



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

APLICAÇÃO DE OXIDAÇÃO QUÍMICA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE MATADOURO

Luís, MADEIRA¹; Flávia, FERNANDES²; Adelaide, ALMEIDA³; Fátima, CARVALHO⁴; Eliana, JERÓNIMO⁵; Ana R., PRAZERES⁶

¹ Mestrado, Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal, luis.madeira@cebal.pt

² Mestrado, Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal, flavia.fernandes@cebal.pt

³ Doutoramento, Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal, maalmeida@ipbeja.pt

⁴ Doutoramento, Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal, mfcarvalho@ipbeja.pt

⁵ Doutoramento, Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal e Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Universidade de Évora, Évora, Portugal, eliana.jeronimo@cebal.pt

⁶ Doutoramento, Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal e Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Universidade de Évora, Évora, Portugal, ana.prazeres@cebal.pt

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia de um processo de oxidação química para o tratamento de águas residuais do matadouro, para posterior descarga em meio hídrico e possibilidade de reutilização para rega. Assim, doses crescentes de oxidante (1 a 15 g L⁻¹) foram aplicadas à água residual de matadouro em estudo. Para a gama de doses de oxidante estudada, os resultados evidenciaram remoções de matéria orgânica (em termos de carência química do oxigênio (CQO) (91,0 a 97,7%)), turvação (95,1 a 98,7%), fenóis totais (65,0 a 86,5%), fósforo total (50,6 a 63,7%) e absorvâncias a 220, 254, 410 e 600 nm (45,2 a 61,4%, 42,1 a 65,7%, 42,7 a 76,7% e 97,9 a 99,4%, respetivamente). A melhor dose de oxidante a aplicar foi de 2 g L⁻¹. Para a maioria dos parâmetros físico-químicos analisados, os tratamentos testados permitiram atingir valores inferiores aos valores limite de emissão (VLE) exigidos para descarga em meio hídrico (Anexo XVIII do Decreto-Lei nº 236/98). No entanto, o teor em fósforo total dos efluentes tratados encontra-se acima do VLE, pelo que será necessário um tratamento complementar ao tratamento testado neste trabalho de forma a reduzir os níveis de fósforo total. Relativamente à reutilização do efluente tratado para rega, observou-se que perante os parâmetros estudados apenas a condutividade elétrica (CE) (2,59 a 2,81 dS m⁻¹) se encontra acima do valor máximo recomendado (VMR = 1 dS m⁻¹), o que requer condições especiais para poder ser reutilizado para rega.

Palavras-chave: Água residual de matadouro; oxidação química; matéria orgânica; fósforo total; descarga em meio hídrico; reutilização na rega

Tema: Serviços de abastecimento, drenagem e tratamento de águas



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

Para as próximas décadas está previsto o aumento da produção de carnes (ave, porco e bovina) e do número de instalações destinadas ao abate e processamento de carnes, o que resultará, inevitavelmente, numa maior produção de águas residuais a tratar e consequentemente uma maior pressão sobre o ambiente (Bustillo-Lecompte et al. 2016; Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2017).

As águas residuais de matadouro são resultantes do abate de animais e da lavagem das instalações e equipamentos. A sua produção e composição varia consoante o tipo de animal a abater, mas também com os processos empregados na indústria (Caixeta et al. 2002). Estas são caracterizadas por conterem elevadas concentrações de sólidos suspensos totais (SST) (600 a 1800 mg L⁻¹), matéria orgânica (normalmente expressa em carência química de oxigénio (CQO) (2000 a 4900 mg L⁻¹), carência bioquímica de oxigénio (CBO) (900 a 2600 mg L⁻¹) e carbono orgânico total (COT)), óleos e gorduras (200 a 800 mg L⁻¹), azoto orgânico (36 a 510 mg L⁻¹) e fósforo (Brolls e Broughton, 1981; Liu et al., 2015). Segundo Al-Mutairi et al. (2004), a matéria orgânica presente nas águas residuais de matadouro é devida principalmente ao conteúdo do rúmen (primeira cavidade do estômago dos ruminantes), fezes, gordura da pele, alimentos não digeridos, sangue, material suspenso, urina, carne solta, proteínas solúveis, e partículas. O azoto (especialmente na forma de azoto orgânico) na água residual deve-se principalmente ao sangue, urina e fezes (Del Nery et al., 2007), enquanto a presença de fósforo nas águas residuais deve-se ao sangue, estrume e produtos de limpeza e de saneamento (Del Nery et al., 2007).

