

Índice de figuras

	Pág.
Capítulo 2- Revisão Bibliográfica	
Figura 2.2.1.1- Diagrama representativo da variação das espécies do metal crómio com o valor de pH	10
Figura 2.5.2.2.1- Modelo de desenvolvimento de um biofilme, segundo O'Toole <i>et al.</i> , 2000.....	39
Figura 2.5.2.2.2- Etapas na formação de um biofilme segundo o modelo apresentado por Melo (1994) e Xavier <i>et al.</i> (2003) (Adaptado de Xavier <i>et al.</i> (2003)).....	40
Figura 2.5.3.1- Estrutura microporosa do carvão.....	44
Figura 2.5.4.1- Mecanismos de bioissorção. Em a) Classificação de acordo com a dependência em relação ao metabolismo celular, em b) Classificação de acordo com a localização do metal removido.....	46
Figura 2.5.4.2- Representação esquemática dos mecanismo de remoção de iões metálicos incluindo difusão no líquido- bioacumulação- bioissorção- difusão no biofilme; MX representa o ião metálico.....	47
Capítulo 3- Materiais e Métodos	
Figura 3.1.1- Sequência de ensaios realizados e procedimentos executados com as quatro diferentes bactérias utilizadas.....	80
Figura 3.1.2- Sequência de ensaios realizados e procedimentos executados apenas com a bactéria <i>Arthrobacter viscosus</i>	81
Figura 3.4.2.1- Bateria de erlenmeyers para determinação de equilíbrios de bioissorção.....	86
Figura 3.4.3.1.1.1- Instalação laboratorial para a realização de ensaios de bioissorção, sistema aberto.....	88
Figura 3.4.3.1.2- Instalação piloto para a realização de ensaios de bioissorção....	90
Figura 3.5.1.1- Espectrofotómetro de Absorção Atómica, VARIAN SPECTRA AA 400- GTA 96 PLUS.....	91
Capítulo 4- Resultados e Discussão	
Figura 4.1.1- Quantificação de polissacáridos ($\text{mg/g}_{\text{biosorvente}}$) efectuada para os diferentes microrganismos estudados.....	100
Figura 4.1.2- Quantificação de polímeros totais ($\text{g/g}_{\text{biosorvente}}$) efectuada para todos microrganismos estudados.....	100
Figura 4.2.1.1.1- Isotérmicas de adsorção para o crómio a 37 °C usando três diferentes biofilmes suportados em GAC.....	105

Figura 4.2.1.1.2- Aplicação de modelos de equilíbrio para a biossorção de Cr (VI) em <i>E. coli</i> suportado em GAC (— modelo, — dados experimentais).	107
Figura 4.2.1.1.3- Aplicação de modelos de equilíbrio para a biossorção de Cr (VI) em <i>B. coagulans</i> suportado em GAC (— modelo, — dados experimentais)..	108
Figura 4.2.1.1.4- Aplicação de modelos de equilíbrio para a biossorção de Cr (VI) em <i>S. equisimilis</i> suportado em GAC (— modelo, — dados experimentais)..	109
Figura 4.2.2.1.1- Valores de uptake obtidos para os ensaios em sistema aberto em função da concentração inicial de Cr (VI).....	110
Figura 4.2.2.1.2 - Curvas de breakthrough para a biossorção de Cr (VI) utilizando biofilmes de <i>B. coagulans</i> , <i>E. coli</i> e <i>S. equisimilis</i> suportados em GAC, a diferentes valores de concentração inicial de metal	111
Figura 4.2.2.1.3.- Valores de percentagem de remoção, após 10 horas de ensaio experimental, para quatro concentrações de metal e para o efluente industrial, para os três biofilmes testados.....	113
Figura 4.2.2.1.4- Imagem SEM do biofilme de <i>Bacillus coagulans</i> numa amostra de carvão retirada do reactor após 15h de ensaio. Ampliação de 5000x.....	114
Figura 4.2.2.1.5- Imagem SEM do biofilme de <i>Escherichia coli</i> numa amostra de carvão retirada do reactor após 15h de ensaio. Ampliação de 5000x.....	114
Figura 4.2.2.1.6- Imagem SEM do biofilme de <i>Streptococcus equisimilis</i> numa amostra de carvão retirada do reactor após 15h de ensaio. Ampliação de 5000x.....	115
Figura 4.2.2.2.1- Aplicação dos modelos de Adams-Bohart e de Wolbraska para diferentes concentrações de Cr (VI) à entrada da coluna. a) Biofilme de <i>E. coli</i> suportado em GAC, b) Biofilme de <i>B. coagulans</i> suportado em GAC, c) Biofilme de <i>S. equisimilis</i> suportado em GAC.....	118
Figura 4.2.2.3.1- Aplicação dos modelos de Yoon-Nelson para diferentes concentrações de Cr (VI) à entrada da coluna. a) Biofilme de <i>E. coli</i> suportado em GAC, b) Biofilme de <i>B. coagulans</i> suportado em GAC, c) Biofilme de <i>S. equisimilis</i> suportado em GAC.....	121
Figura 4.3.1.1- Isotérmica de adsorção do crómio (VI), a 28°C, usando um biofilme de <i>Arthrobacter viscosus</i> suportado em GAC.....	123
Figura 4.3.1.2- Aplicação de modelos de equilíbrio para a biossorção de Cr (VI) em <i>A. viscosus</i> suportado em GAC (— modelo, — dados experimentais).....	125
Figura 4.3.2.1.1 - Isotérmicas de adsorção para os compostos orgânicos- fenol, clorofenol e <i>o</i> -cresol, a 28 °C, usando um biofilme de <i>Arthrobacter viscosus</i> suportado em GAC.....	128

