



Edson Borges da Silva Neto

**BIOSSORÇÃO DE Co(II) E Ni(II) CONTIDOS EM
SOLUÇÕES AQUOSAS UTILIZANDO A CEPA
*Rhodococcus ruber***

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Maurício Leonardo Torem
Co-Orientadora: Iranildes Daniel dos Santos

Rio de Janeiro
Agosto de 2011



Edson Borges da Silva Neto

**BIOSSORÇÃO DE Co(II) E Ni(II) CONTIDOS EM
SOLUÇÕES AQUOSAS UTILIZANDO A CEPA**

Rhodococcus ruber

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Maurício Leonardo Torem

Orientador

Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio

Profa. Iranildes Daniel dos Santos

Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio

Prof. Eduardo de Albuquerque Brocchi

Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio

Profa. Denise Maria Mano Pessôa

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Profa. Mônica Regina da Costa Marques

Instituto de Química - UERJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de agosto de 2011.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Edson Borges da Silva Neto

Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco em 2004. Atuou por seis anos no mercado de trabalho em multinacionais do segmento de insumos agrícolas e como consultor técnico na área ambiental. Sendo sua experiência na área acadêmica sempre relacionando o uso de microorganismos com potencial biotecnológico e aplicabilidade ambiental.

Ficha Catalográfica

Silva Neto, Edson Borges da

Biossorção de Co(II) e Ni(II) contidos em soluções aquosas utilizando a cepa *Rhodococcus ruber* / Edson Borges da Silva Neto ; orientadores: Maurício Leonardo Torem, Iranildes Daniel dos Santos. – 2011.

136 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia de materiais – Teses. 2. Remoção. 3. Bactéria. 4. Metais pesados. 5. Tecnologia ambiental. 6. Biorremediação. I. Torem, Maurício Leonardo. II. Santos, Iranildes Daniel dos. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Materiais. IV. Título.

CDD: 620.11

Dedico a toda minha família, em especial aos meus pais Celia e Edmilson; e meu irmão Thiago que me acompanharam sempre na minha luta por um horizonte profissional de sucesso.

Agradecimentos

Aos Professores orientadores Professor Maurício Leonardo Torem e Dra. Iranildes Daniel dos Santos pela oportunidade para a realização deste curso e confiança me dando total independência para execução dos trabalhos acadêmicos relacionados a dissertação.

A Dra. Gabriela Alejandra Huáman Pino pelas considerações e aporte indispensáveis para condução e resolução dos problemas e soluções relacionadas aos trabalhos experimentais.

Ao CNPq, FAPERJ e a PUC-Rio pela concessão de bolsa de estudos, auxílio financeiro e de isenção de taxas do curso de mestrado, respectivamente.

À Professora Dra. Denise Maria Mano Pessoa por toda sua dedicação, amizade, sugestões e suporte não só profissionais, mas também deixo expresso meu agradecimento por ter me ajudado em situações pessoais nos dias de hoje raramente encontramos pessoas assim, muito obrigado!

Agradecimento ao Departamento de Química da PUC-Rio, ao Professor Doutor Reinaldo de Campos Calixto e em especial ao técnico Rodrigo Gonçalves e demais auxiliares do laboratório pela ajuda e paciência na execução das análises de amostras em Absorção Atômica.

Ao Professor Júlio Carlos Afonso do Instituto de Química da UFRJ pela concessão das análises de Espectrometria de Infravermelho. A professora Mônica Marques do Instituto de Química da UERJ também pelas análises de Infravermelho.

Agradecimento mais do que especial a Doutora Neusa de Lima Nogueira e a Bióloga e Laboratorista Mônica Lanzoni Rossi do CENA/USP por todo profissionalismo, competência e total dedicação a vida acadêmica, ficando muito grato pelo preparo e as análises das amostras de MEV e MET realizadas. Não deixando de citar o agradecimento, também especial, ao Doutor Elliott Watanabe Kitajima, Coordenador do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica Aplicada à Pesquisa Agropecuária (NAP/MEPA) na ESALQ/USP, por ceder horários nos equipamentos de Microscopia Eletrônica para realização das análises desta dissertação.

Aos professores da PUC-Rio, lotados em diversos departamentos onde obtive conhecimentos para me tornar mestre em Engenharia, na área específica de Processos e Meio Ambiente. Neste período pude concretizar uma formação sólida e diferenciada para atuar na Engenharia Ambiental.