Uma eventual descarga deste efluente não tratado ou tratado ineficientemente no ambiente pode causar problemas de mau cheiro, desoxigenação dos rios, poluição das águas subterrâneas e proliferação de vetores e doenças, colocando assim em risco a saúde humana e inclusive a biodiversidade da região, pelo que é extremamente importante a aplicação de um tratamento eficaz antes de ser descarregado no meio hídrico (Caixeta et al., 2002; Bustillo-Lecompte et al., 2016; Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2017). Compete à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) prevenir e controlar a poluição provocada por estes efluentes no ambiente, agindo numa primeira fase, na emissão de uma licença ambiental ao matadouro (para este poder operar), onde inclui medidas necessárias à proteção do ar, da água e do solo, e de prevenção ou redução da poluição sonora e produção de resíduos. No que respeita à produção de efluentes, na referida licença consta a identificação da natureza das águas residuais produzidas no local (ex. pluviais, doméstica e industrial), o tratamento a que são sujeitas, o destino das mesmas, bem como todas as medidas e restrições ao nível da gestão do efluente a que as indústrias estão sujeitas a cumprir para alcançar um nível elevado de proteção do ambiente (<http://ladigital.apambiente.pt/>). Entre essas medidas encontra-se a apresentação dos níveis de qualidade que o efluente deve apresentar no caso de descarga no meio hídrico, nomeadamente, os valores limite de emissão (VLE) apresentados no Decreto-Lei n.º236/98 e os valores de emissão associados à utilização das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) definidas por BREF (2005). A adoção por determinados tratamentos provém das MTD.

As licenças ambientais para matadouros podem ser consultadas no site da APA (<http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/>). Tendo como base a informação constante nas licenças

ambientais para matadouros em Portugal, apresenta-se na Tabela 1 uma compilação das sequências de tratamentos utilizadas para tratar o efluente e o respetivo destino do mesmo.

Tabela 1. Exemplos de sequências de tratamentos aplicados ao efluente industrial produzido em matadouros e respetivo destino.

Sequências de tratamentos	Destino do efluente	Fonte
Efl. → Cr. → Dr. → Dg. → H → E → LA → D	Linha de água	APA (2012)
Efl. → Cr. → Ft. → H → LA → D		APA (2016)
Efl. → Gd → H → Fc. → LA → Dc → D		APA (2011)
Efl. → Gd → Tm → Dg. → E → LA → Dc → Df → D		APA (2014)
Efl. → Gd → Tm → Dg. → Ft. → LA → Dc → D		IA (2006)
Efl. → Gd → Tm → E → Ft. → BF → D		APA (2012a)
Efl. → Gd → FR → Dg. → Ft. → BF → D		IA (2006a)
Efl. → Tm → Dg. → H → Fc. → Ft. → LA → Dc → D		APA (2013)
Efl. → Tm → Dr. → Ft. → LA → Dc → D		APA (2013a)
Efl. → Tm → H → Fc. → Ft. → LA → Dc → D		APA (2016a)
Efl. → Tm → Ft. → H → SBR → D		APA (2013b)
Efl. → Gd → Tm → Dc → LAr → Dc → Df → D	Linha de água e reutilização	APA (2008)
Efl. → FR → E → FR → H → Fc. → Ft. → LAG → D		APA (2008a)
Efl. → Gd → FR → Arj. → Dg. → Dr. → DCM	Coletor municipal	IA (2007)
Efl. → Gd → FR → Arj. → H → Fc. → Ft. → DCM		APA (2007)
Efl. → Gd → H → LA → DCM		APA (2009)
Efl. → Gd → H → Tm → LAG → DCM		APA (2011a)
Efl. → Gd → Ft. → LAG → DCM		IA (2006b)
Efl. → Gd → Tm → LAG → DCM ^a		APA (2011b)
Efl. → H → Gd → FR → H → Fc. → Ft. → DCM		APA (2013c)
Efl. → FR → Fc. → Ft. → DCM		APA (2009a)

^a É Aplicado um desengordurador entre as duas primeiras lagoas.

Legenda: Arj. – Arejamento; BF – Tratamento biológico do tipo BIOFLOT; Cr. – Crivagem; D – Descarga; Dc – Decantação; DCM – Descarga no Coletor municipal; Dg. – Desengorduramento; Df – Desinfecção; Dr. – Desarenação; E – Equalização; Efl. – Efluente; Fc. – Floculação; FR – Filtros rotativos; Ft. – Flotação com ar dissolvido; Gd – Gradagem; H – Homogeneização; LA – Lamas ativadas; LAG – Sistema de lagunagem; LAr – Lagoa de arejamento; Tm – Tamisador; SBR – Tratamento biológico num reator descontínuo sequencial (Sequencing Batch Reactor – SBR).

Na Tabela 1 observa-se que o efluente pode ser tratado totalmente ou parcialmente, caso se pretenda descarregar no meio hídrico ou no coletor municipal, respetivamente. A maioria opta por descarregar no meio hídrico (APA, 2008, 2008a, 2011, 2012, 2012a, 2013, 2013a, 2013b, 2014, 2016, 2016a; IA, 2006, 2006a)), e alguns desses casos optam também pela sua

reutilização para lavagem de zonas sujas (viaturas de transporte de animais vivos, pavimentos exteriores e órgãos da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)) e regas de espaços verdes existentes na instalação, não classificados como culturas agrícolas ou florestais (APA, 2008, 2008a). Os tratamentos aplicados consistem basicamente na remoção de sólidos grosseiros (por gradagem, tamisação ou crivagem) e óleos e gorduras (por desengorduramento), seguida da aplicação de um tratamento físico-químico (por flotação e/ou floculação) para remoção de sólidos suspensos de pequena dimensão e posteriormente aplicação de um tratamento biológico (por lamas ativadas) para remoção de matéria orgânica, azoto e fósforo, a fim de cumprir os parâmetros de descarga numa linha de água. A instalação de tanques de equalização e de homogeneização antes do tratamento biológico é característico nos sistemas de tratamento deste efluente, pois é bastante comum neste setor haver grande variabilidade na composição e quantidade de efluente produzido (Del Nery et al., 2007).