Figura 4.3.2.1.2- Aplicação de modelos de equilíbrio para a biossorção de fenol em <i>A. viscosus</i> suportado em GAC (— modelo, — dados experimentais).....	131
Figura 4.3.2.1.3- Aplicação de modelos de equilíbrio para a biossorção de clorofenol em <i>A. viscosus</i> suportado em GAC (— modelo, — dados experimentais).....	132
Figura 4.3.2.1.4- Aplicação de modelos de equilíbrio para a biossorção de o-cresol em <i>A. viscosus</i> suportado em GAC (— modelo, — dados experimentais).....	133
Figura 4.3.2.2.1- Valores de uptake para os compostos orgânicos a diferentes concentrações iniciais (10, 50, 100 mg/l) na presença de Cr (VI). O tempo dos ensaios foi de cerca de 15 h.....	135
Figura 4.3.2.2.2- Valores de uptake para os compostos orgânicos na presença de Cr (VI) a diferentes concentrações iniciais (10, 60, 100 mg/l). O tempo dos ensaios foi de cerca de 15 h.....	136
Figura 4.3.2.2.3- Valores de uptake para os compostos orgânicos e para o Cr (VI) como soluções monocomponentes. O tempo dos ensaios foi de cerca de 15 h.....	137
Figura 4.3.2.2.4- Valores de uptake para o Cr (VI) na presença de compostos orgânicos a diferentes concentrações iniciais (10, 50, 100 mg/l).....	142
Figura 4.3.2.2.5- Valores de uptake para o Cr (VI) a diferentes concentrações iniciais (10, 60, 100 mg/l) na presença de compostos orgânicos. A concentração inicial de composto orgânico foi de 100 mg/l em todos os ensaios experimentais.....	143
Figura 4.3.2.2.6- Aplicação dos modelos de Adams-Bohart e de Wolborska, para diferentes concentrações de entrada dos três compostos orgânicos.....	150
Figura 4.3.2.2.7- Aplicação dos modelos de Adams-Bohart e de Wolborska, para diferentes concentrações de entrada dos três compostos orgânicos, na presença de Cr (VI) (60 mg/l).....	151
Figura 4.3.2.2.8- Aplicação dos modelos de Adams-Bohart e de Wolborska, para diferentes concentrações de entrada de Cr (VI), em solução monocomponente ou na presença de composto orgânico (100 mg/l).....	152
Figura 4.3.2.2.9- Aplicação do modelo de Yoon e Nelson para diferentes concentrações de entrada dos três compostos orgânicos	158
Figura 4.3.2.2.10- Aplicação do modelo de Yoon e Nelson, para diferentes concentrações de entrada dos três compostos orgânicos, na presença de Cr (VI) (60 mg/l).....	159