Um agradecimento especial a todos os colegas da Casa XXI que me acompanharam nesta trajetória. Meus sinceros agradecimentos aos grandes amigos Abiatar Picoli Cardoso e Lórgio Valdiviezo por sua amizade, pelos cafés dos vários fins de tarde, pela ajuda indispensável e providencial nas horas mais difíceis, principalmente para a confecção dos resultados desta dissertação.

Finalmente não posso deixar de citar a todos familiares e amigos que torcem pela minha formação na busca por um caminho profissional brilhante num futuro próximo, prometo não decepcioná-los!

Resumo

Silva Neto, Edson Borges da; Torem, Maurício Leonardo. **Biossorção de Co(II) e Ni(II) Contidos em Soluções Aquosas Utilizando a Cepa *Rhodococcus ruber***. Rio de Janeiro, 2011. 136p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A água, recurso natural imprescindível, encontra-se cada vez mais escassa e imprópria para o consumo humano. A biossorção é uma tecnologia que utiliza diversos tipos de biomassas, entre elas microrganismos não patogênicos, como *Rhodococcus ruber*. O objetivo deste trabalho visa a remoção de Co(II) e Ni(II) presentes em soluções aquosas utilizando *R. ruber*. Estudos microbiológicos, ensaios de biossorção em batelada foram realizados para testar a eficiência da biomassa nos metais pesados Co(II) e Ni(II) através dos parâmetros: pH, concentração de biomassa e concentração do metal. A cinética da reação foi estudada e as isotermas confeccionadas. Espectrometria no infravermelho potencial zeta e microscopia eletrônica foram técnicas utilizadas para conhecimento dos elementos envolvidos no processo biossortivo. Uma remoção de 44 % de Co(II) e 36,6 % de Ni(II) da solução foi obtida em pH 6 após 180 minutos de contato em solução contendo 3 g.L⁻¹ de biomassa e 30 mg.L⁻¹ de metal. A partir da concentração de biomassa de 3 g.L⁻¹, observou-se redução na remoção do metal tanto para Co(II) quanto para Ni(II). A isoterma que melhor se ajustou no estudo em questão foi Freundlich para os dois metais. O modelo de pseudo-segunda ordem foi o mais indicado nos estudos cinéticos realizados para os íons Co(II) e Ni(II). Quando avaliados os melhores parâmetros, não foram incrementados grandes graus de remoção utilizando mais uma ou duas fases de biomassa nova na solução. O tratamento da biomassa com NaOH foi o mais eficiente elevando a remoção para 97 % de Co(II) e 89,1 % de Ni(II).

Palavras-chave

Remoção; Bactéria; Metais Pesados; Tecnologia Ambiental; Biorremediação.

Abstract

Silva Neto, Edson Borges da; Torem, Maurício Leonardo (Advisor). **Biosorption of Co(II) and Ni(II) from Aqueous Solutions Using *Rhodococcus ruber* Strain**. Rio de Janeiro, 2011. 136p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Water, essential natural resource, is becoming increasingly scarce and unfit for human consumption. The biosorption is a technology that uses various types of biomass, including nonpathogenic microorganism suchs *Rhodococcus rubber*. This study aims at the removal of Co(II) and Ni(II) present in aqueous solutions using *R. rubber*. Microbiological studies, batch biosorption test were conducted to test the efficiency of biomass in heavy metals Co(II) and Ni(II) through the pH, biomass concentration and concentration of the metal. The reaction kinetics was studie and the isotherms made. Zeta potencial, infrared spectrometry and electron microscopy techniques were used for knowledge of the elements involved microscopy techniques were used for knowledge of the elements involved in the process biosorption. A 44 % removal of Co(II) and 36.6 % Ni(II) solution at pH 6 was obtained after 180 minutes of contact in a solution containing 3 g.L⁻¹ of biomass and 30 mg.L⁻¹ of metal solution. From the concentration of biomass 3 g.L⁻¹, there was a reduction in metal removal for both Co(II) and for Ni(II). The isotherm best fit in the current study was Freundlich for the two metals. The model of pseudo-second order was the best in the kinetic studies performed for the Co(II) and Ni(II). When considering the best parameters, therewere increased levels of large removal using one or two phases of new biomass in the solution. Treatment of biomass with NaOH was the most efficient removal rising to 97 % of Co(II) and 89.1 % Ni(II).