Os matadouros que optam por aplicar um pré-tratamento para posterior descarga no coletor municipal (APA, 2007, 2009, 2009a, 2011a, 2011b, 2013c; IA, 2006b, 2007) não precisam de ter um tratamento exigente, mas têm que garantir que a ETAR a jusante consiga continuar o tratamento do efluente com base em processo biológico. O seu pré-tratamento consiste principalmente na remoção de sólidos grosseiros (por gradagem, tamisação ou filtros rotativos), de óleos e gorduras e sólidos suspensos (por floculação, flotação e desengorduramento) e em alguns casos na remoção de matéria orgânica, azoto e fósforo com aplicação de tratamento biológico (lamas ativadas e lagunagem).

Ao nível da literatura, diversos tipos de tratamentos têm sido investigados, os quais podem ser agrupados em cinco grupos (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015): (i) aplicação no solo (Mittal, 2006), (ii) tratamento físico-químico (Satyanarayan et al., 2005; Amuda e Alade, 2006; Kobya et al., 2006; Nardi et al., 2008; Tariq et al., 2012; Almandoz et al., 2015), (iii) tratamento biológico (Al-Ahmady, 2005; Fongsatitkul et al., 2011; Nacheva et al., 2011; Bustillo-Lecompte et al., 2013; Martinez et al., 2014; McCabe et al., 2014), (iv) oxidação avançada (Wu e Doan, 2005; Melo et al., 2008; Bustillo-Lecompte et al., 2013) e (v) processos combinados (Bohdziewicz e Sroka, 2005; Cao e Mehrvar, 2011). Os processos combinados têm mostrado ser mais promissores no tratamento da água residual de matadouro, uma vez que envolve um conjunto de processos, que se complementam, para remover SST, matéria orgânica, óleos e gorduras, azoto, fósforo, no entanto o seu custo torna-se maior.

A oxidação química é um dos processos de tratamento que tem sido amplamente empregada no tratamento de águas e águas residuais, através da utilização de diferentes tipos de oxidante, nomeadamente peróxido de hidrogénio, ozono, dióxido de cloro, hipoclorito de sódio, e permanganato de potássio. Este processo pode funcionar como tratamento complementar aos processos de tratamento biológico, pois é capaz de degradar os poluentes recalcitrantes e tóxicos presentes no efluente (Jóźwiakowski et al., 2017). Por outro lado, o tratamento com peróxido de hidrogénio não adiciona outros contaminantes ao efluente, o que é uma grande vantagem.

O objetivo deste trabalho é estudar a tratabilidade da água residual de matadouro com aplicação de diferentes doses de um oxidante, tendo em vista a sua descarga em meio hídrico ou a sua reutilização para rega.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da água residual bruta

A água residual usada neste estudo é proveniente de um matadouro situado na região do Alentejo. Na indústria, as águas residuais de matadouro são pré-tratadas no local por gradagem, filtro rotativo, arejamento, floculação e flotação, e por fim descarregadas no coletor municipal. A água residual a analisar neste estudo apenas foi pré-tratada por gradagem, filtro rotativo e arejamento. Os parâmetros físico-químicos analisados na água residual foram: pH, condutividade elétrica (CE), CQO, turvação, fenóis totais, fósforo total, absorvâncias (220, 254, 410 e 600 nm), dureza cálcica, dureza total, cálcio, magnésio, alcalinidade à fenolftaleína, alcalinidade ao alaranjado de metilo, carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

2.2. Aplicação de oxidação química

Os ensaios experimentais de oxidação química foram iniciados com aplicação de diferentes quantidades de um oxidante (1 a 15 g L^{-1}) ao efluente bruto sob agitação. Posteriormente, o sobrenadante foi separado do precipitado. As absorvâncias características (220, 254, 410 e 600 nm), teor em fenóis totais e em fósforo total, CQO e turvação foram os parâmetros analisados nas águas residuais tratadas com oxidante.

