o teor de clorofila na folha, apresentou um incremento de aproximadamente 6% no tratamento T₂ (60 dias após a transplantação das plantas), comparativamente a T₀ e T₁. Adicionalmente, verificaram-se reduções de cerca de 16% e 12% no diâmetro da copa nos tratamentos T₁ e T₂, respectivamente, em comparação com T₀. No que diz respeito ao comprimento da raiz, diâmetro do caule e área foliar específica obtiveram-se os valores máximos no tratamento T₀.

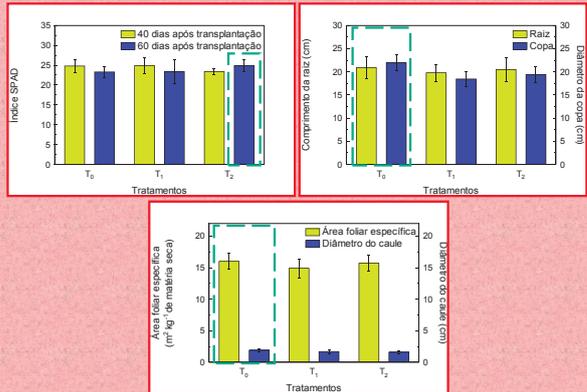


Figura 3. Efeito dos tratamentos no índice SPAD (avaliado em dois períodos após a transplantação das plantas), comprimento da raiz, área foliar específica, diâmetro da copa e do caule.

IV. CONCLUSÃO.

Nos ensaios de irrigação com água residual tratada de vinhaça e de queijo obtiveram-se reduções na produção comercializável, comparativamente ao ensaio testemunha. No ensaio de irrigação com água residual tratada de queijo obtveu-se uma produção comercializável aproximadamente 25% superior à obtida com vinhaça tratada.

A acumulação de nutrientes na parte aérea da planta, relacionada com o valor nutricional da alface, apresentou o valor máximo no tratamento de irrigação com vinhaça tratada.

AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem o suporte económico recebido pelo Grupo de investigação TRATAGUAS (Espanha), Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (bolsa SFRH/BD/47559/2008), Portugal no âmbito do QREN-POPPI, comparticipada pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais do MCTES. Os autores agradecem também o suporte financeiro do Laboratório de Controlo de Qualidade de Água (IPBeja - Portugal) e a cedência de águas residuais brutas à Quejaria Guilherme.



Utilização de águas e lamas resultantes do tratamento de efluentes de queijarias e de vinhaça no cultivo de alfaces: influência nas suas características sensoriais

Carlos Ribeiro^{a}, Fátima Carvalho^a, João Canada^a, António Almodôvar^a, Javier Rivas^b, Ana Prazeres^{ab}, João Lelis^c, Júnia Caturra^a*

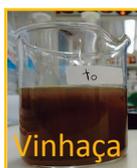
^aDepartamento de Ciências e Tecnologias Aplicadas, Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária, Beja, Portugal, ^bUniversidade de Extremadura, Badajoz, Espanha, ^cUniversidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, São Paulo, Brasil

*carlos.ribeiro@ipbeja.pt

Como parte de um estudo para avaliar a aptidão da água proveniente dos tratamentos de águas residuais de queijarias e da indústria de produção de açúcar de cana (água de vinhaça) como água de rega de alface, assim como da aptidão das lamas produzidas em cada um daqueles tratamentos para serem utilizadas como fertilizante no seu cultivo, uma variedade de alface foi cultivada nas seguintes diferentes condições: rega com água de furo local sem fertilização, funcionando as alfaces assim produzidas como controlo (T); rega com água proveniente de queijaria sem fertilização (C); rega com água de vinhaça sem fertilização (V); rega com água de furo local e fertilização com lama de tratamento de águas residuais de queijo (Q); e rega com água de furo local com fertilização com lama de vinhaça (W). As alfaces assim obtidas foram avaliadas sensorialmente através de painel treinado para o efeito e ficha de prova adequadamente elaborada incluindo os atributos “cor verde”, “tenrura”, “sabor amargo”, “paladar a alface” e “preferência” para determinar qual a influência das diferentes condições sobre as características sensoriais da alface. Os dados foram tratados recorrendo a análise de variância (Statistica[®] StaSoft, Inc. 2007). Dos resultados obtidos verificou-se não haver diferenças significativas ($p < 0,05$) entre alfaces produzidas nas diversas condições, e nomeadamente entre as alfaces T e quaisquer das outras C, Q, V e W, no que se refere às pontuações dos vários atributos utilizados na caracterização sensorial. Assim, pode concluir-se que estas águas provenientes dos tratamentos de efluentes de queijarias e de vinhaça, assim como as respectivas lamas, podem ser utilizadas com vantagem na produção de alface uma vez que não alteram as características sensoriais das mesmas.



AVALIAÇÃO DA POTENCIAL CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS DE LIXIVIAÇÃO PROVENIENTES DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS: VINHAÇA E ÁGUA RESIDUAL DE QUEIJO



Ana R. Prazeres^{a,b}, Fátima Carvalho^a, Javier Rivas^b, Mariana Regato^a, Júnia Caturra^a, Idália Costa^a, Tânia Mesquita^a

^aDepartamento de Ciências do Ambiente, Escola Superior Agrária de Beja, IPBeja, Rua de Pedro Soares, Apartado 158-7801-902, Beja, Portugal.

^bDepartamento de Ingeniería Química y Química Física, UNEX, Avenida de Elvas S/N, 06071 Badajoz, Spain.