Keywords

Removal; Bacteria; Heavy Metals; Environmental Technology; Bioremediation.

Sumário

1 Introdução	20
2 Objetivos e Relevância do Trabalho	22
2.1. Objetivo Geral	22
2.2. Objetivos Específicos	23
3 Revisão Bibliográfica	24
3.1. Metais Pesados ou Metais Tóxicos	24
3.1.1. Cobalto	26
3.1.2. Níquel	27
3.2. Métodos Convencionais de Remoção de Metais Pesados ou Tóxicos	28
3.2.1. Precipitação Química	31
3.2.2. Troca Iônica	31
3.2.3. Separação por Membranas	31
3.3. Métodos Alternativos de Remoção de Metais Pesados ou Tóxicos	32
3.4. Biossorção	33
3.4.1. Potenciais Biossorventes - Microrganismos	34
3.4.1.1. Fungos	35
3.4.1.2. Leveduras	37
3.4.1.3. Bactérias	38
3.4.2. <i>Rhodococcus ruber</i>	39
3.5. Isotermas de Adsorção	40
3.5.1. Modelo da Isoterma de Langmuir	43
3.5.2. Modelo da Isoterma de Freundlich	45
3.5.3. Modelo da Isoterma de Temkin	46
3.5.4. Modelo da Isoterma de Dubnin-Radushkevich	46
3.6. Variáveis envolvidas no Processo de Biossorção	47
3.6.1. Influência do pH	47
3.6.2. Tempo de Equilíbrio	48
3.7. Potencial Zeta	48

4 Materiais e Métodos	51
4.1. Soluções Estoque	51
4.2. Soluções de Íons Metálicos para Biossorção	51
4.3. Microorganismo Utilizado	52
4.3.1. Influência/Efeito do Meio de Cultivo no Crescimento de <i>R. ruber</i>	52
4.3.2. Manutenção, Cultivo e Quantificação de <i>R. ruber</i>	53
4.3.3. Curva de Correlação entre Número de Células x Absorbância	54
4.3.4. Curva de Crescimento de <i>R. ruber</i>	54
4.4. Caracterização da Biomassa de <i>R. ruber</i>	55
4.4.1. Cálculo da Estimativa da Área Superficial Externa da Biomassa	55
4.4.2. Preparo e Análise de Amostras em Microscopia Eletrônica de Varredura	55
4.4.3. Preparo e Análises de Amostras em Microscopia Eletrônica de Transmissão	57
4.4.4. Espectrometria por Infravermelho	57
4.4.5. Potencial Zeta	58
4.5. Preparo das Soluções para Testes de Biossorção	59
4.5.1. Efeito do pH	59
4.5.2. Efeito da Concentração de Biomassa	61
4.5.3. Determinação do Tempo de Equilíbrio	62
4.5.4. Efeito da Concentração Inicial de Metal	63
4.5.5. Tratamento da Biomassa	63
4.5.6. Efeito da Presença de Co(II) e Ni(II) na mesma Solução	64
4.6. Análise Quantitativa da Concentração dos Metais	64
5 Resultados e Discussão	66
5.1. Ensaio Microbiológicos	66
5.1.1. Crescimento de <i>R. ruber</i> em Diferentes Meios de Cultivo	66
5.1.2. Curva de Crescimento de <i>R. ruber</i>	67
5.1.3. Curva de Correlação entre Absorbância e Número de Células	69
5.1.4. Área Superficial Externa de <i>R. ruber</i>	71
5.2. Caracterização do Biossorvente – <i>R. ruber</i>	72
5.2.1. Microscopia Ótica de Luz – <i>R. ruber</i>	72
5.2.2. Microscopia Eletrônica de Varredura – <i>R. ruber</i>	73
5.2.3. Microscopia Eletrônica de Transmissão – <i>R. ruber</i>	75
5.3. Análises de Espectroscopia no Infravermelho	77