2.3. Métodos analíticos

O pH foi avaliado por um potenciômetro Consort C861 com eletrodo de pH SenTix 41 (APHA et al., 2013). A condutividade elétrica foi medida por um condutivímetro CO3100 H (VWR). Um espectrofotômetro UV-visível (Thermo Scientific) foi utilizado para medir as absorvâncias a 220 nm (referente a compostos de baixo peso molecular), 254 nm (característico de compostos orgânicos de elevado peso molecular com alto grau de aromaticidade, elevado número de duplas e triplas ligações, e grupos fenólicos), 410 nm (característico de compostos responsáveis pela cor) e 600 nm (característico de densidade ótica de células em suspensão), bem como para medir a CQO e o fósforo total através da aplicação do método de dicromato de refluxo fechado e do método colorimétrico por ácido vanadomolibdofosfórico, respetivamente (APHA et al., 2013). O método de Folin-Ciocalteu foi utilizado para quantificar o teor de fenóis totais, usando o ácido gálico como padrão (APHA et al., 2013). A turvação foi avaliada por um turbidímetro (WTW Turb 550). O método volumétrico de complexação com EDTA foi utilizado para determinar a dureza cálcica e a dureza total, utilizando o indicador Calcon e o indicador negro de eriocromo T, respetivamente (APHA et al., 2013). A alcalinidade ao alaranjado de metilo e a alcalinidade à fenolftaleína foram analisadas por titulação de neutralização (APHA et al., 2013). Os principais componentes da alcalinidade (carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos) foram determinados por um modelo, definido por APHA et al. (2013), que tem como base a estequiometria das reações de neutralização entre os iões responsáveis pela alcalinidade e o ácido titulante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da água residual bruta

As principais características da água residual bruta são apresentadas na Tabela 2. Por comparação entre os valores dos parâmetros apresentados na Tabela 2 com os valores limite de emissão definidos para descarga (Anexo XVIII do Decreto-Lei nº 236/98), verifica-se que os parâmetros CQO e fósforo total no efluente bruto encontram-se acima do que é permitido para descarga, sendo notório a necessidade de tratamento. No caso de reutilização para rega (Anexo XVI do Decreto-Lei nº 236/98) verifica-se que perante os parâmetros analisados, apenas a condutividade elétrica ($2,96 \text{ dS m}^{-1}$) do efluente bruto encontra-se acima do valor máximo recomendado ($\text{VMR} = 1 \text{ dS m}^{-1}$) e sua reutilização vai depender da resistência das culturas à salinidade, clima, método de rega e textura do solo. Embora, não se tenha realizado análises de outros parâmetros físico-químicos (ex. SST, CBO, óleos e gorduras e azoto total) comumente utilizados na monitorização das emissões de matadouro e inclusive identificados no Decreto-Lei nº 236/98, a sua análise é imprescindível numa tomada de decisão para a descarga ou reutilização do efluente.

Tabela 2: Caracterização físico-química da água residual bruta a tratar.

Parâmetros	Unidades	Intervalo
pH	Escala Sorensen	6,70 – 7,17
CQO	$\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$	3483 – 5883
CE	dS m^{-1}	2,87 – 3,09
Cálcio	mg L^{-1}	120,3 – 173,3
Magnésio	mg L^{-1}	47,1 – 96,4
Alcalinidade Total	$\text{mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$	907,5 – 1137,3
Bicarbonatos	$\text{mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$	907,5 – 1137,3
Fósforo Total	mg L^{-1}	577,2 – 805,1
Turvação	NTU	584,6 – 948,8
Abs 220 nm	cm^{-1a}	0,138 – 0,242
Abs 254 nm	cm^{-1a}	0,065 – 0,136
Abs 410 nm	cm^{-1a}	0,030 – 0,071
Abs 600 nm	cm^{-1a}	0,016 – 0,041
Fenóis totais	$\text{mg equiv. ácido gálico L}^{-1}$	24,9 – 48,4

^a Na medição das absorvâncias foi utilizado um fator de diluição de 1:50.

3.2. Tratamento da água residual bruta por oxidação química

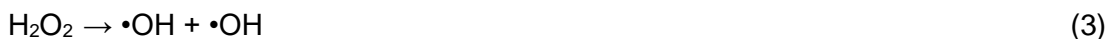
A água residual bruta de matadouro foi tratada por processos de oxidação química. Na Figura 1 apresenta-se o efeito da dose de oxidante na remoção de CQO e turvação. Para a gama de oxidante estudada ($1 \text{ a } 15 \text{ g L}^{-1}$) foram obtidas elevadas eficiências de remoção de CQO e de turvação que variaram entre 91,0 a 97,7% e 95,1 a 98,7%, respetivamente. No entanto, é com aplicação de gama entre $1 \text{ a } 3 \text{ g L}^{-1}$ de oxidante que se obtêm maiores remoções de matéria

orgânica (96,8 a 97,7%) e de turvação (98,0 a 98,7%). A remoção da matéria orgânica observada dever-se-á à ocorrência de pelo menos duas situações. No primeiro caso, a remoção pode estar relacionada com a natureza do efluente, pois o efluente que foi utilizado no tratamento apresentava sólidos facilmente sedimentáveis, e nos ensaios experimentáveis foi possível observar que sujeitando o efluente apenas a uma sedimentação prévia ao tratamento, já proporcionava uma remoção média de 73,0% de CQO e obtenção de efluente mais clarificado.