*anaprazeres@gmail.com



I. INTRODUÇÃO.

As indústrias de laticínios e do etanol constituem fontes de efluentes com impacto ambiental negativo, como a água residual de queijo e a vinhaça, respetivamente. Estes efluentes apresentam características comuns, nomeadamente, elevado teor de salinidade, acidez, matéria orgânica, sólidos suspensos, gorduras, nutrientes.

1.1. Descrição do ensaio de irrigação

Os ensaios foram conduzidos no Centro Hortofrutícola da Escola Superior Agrária de Beja (Portugal) durante dois meses (período do Inverno), utilizando água subterrânea como ensaio testemunha (Tratamento T₀). A quantidade de água de irrigação adicionada baseou-se nas necessidades nutricionais da planta durante o seu ciclo de vida, tendo-se efetuado recolhas semanais da água de lixiviação. Os tratamentos utilizando vinhaça e água residual de queijo tratadas foram designados por T₁ e T₂, respetivamente.



2. MATERIAIS e Métodos

2.2. Caracterização do substrato

O substrato utilizado apresentou pH próximo da neutralidade e baixo valor de condutividade com cerca de 86% de matéria seca. Adicionalmente, apresenta cerca de 300 g/kg de matéria orgânica e o teor de cálcio aproximadamente 61% e 94 % superior ao de Mg e Na.

2.3. Procedimentos analíticos

O pH foi monitorizado em aparelho WTW InoLab e a condutividade foi quantificada em medidor Jenway 4510. Analisaram-se os parâmetros CQO, fósforo e azoto Kjeldahl recorrendo a métodos standards (APHA, 1998). No que diz respeito aos cloretos foram analisados pelo método Mohr. O sódio e potássio foram determinados num fotómetro de chama CORNING 410. As medições do cálcio e magnésio foram efetuadas por volumetria de complexação com EDTA na presença de indicador negro de eriocromo T e para a determinação do cálcio utilizou-se o indicador Calcon. A matéria seca/sólidos e matéria orgânica foram determinadas pelo método gravimétrico e de calcinação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

3.1. Caracterização das águas de irrigação

A vinhaça e a água residual de queijo foram recolhidas de uma destilaria de etanol localizada no Estado de São Paulo (Brasil) e de uma fábrica localizada na região geográfica do "Queijo Serpa" (Portugal), respetivamente. As águas residuais brutas foram tratadas por processos de precipitação química básica + neutralização natural, os quais permitiram a remoção parcial de matéria orgânica, sólidos, gorduras e nutrientes.

O elevado valor de salinidade da vinhaça tratada resulta, principalmente, do teor de cálcio e potássio, com valores médios de aproximadamente 2.4 g/L. Contrariamente, o sódio com valores médios de aproximadamente 1.0 g/L constitui o principal responsável pela salinidade da água residual de queijo. A carga orgânica da vinhaça, monitorizada pela CQO, é cerca de 21 vezes superior à observada na água residual de queijo, apresentando valores similares à água residual bruta de queijo quando não existe valorização de soro de queijo.

3.2. Caracterização das águas de lixiviação provenientes da irrigação com águas residuais tratadas: vinhaça e água residual de queijo

O pH da água de lixiviação proveniente da irrigação com vinhaça e água residual de queijo apresentou valor médio de 7.78 e 7.69 em comparação com 8.05 para o ensaio testemunha. Os teores de azoto exibiram valores de 29.0 e 20.9 mg/L para as águas de lixiviação provenientes da irrigação com vinhaça e água residual de queijo, respetivamente.

Os valores mais elevados de dureza total e cálcica foram obtidos no tratamento T₁ (1060.9 e 758.4 mg/L CaCO₃). O teor máximo de magnésio foi obtido no tratamento T₂. O elevado valor de condutividade apresentado pelas águas de lixiviação provenientes da irrigação com água de vinhaça tratada deve-se principalmente aos teores de potássio, cloreto e cálcio. No que se refere à salinidade da água de lixiviação proveniente da irrigação com água residual de queijo resulta principalmente dos elevados teores de cloreto, sódio e potássio.

4. CONCLUSÕES

A gestão de vinhaça e águas residuais de queijo constitui um desafio ambiental, devido à complexidade física e química das matrizes estudadas, nomeadamente o teor e tipo de matéria orgânica, presença de sólidos em suspensão e gorduras.

Agradecimentos: Os autores agradecem o suporte económico recebido pelo Grupo de investigação TRATAGUAS (Espanha), Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (bolsa SFRH/BD/47559/2008), Portugal no âmbito do QREN-POP, comparticipada pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais do MCTES. Os autores agradecem também o suporte financeiro do Laboratório de Controlo de Qualidade de Água (IPBeja - Portugal) e a cedência de águas residuais brutas à Queijaria Guilherme.



Anexo II. Ficha utilizada na prova sensorial da alface

Análise Sensorial de Alface

Nome: _____

Data ___/___/_____

Sexo: Feminino Masculino

Idade: ≤ 17 18 – 25 ≥ 26

Numa escala de 1 a 9 classifique cada uma das seguintes amostras sendo que 1 é o valor menos intenso e 9 o mais intenso.

AMOSTRA	C	Q	T	V	W
COR VERDE					
TENRURA					
SABOR AMARGO					
PALADAR A ALFACE					
A SUA PREFERÊNCIA					

Descreva algum pormenor que diferencie a (s) amostras (s):