5.3.1. Análises de Espectroscopia no Infravermelho – <i>R. ruber</i> sem Tratamento	78
5.3.2. Análises de Espectroscopia no Infravermelho – <i>R. ruber</i> Tratada com NaOH	79
5.4. Determinação do Potencial - Estudos Eletrocinéticos	82
5.5. Testes de Bioissorção em Batelada	85
5.5.1. Influência do pH na Bioissorção de Co(II) e Ni(II)	85
5.5.1.1. Influência do pH na Bioissorção de Co(II)	87
5.5.1.2. Influência do pH na Bioissorção de Ni(II)	89
5.5.2. Influência da Concentração de <i>R. ruber</i> na Bioissorção de Co(II) e de Ni(II)	90
5.5.2.1. Influência da Concentração de <i>R. ruber</i> na Bioissorção de Co(II)	90
5.5.2.2. Influência da Concentração de <i>R. ruber</i> na Bioissorção de Ni(II)	92
5.5.3. Influência da Concentração Inicial de Metal na Bioissorção de Co(II) e de Ni(II)	93
5.5.3.1. Influência da Concentração Inicial de Metal na Bioissorção de Co(II)	93
5.5.3.2. Influência da Concentração Inicial de Metal na Bioissorção de Ni(II)	94
5.5.4. Influência do Tempo de Contato na Bioissorção de Co(II) e de Ni(II)	96
5.5.4.1. Influência do Tempo de Contato na Bioissorção de Co(II)	96
5.5.4.2. Influência do Tempo de Contato da Bioissorção de Ni(II)	98
5.5.5. Condições Paramétricas Utilizadas nos Experimentos de Bioissorção de Co(II) e de Ni(II)	99
5.5.6. Cinética de Bioissorção	99
5.5.6.1.	99
5.5.6.2. Cinética de Bioissorção de Co(II)	99
5.5.6.3. Cinética de Bioissorção de Ni(II)	101
5.5.7. Isotermas de Bioissorção	103
5.5.8. Isotermas de Adsorção	106
5.5.9. Bioissorção de Co(II) em Diferentes Condições Experimentais em Relação ao Bioissorvente	111
5.5.10. Bioissorção de Ni(II) em Diferentes Condições Experimentais em Relação ao Bioissorvente	114
5.5.11. Bioissorção em Sistemas Binários Co(II) e Ni(II) em Diferentes Condições Experimentais em Relação ao Bioissorvente	116
6 Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros	119
6.1. Conclusões	119

6.2. Recomendações para Trabalhos Futuros	120
Referências Bibliográficas	121

Lista de Figuras

Figura 1 - Metodologia empregada nos trabalhos de bioissorção realizados no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental da PUC-Rio.....	34
Figura 2 - Classes de Isotermas em função da concentração de equilíbrio.....	41
Figura 3 - Esquema ilustrativo dos procedimentos realizados em testes de bioissorção em batelada.	60
Figura 4 - Crescimento de <i>Rhodococcus ruber</i> em diferentes meios de cultura em função do peso seco (g.L^{-1}).	66
Figura 5 - Crescimento da bactéria <i>Rhodococcus ruber</i> em diferentes meios de cultivo – Absorbância versus Tempo (Horas).....	67
Figura 6 - Curva de crescimento da bactéria <i>Rhodococcus ruber</i> – Peso seco ($\text{g.L}^{-1} \times \text{Horas}$).....	68
Figura 7 - Curva de crescimento da bactéria <i>Rhodococcus ruber</i>	68
Figura 8 - Correlação entre a absorbância e o número de células por mL de <i>R. ruber</i>	70
Figura 9 - Microscopia Ótica de Luz de <i>R. ruber</i>	72
Figura 10 - Prancha 1* - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura da bactéria <i>R. ruber</i> e sua interação com metais Co(II) e Ni(II); A- MEV <i>R. ruber</i> sem tratamento; B – MEV de <i>R. ruber</i> + Co(II); C - MEV de <i>R. ruber</i> + Ni(II); D – MEV de <i>R. ruber</i> + Co(II) + Ni(II); E – MEV de <i>R. ruber</i> tratada com NaOH; F – MEV de <i>R. ruber</i> tratada com NaOH; G – MEV de <i>R. ruber</i> tratada com Co(II); H – MEV de <i>R. ruber</i> + Ni(II). * Todas as imagens possuem a escala de aumento de referência de 2 μm	74