Por outro lado, a remoção de matéria orgânica está também relacionada com a ação do oxidante no efluente. Por exemplo, o peróxido de hidrogénio (H_2O_2) é um agente oxidante forte que tem na sua estrutura química dois eletrões não emparelhados, o que faz com se torne altamente reativo e com capacidade de degradar macromoléculas celulares (e.g. proteínas, lípidos e ácidos nucleicos) (Abdollahi e Hosseini, 2014). O peróxido de hidrogénio tem a capacidade de atuar diretamente sobre alguns compostos, oxidando-os parcialmente (eq. 1) ou completamente (eq. 1 e 2) (Mattos et al., 2003), ou de formar radicais livres (caracterizados por terem ainda um maior poder oxidante) na ausência (eq. 3) ou na presença de metais (eq. 4) (Woodard, 2001), convertendo os compostos orgânicos em dióxido de carbono e água por meio de um conjunto de reações que podem ocorrer (eq. 5 a 8), e inclusive oxidação de compostos inorgânicos e muitos átomos que faziam parte desses compostos originais. Os sais de metais (ex. iões de ferro) atuam como catalisadores, aumentando a eficiência do processo através da produção de radicais hidroxilo (Woodard, 2001).



onde EPO refere-se às espécies parcialmente oxidadas.



Quando se compara as remoções obtidas entre as doses de oxidante aplicadas nas gamas 1 a 3 g L⁻¹ e 4 a 15 g L⁻¹, observa-se uma menor remoção nesta última gama de doses. Esta situação pode dever-se à adição de elevadas quantidades de oxidante, que possibilita a formação de mais radicais, e os próprios radicais formados poderão atuar sobre o contaminante mas também sobre o próprio peróxido de hidrogénio, prejudicando assim a degradação da matéria orgânica. Desse modo, o peróxido de hidrogénio pode atuar como fonte de radicais livres, mas também consumir alguns desses radicais (Virkyte e Rokhina, 2010).

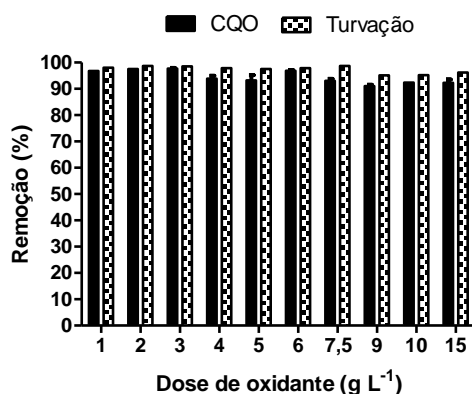


Figura 1. Efeito da dose de oxidante na remoção de CQO e turvação.

Na Figura 2 apresenta-se o efeito da dose de oxidante na remoção de fenóis totais e fósforo total. Observando a Figura 2 é possível identificar menores de remoções de fenóis para doses de oxidante de 9 a 15 g L⁻¹ comparativamente com as doses de 1 a 7,5 g L⁻¹, apresentando remoções de 65 a 68,2% e 78,9 a 86,5%, respetivamente. Woodard (2001) exemplifica a eliminação de um fenol (pentaclorofenol, C₆HCl₅O) por reação com radicais hidroxilo provenientes do peróxido de hidrogénio, dando origem a dióxido de carbono, água e ácido clorídrico. Portanto, é possível que a remoção de fenóis observada no presente trabalho se deva ao mesmo mecanismo de remoção. Mais uma vez, é de salientar a possível ocorrência de consumo de peróxido de hidrogénio por parte de radicais formados na gama de oxidante aplicada de 9 a 15 g L⁻¹, prejudicando assim a remoção de fenóis. Relativamente ao fósforo total, observa-se um ligeiro aumento da remoção de 50,6 para 60,0% na gama de doses de oxidante de 1 a 3 g L⁻¹, sendo que a partir dessa gama as remoções tenderam a manter-se entre 55,3% a 59,0, com exceção da aplicação da dose de oxidante 7,5 g L⁻¹ com remoção de 63,7%. Na literatura não foi encontrada informação quanto à influência do peróxido de hidrogénio ou seus radicais hidroxilo sobre o fósforo. No entanto, é possível que a sua remoção esteja relacionada com a sedimentabilidade de sólidos suspensos, caracterizados por constituírem matéria orgânica (como já foi anteriormente referido) e eventualmente terem na sua composição compostos de fósforo.

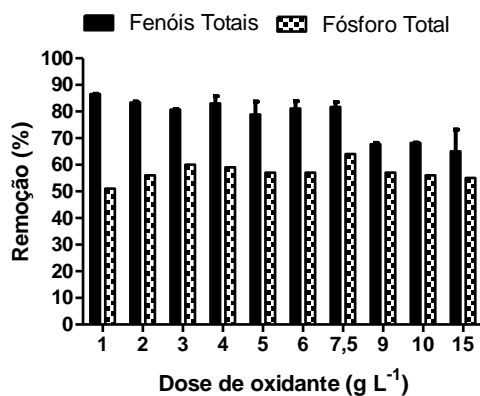


Figura 2. Efeito da dose de oxidante na remoção de fenóis totais e fósforo total.