Figura 4.3.2.2.11- Aplicação do modelo de Yoon e Nelson, para diferentes concentrações de entrada de Cr (VI), em solução monocomponente ou na presença de composto orgânico (100 mg/l)	160
Figura 4.4.1 - Curva de breakthrough para a biossorção de Cr (VI) utilizando um biofilme de <i>A. viscosus</i> suportado em GAC, para uma concentração inicial de metal de 10 mg/l. Duração do ensaio: 226 dias. Caudal de 25 ml/min (1.5 l/h)....	162
Figura 4.4.2- Teste de viabilidade do microrganismo efectuado 3 meses após o início do ensaio experimental.....	163
Figura 4.4.3- Imagem SEM duma amostra de carvão retirada do reactor após 226 dias de exposição a uma solução de crómio com uma concentração inicial de 10 mg/l. Ampliação de 1000x.....	164
Figura 4.4.4- Imagem SEM duma amostra de carvão retirada do reactor após 226 dias de exposição a uma solução de crómio com uma concentração inicial de 10 mg/l. Ampliação de 5000x. A imagem mais pequena corresponde à observação do interior da concavidade assinalado na figura (Ampliação 3000x).	165
Figura 4.4.5 - Curva de breakthrough para a biossorção de Cr (VI) utilizando um biofilme de <i>A. viscosus</i> suportado em GAC, para uma concentração inicial de metal de 100 mg/l. Duração do ensaio: 104 dias. Caudal de 25 ml/min (1.5 l/h)...	166
Figura 4.4.6- Imagem SEM duma amostra de carvão retirada do reactor após 104 dias de exposição a uma solução de crómio com uma concentração inicial de 100 mg/l. Ampliação de 1000x.....	167
Figura 4.4.7- Imagem SEM duma amostra de carvão retirada do reactor após 104 dias de exposição a uma solução de crómio com uma concentração inicial de 100 mg/l. Ampliação de 5000x.....	168
Figura 4.4.8- Análise por EDXS, efectuada a 1.0 μm , 2.9 μm e 4.8 μm de profundidade em amostras de carvão com biofilme retiradas do reactor piloto após passagem de solução de crómio a 10 mg/l. A seta indica o ião crómio.....	169
Figura 4.4.9- Análise por EDXS, efectuada a 1.0 μm , 2.9 μm e 4.8 μm de profundidade em amostras de carvão com biofilme retiradas do reactor piloto após passagem de solução de crómio a 100 mg/l. A seta indica o ião crómio.....	170
Figura 4.4.10 - Curvas de breakthrough para a biossorção de Cr (VI) utilizando um biofilme de <i>A. viscosus</i> suportado em GAC, para uma concentração inicial de metal de 100 mg/l e de 10 mg/l e para um sistema de minicolunas. Duração do ensaio: 13 h.....	170
Figura 4.4.11- Curvas de breakthrough para a biossorção de Cr (VI) utilizando um biofilme de <i>A. viscosus</i> suportado em GAC, para o tratamento dum efluente	

industrial. Duração do ensaio: 10 h.....	172
Figura 4.4.1.1.1- Comparação entre os resultados experimentais e os previstos pelos modelos de Adams-Bohart e de Wolborska, para a remoção de crómio no reactor piloto.....	173
Figura 4.4.1.1.2- Comparação entre os resultados experimentais e os previstos pelo modelo de Yoon e Nelson, para a remoção de crómio no reactor piloto.....	174
Figura 4.5.1 - Espectro FTIR obtido para a bactéria <i>B. coagulans</i> antes e após o contacto com o metal.....	177
Figura 4.5.2 - Espectro FTIR obtido para a bactéria <i>E. coli</i> antes e após o contacto com o metal.....	178
Figura 4.5.3 - Espectro FTIR obtido para a bactéria <i>S. equisimilis</i> antes e após o contacto com o metal.....	179
Figura 4.5.4 - Espectro FTIR obtido para a bactéria <i>A. viscosus</i> antes e após o contacto com o metal.....	180