- Figura 11 - Prancha 2* - Imagens de Microscopia Eletrônica de Transmissão da bactéria *R. ruber* e de sua interação com os íons metálicos Co(II) e Ni(II); A- MET *R. ruber* sem tratamento; B – MET de *R. ruber* + Co(II); C - MET de *R. ruber* + Ni(II); D – MET de *R. ruber* + Co(II) + Ni(II); E – MET de *R. ruber* tratada com NaOH; F – MET de *R. ruber* tratada com Co(II); G – MET de *R. ruber* + Ni(II); H – MET de *R. ruber* + Ni(II).*
- Todas as imagens possuem a escala de aumento a escala de referência que pode ser 1 ou 2 μm , indicado na respectiva imagem. 76
- Figura 12 - Espectros da absorção na região do infravermelho (FTIR): (A) do bioissorvente *Rhodococcus ruber* sem tratamento; (B) do bioissorvente *Rhodococcus ruber* sem tratamento + Co; (C) do bioissorvente *Rhodococcus ruber* sem tratamento + Ni. 78
- Figura 13 – (A) Espectro no Infravermelho de *R. ruber* tratada com NaOH através de espectrometria no infravermelho; (B) Espectro no Infravermelho de *R. ruber* tratada com NaOH através de espectrometria no infravermelho + Co; (C) Espectro no Infravermelho de *R. ruber* tratada com NaOH através de espectrometria no infravermelho + Ni. 80
- Figura 14 - Curva de potencial zeta de *R. ruber* (1 g.L⁻¹) sem tratamento com NaOH e após interação com os metais Co(II) e Ni(II) (30 mg.L⁻¹). 82
- Figura 15 - Curva de potencial zeta de *R. ruber* (1 g.L⁻¹) tratada com NaOH e a interação do bioissorvente com os metais Co(II) e Ni(II) (30 mg.L⁻¹). 84
- Figura 16 - Remoção e Captação de Co(II) por *R. ruber* não tratada com NaOH, em função da variação do pH (Concentração Inicial do Metal - 50 mg.L⁻¹; Concentração da Biomassa: 1,0 g.L⁻¹; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h). 87
- Figura 17 - Remoção e Captação de Ni(II) por *R. ruber* não tratada na variação do parâmetro pH. (Concentração Inicial do Metal - 50 mg.L⁻¹; Concentração da Biomassa: 1,0 g.L⁻¹; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h). 89
- Figura 18 - Remoção e Captação de Co(II) por *R. ruber* na variação do parâmetro Concentração de Biomassa (Concentração Inicial de Metal: 50 mg.L⁻¹; pH: 6,0; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h). 91

Figura 19 - Remoção e Captação de Ni(II) por <i>R. ruber</i> no processo de biossorção variando o parâmetro Concentração de Biomassa (Concentração Inicial de Metal: 50 mg.L ⁻¹ ; pH: 6,0; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h).	92
Figura 20 - Remoção e Captação de Co(II) por <i>R. ruber</i> no processo de biossorção utilizando como parâmetro de variação Concentração Inicial do Metal (pH: 6,0; Concentração da Biomassa 3 g.L ⁻¹ ; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h).	94
Figura 21 - Remoção e Captação de Ni(II) por <i>R. ruber</i> no processo de biossorção variando o parâmetro Concentração Inicial do Metal. (pH: 6,0; Concentração da Biomassa 3 g.L ⁻¹ ; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h).	95
Figura 22 - Remoção e Captação de Co(II) por <i>R. ruber</i> no processo de biossorção variando o parâmetro Tempo de Contato. (pH: 6,0; Concentração da Biomassa 3 g.L ⁻¹ ; Concentração Inicial do Metal 30 mg.L ⁻¹ e Velocidade de Agitação: 125 rpm).	96
Figura 23 - Efeito do Tempo de Contato na biossorção de Ni(II) por <i>R. ruber</i> (pH: 6,0; Concentração da Biomassa 3 g.L ⁻¹ ; Concentração Inicial do Metal 30 mg.L ⁻¹ e Velocidade de Agitação: 125 rpm).	98
Figura 24 - Modelo linear de pseudo-primeira ordem da captação de Co(II) por <i>R. ruber</i>	100
Figura 25 - Modelo linear de pseudo-segunda ordem da captação de Co(II) usando <i>R. ruber</i> como biossorvente.	100
Figura 26 - Modelo linear de pseudo-primeira ordem da captação de Ni(II) usando <i>R. ruber</i> como biossorvente.	101
Figura 27 - Modelo linear de pseudo-segunda ordem da captação de Ni(II) usando <i>R. ruber</i> como biossorvente.	102
Figura 28 - Captação do íon Co(II) por <i>R. ruber</i> em função da concentração metálica após a biossorção, modelo não linear (Concentração de Biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH: 6,0; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h).	104
Figura 29 - Captação do íon Co(II) por <i>R. ruber</i> em função da concentração metálica após a biossorção, modelo linearizado	