Na Figura 3 apresenta-se o efeito da dose de oxidante aplicada na remoção das absorvâncias a 220, 254, 410 e 600 nm. As remoções de compostos de baixo peso molecular (representada pela absorvância a 220 nm), compostos orgânicos com alto grau de aromaticidade (representada pela absorvância a 254 nm), cor (representada pela absorvância a 410 nm) e densidade de tecidos celulares (representada pela absorvância a 600 nm) variaram entre 45,2 a 61,4%, 42,1 a 65,7%, 42,7 a 76,7% e 97,9 a 99,4%, respetivamente. As remoções observadas justificam-se com os mecanismos já acima identificados, designadamente a capacidade do peróxido de hidrogénio ou os radicais hidroxilo atuarem sobre compostos aromáticos e moléculas de baixo peso molecular, as quais podem eventualmente dar cor ao efluente, originando subprodutos como a água e dióxido de carbono ou moléculas parcialmente oxidadas. No entanto, é de acrescentar que era expectável elevada eficiência de remoção da absorvância a 600 nm, uma vez que o peróxido de hidrogénio é reconhecido por ser um desinfetante que destrói os microrganismos (Drinan e Spellman, 2013).

A seleção da dose de oxidante mais adequada tem em conta duas questões, por um lado a maior eficiência de remoção de todos parâmetros físico-químicos estudados e por outro o menor consumo de reagente no tratamento. Tendo em conta o que foi referido, verifica-se que a dose mais adequada de oxidante a aplicar é 2 g L^{-1} . Comparando os resultados obtidos com a aplicação desta dose de oxidante com os parâmetros definidos para a descarga no meio hídrico (Anexo XVIII do Decreto-Lei nº 236/98), verifica-se que a maioria dos parâmetros encontra-se abaixo do valores limite de emissão, com exceção do teor do fósforo total ($296,2 \text{ mg L}^{-1} > \text{VLE} = 10 \text{ mg L}^{-1}$). No caso de reutilização para rega, os valores obtidos de condutividade elétrica ($2,59$ a $2,81 \text{ dS m}^{-1}$ para a gama de doses de oxidante aplicada) encontram-se acima do VMR (1 dS m^{-1}) definido pelo Anexo XVI do Decreto-Lei nº 236/98.

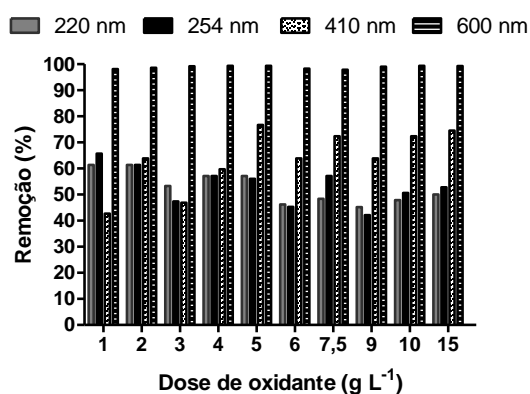


Figura 3. Efeito da dose de oxidante na remoção de absorvâncias 220, 254, 410 e 600 nm.

4. CONCLUSÃO

O processo de tratamento por oxidação química aplicado às águas residuais de matadouro permitiu atingir remoções de CQO (91,0 a 97,7%), turvação (95,1 a 98,7%), fenóis totais (65,0 a 86,5%), fósforo total (51,0 a 64,0%) e absorvâncias a 220, 254, 410 e 600 nm (45,2 a 61,4%,



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

42,1 a 65,7%, 42,7 a 76,7% e 97,9 a 99,4%, respetivamente), para a gama de doses de oxidante estudada (1 a 15 g L⁻¹). A maior eficiência de remoção foi obtida com a dose de oxidante de 2 g L⁻¹, a qual permite cumprir o VLE para a maioria dos parâmetros analisados e constantes na legislação relativa à descarga do efluente no meio hídrico (Anexo XVIII do Decreto-Lei nº 236/98), com exceção do parâmetro fósforo total (296,2 mg L⁻¹) que se encontra acima do VLE (10 mg L⁻¹). Assim, torna-se necessário a aplicação de um tratamento complementar para remoção de fósforo. No que se refere à reutilização do efluente tratado para rega (Anexo XVI do Decreto-Lei nº 236/98), contata-se que perante os parâmetros analisados e as doses de oxidante aplicadas, o efluente tratado apresenta condições para esse fim, no entanto a sua reutilização vai depender da resistência das culturas à salinidade, das condições climáticas, do método de rega e da textura do solo, uma vez que a condutividade elétrica (2,59 a 2,81 dS m⁻¹) é superior ao VMR. Por fim, há que acrescentar que não existe necessidade de aumentar a eficiência do processo com aplicação de tratamentos combinados (ex. H₂O₂/íões de ferro (processo Fenton), H₂O₂/UV e H₂O₂/ozono), uma vez que foram atingidas elevadas remoções de matéria orgânica utilizando apenas um oxidante, para além de que encareceria o tratamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Operacional Regional do Alentejo (ALENTEJO 2020, Portugal 2020) pelo co-financiamento do projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate (ALT20-03-0145-FEDER-000021), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). Os autores agradecem também ao matadouro Sapju Carnes, S.A. pela cedência das águas residuais brutas.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdollahi M., Hosseini A. (2014). Hydrogen Peroxide. In Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). Ed. P. Wexler. Academic Press. Oxford.
- Al-Ahmady K.K. (2005). Effect of organic loading on rotating biological contactor efficiency. International Journal of Environmental Research and Public Health 2 (3-4), 469-477.
- Almandoz M.C., Pagliero C.L., Ochoa N.A., Marchese J. (2015). Composite ceramic membranes from natural aluminosilicates for microfiltration applications. Ceramics International 41 (4), 5621-5633.
- Al-Mutairi N.Z., Hamoda M.F., Al-Ghusain I. (2004). Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant. Bioresource Technology 95, 115-119.
- Amuda O.S., Alade A. (2006). Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. Desalination 196 (1-3), 22-31.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2007). Licença ambiental n.º29/2007.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/SAPJU%20-%20Carnes%20-%20Centro%20de%20Abate/29_2007

%20Sapju%20-%20Centro%20de%20Abate.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2008). Licença ambiental n.º54/2008.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Santacarnes/54_2008%20Santacarnes.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2008a). Licença ambiental n.º200/2008.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Interaves%20-%20Sociedade%20agro-pecu%C3%A1ria/200_2008

%20Interaves.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2009). Licença ambiental n.º251/2009.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Matadouro%20Central%20de%20Entre%20Douro%20e%20Minho/251_2009%20Matadouro%20Central%20de%20Entre%20Douro%20e%20Minho.pdf

(acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2009a). Licença ambiental n.º257/0.0/2009.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Citaves%20-%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20Abate%20de%20Aves/257_2009%20Citaves%20-%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20Abate%20de%20Aves.pdf

(acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2011). Licença ambiental n.º402/1.0/2011.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Avipronto%20-%20Produtos%20Alimentares%20-%20Azambuja/402_1.0_2011%20Avipronto%20-%20Produtos%20Alimentares.pdf

(acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2011a). Licença ambiental n.º411/0.0/2011.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Ribasabores-Ind%C3%BAria%20de%20Carnes/411_0.1_11%20Ribacarne.pdf

(acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2011b). Licença ambiental n.º422/0.0/2011.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Incarpo%20-%20Industria%20e%20comercio%20de%20carnes/422_2011%20Incarpo%20-%20Industria%20e%20comercio%20de%20carnes.pdf

(acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2012). Licença ambiental n.º430/0.0/2012.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Avelino%20Santos%20&%20Rosa%20Braga/430_2012%20Avelino%20Santos%20&%20Rosa%20Braga.pdf

(acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2012a). Licença ambiental n.º423/1.0/2012.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Savibel%20-Sociedade%20Av%C3%ADcola/423_1.0_2012%20LA%20Savibel.pdf

(acedido a 14 de Janeiro de 2018).



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2013). Licença ambiental n.º486/0.1/2013.
http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Avisabor/LA%20486_0.1_2013%20Hil%C3%A1rio%20e%20Santos.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2013a). Licença ambiental n.º474/0.0/2013.
http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Carnes%20Landeiro/LA%20474_0.0_2013%20Carnes%20Landeiro%206.4a.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2013b). Licença ambiental n.º487/1.0/2013.
http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Lusiaves%20-%20Centro%20de%20Abate/LA%20487_1.0_2013%20Lusiaves%20-%20Centro%20de%20Abate.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2013c). Licença ambiental n.º125/1.0/2013.
http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Mapicentro/LA%20125_1.0_2013%20Mapicentro.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2014). Licença ambiental n.º519/1.0/2014.
http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Centro%20de%20Abate%20de%20Su%C3%ADnos%20do%20Oeste%20-%20CASO/LA%20519_1.0_2014%20CASO.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2016). Licença ambiental n.º252/0.1/2016.
http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Aviclasse%20-%20Produtos%20Alimentares/252_0.1_2016%20Aviclasse.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2016a). Licença ambiental n.º634/0.0/2016.
http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Carnes%20Valinho/LA%20634_0.0_2016%20Carnes%20Valinho.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

APHA, AWWA e WEF (2013). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Ed. American Public Health Association. Washington, D.C.

Bohdziewicz J., Sroka E. (2005). Integrated system of activated sludge-reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry. *Process Biochemistry* 40 (5), 1517-1523.

BREF – European Commission (2005). Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries. Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies (IPTS) http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/sa_bref_0505.pdf (acedido a 25 de Janeiro de 2018).

Brolls E.K., Broughton M. (1981). The treatment of effluents arising from the animal by-products industry. In *Food Industry Wastes: Disposal and Recovery*. Ed. A. Herzka and R.G. Booth. Applied Science Publishers. London and New Jersey, 184-203.

Bustillo-Lecompte C. F., Ghafoori S., Mehrvar, M. (2016). Photochemical degradation of an actual slaughterhouse wastewater by continuous UV/H₂O₂ photoreactor with recycle. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4, 719-732.

Bustillo-Lecompte C. F., Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of Environmental Management* 161, 287-302.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

Bustillo-Lecompte C. F., Mehrvar, M. (2017). Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic-aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: An optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. *Journal of Cleaner Production* 141, 278-289.

Bustillo-Lecompte C.F., Mehrvar M., Quinones-Bolanos E. (2013). Combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Science and Health A* 48 (9), 1122-1135.