(Concentração de Biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH: 6,0; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h).	104
Figura 30 - Captação dos íons Ni(II) por <i>R. ruber</i> em função da concentração metálica após a bioissorção, modelo não linear (Concentração de Biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH: 6,0; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h).	105
Figura 31 - Captação dos íons Ni(II) por <i>R. ruber</i> em função da concentração metálica após a bioissorção, modelo linearizado (Concentração de Biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH: 6,0; Velocidade de Agitação: 125 rpm e Tempo de Contato: 3 h).	105
Figura 32 - Aplicação da equação de Langmuir para a bioissorção de Co(II) por <i>R. ruber</i>	106
Figura 33 - Aplicação da equação de Freundlich para a bioissorção de Co(II) por <i>R. ruber</i>	107
Figura 34 - Aplicação da equação de Tenkim para a bioissorção de Co(II) por <i>R. ruber</i>	107
Figura 35 - Aplicação da equação de Dubinin-Radushkevich para a bioissorção de Co(II) por <i>R. ruber</i>	108
Figura 36 - Aplicação da equação de Langmuir para a bioissorção de Ni(II) por <i>R. ruber</i>	108
Figura 37 - Aplicação da equação de Freundlich para a bioissorção de Ni(II) por <i>R. ruber</i>	109
Figura 38 - Aplicação da equação de Tenkim para a bioissorção de Ni(II) por <i>R. ruber</i>	109
Figura 39 - Aplicação da equação de Dubinin-Radushkevich para a bioissorção de Ni(II) por <i>R. ruber</i>	110
Figura 40 - Remoção e Captação de Co(II) por <i>R. ruber</i> no processo de bioissorção em diferentes situações experimentais (pH: 6,0; Concentração da Biomassa 3 g.L ⁻¹ ; Concentração Inicial do Metal de 30 mg.L ⁻¹ , Tempo de Contato 30 de minutos e Velocidade de Agitação: 125 rpm).	112

Figura 41 - Remoção e Captação de Ni(II) por <i>R. ruber</i> no processo de biossorção em diferentes condições experimentais, conforme descrito nos itens 1 a 4 apresentados (pH: 6,0; Concentração da Biomassa 3 g.L ⁻¹ ; Concentração Inicial do Metal de 30 mg.L ⁻¹ , Tempo de Contato de 30 minutos e Velocidade de Agitação: 125 rpm).	115
---	-----

Figura 42 - Remoção e Captação de Co(II) e Ni(II), em sistema binário de competição, por <i>R. ruber</i> no processo de biossorção em diferentes condições experimentais de biomassa e tratamento com NaOH (pH: 6,0; Concentração da Biomassa 3 g.L ⁻¹ ; Concentração Inicial do Metal de 30 mg.L ⁻¹ , Tempo de Contato de 30 minutos e Velocidade de Agitação: 125 rpm).	116
--	-----

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Limites máximos admissíveis em corpos d'água EPA versus CONAMA.....	25
Tabela 2 - Poluentes Inorgânicos e suas origens de deposição.....	26
Tabela 4 - Condições empregadas para a determinação da influência do pH no processo de bio sorção.	61
Tabela 5 - Condições empregadas para a determinação da influência da Concentração da Biomassa no processo de bio sorção.	62
Tabela 6 - Condições empregadas na determinação do tempo de equilíbrio.	62
Tabela 7 - Condições empregadas para a determinação da influência da Concentração Inicial de Metal no processo de bio sorção.	63
Tabela 8 - Relação entre diluições, número de células e absorbância de <i>R. ruber</i>	70
Tabela 9 - Processo de bio sorção relacionando diferentes biossorbentes, condições de pH e temperatura; e ajustes da isoterma de Freundlich.....	111

*Paciência e perseverança tem o efeito mágico de fazer as dificuldades
desaparecerem e os obstáculos sumirem.*

John Quincy Adams