Caixeta C. E. T., Cammarota M. C., Xavier, A. M. F. (2002). Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reactor. *Bioresource Technology* 81, 61-69.

Cao W., Mehrvar M. (2011). Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H₂O₂ processes. *Chemical Engineering Research and Design* 89 (7), 1136-1143.

Del Nery V., de Nardi I.R., Damianovic M.H.R.Z., Pozzi E., Amorim A.K.B., Zaiat M. (2007). Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. *Resources, Conservation and Recycling* 50, 102-114.

Drinan J.E., Spellman F.R. (2013). *Water and Wastewater treatment. A Guide for the Nonengineering Professional*. 2nd Ed. CRC Press. Boca Raton, FL.

Fongsatitkul P., Wareham D.G., Elefsiniotis P., Charoensuk P. (2011). Treatment of a slaughterhouse wastewater: effect of internal recycle rate on chemical oxygen demand, total Kjeldahl nitrogen and total phosphorus removal. *Environmental Technology* 32 (15), 1755-1759.

<http://ladigital.apambiente.pt/> (acedido a 22 de Janeiro de 2018)

<http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/> (acedido a 24 de Janeiro de 2018)

IA – Instituto do Ambiente (2006). Licença ambiental n.º27/2006.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Galapa%20-%20Ind%C3%BAstria%20de%20Carnes/27_2006%20LA%20Galapa.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

IA – Instituto do Ambiente (2006a). Licença ambiental n.º50/2006.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Crizaves/50_2006%20Crizaves.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

IA – Instituto do Ambiente (2006b). Licença ambiental n.º22/2006.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Comave%20do%20Z%C3%AAzere-Z%C3%AAzere/22_2006%20LA%20Comave%20do%20Z%C3%AAzere.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

IA – Instituto do Ambiente (2007). Licença ambiental n.º2/2007.

http://ladigital.apambiente.pt/6.4a/Raporal%20-%20Ra%C3%A7%C3%B5es%20de%20Portugal%20-%20Centro%20Abate/02_2007%20Raporal%20-%20Centro%20Abate.pdf (acedido a 14 de Janeiro de 2018).

Jóźwiakowski K., Marzec M., Fiedurek J., Kamińska A., Gajewska M., Wojciechowska E., Wu S., Dach J., Marczyk A., Kowalczyk-Juško A. (2017). Application of H₂O₂ to optimize ammonium removal from domestic wastewater. *Separation and Purification Technology* 173, 357-363.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

- Koby M., Senturk E., Bayramoglu M. (2006). Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials* 133 (1-3), 172-176.
- Liu Y., Kang X., Li X., Yuan Y. (2015). Performance of aerobic granular sludge in a sequencing batch bioreactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresource Technology* 190, 487-491.
- Martinez S.L., Torretta V., Minguella J.V., Sineriz F., Raboni M., Copelli S., Rada E.C., Ragazzi M. (2014). Treatment of slaughterhouse wastewaters using anaerobic filters. *Environmental Technology* 35 (3), 322-332.
- Mattos I.L., Shiraishi K.A., Braz A.D., Fernandes J.R. (2003). Peróxido de hidrogênio: importância e determinação. *Química Nova* 26 (3), 373-380.
- McCabe B.K., Hamawand I., Harris P., Baillie C., Yusaf T. (2014). A case study for biogas generation from covered anaerobic ponds treating abattoir wastewater: investigation of pond performance and potential biogas production. *Applied Energy* 114, 798-808.
- Melo R., Cabo Verde S., Branco J., Botelho M.L. (2008). Gamma radiation induced effects on slaughterhouse wastewater treatment. *Radiation Physics and Chemistry* 77 (1), 98-100.
- Mittal G.S. (2006). Treatment of wastewater from abattoirs before land application - a review. *Bioresource Technology* 97 (9), 1119-1135.
- Nacheva M.P., Pantoja R.M., Serrano L.E.A. (2011). Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Water Science and Technology* 63 (5), 877-884.
- Nardi I.R., Fuzi T.P., Del Nery V. (2008). Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. *Resources, Conservation and Recycling* 52 (3), 533-544.
- Satyanarayan S., Ramakant, Vanerkar A.P. (2005). Conventional approach for abattoir wastewater treatment. *Environmental Technology* 26 (4), 441-447.
- Tariq M., Ahmad M., Siddique S., Waheed A., Shafiq T., Khan M.H. (2012). Optimization of coagulation process for the treatment of the characterized slaughterhouse wastewater. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 55 (1), 43-48.
- Virkutyte J., Rokhina E.V. (2010). Hybrid Advanced Oxidation techniques based on cavitation for Micropollutants degradation. In *Treatment of Micropollutants in Water and Wastewater*. Ed. J. Virkutyte, V. Jegatheesan and R.S. Varma. IWA Publishing. London, UK.
- Woodard F. (2001). *Industrial Waste Treatment Handbook*. 1st Ed. Butterworth–Heinemann. USA.
- Wu J., Doan H. (2005). Disinfection of recycled red-meat-processing wastewater by ozone. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 80 (7), 828-833.