



Leonardo Martins da Silva

**Remoção de Cu e Co contido em soluções aquosas por
Biossorção**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Maurício Leonardo Torem

Rio de Janeiro
Agosto de 2010



Leonardo Martins da Silva

Remoção de Cu e Co contido em soluções aquosas por Biossorção

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

Prof. Maurício Leonardo Torem

Orientador

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC - Rio

Prof. Iranildes Daniel dos Santos

Departamento de Engenharia dos Materiais – PUC - Rio

Prof. Achilles Junqueira Bourdot Dutra

COPPE/ UFRJ – PEMM

Prof. Gabriela Huaman Pino

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC - Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador (a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC – Rio

Rio de Janeiro, 25 de agosto de 2010.

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

Leonardo Martins Da Silva

Graduou-se em Química Industrial na Universidade Severino Sombra em Vassouras/RJ em 2006.

Ficha Catalográfica

Da Silva, Leonardo Martins.

Remoção de Co e Cu de solução aquosa por Biossorção e Bioflotação/Leonardo Martins da Silva; orientador: Maurício Leonardo Torem – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Engenharia dos Materiais, 2010.

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

Dissertação (Mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, 2010.

Incluí bibliografia.

1. Engenharia dos Materiais – Dissertação. 2. *Rhodococcus opacus*. 3. Metais pesados. 4. Biossorção. 5.. I. Torem, Maurício Leonardo. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia dos Materiais IV. Título.

CDD: 620.11

Em memória de meu pai,
Anacleto da Silva.

Agradecimentos

Ao orientador Professor: Maurício Leonardo Torem e a grande colaboradora Doutora Gabriela Huaman Pino pelo apoio e confiança depositados durante a realização deste trabalho.

A CAPES, ao CNPq e a PUC-Rio pelo auxílio financeiro concedido.

Aos técnicos, do laboratório de absorção atômica ICP/OES pelas análises realizadas.

Ao Professor Ulisses Casado Lins do Departamento de Ciências e Saúde CCS/UFRJ e a Dra. Karen Tavares.

Aos meus amigos, professores, pesquisadores e funcionários do Departamento de Engenharia dos Materiais da PUC-Rio, pelos ensinamentos e valiosas sugestões durante a realização deste trabalho.

Resumo

Silva, Leonardo Martins; Torem, Maurício Leonardo. **Avaliação da Remoção de Co e Cu de solução aquosa por Biossorção.** Rio de Janeiro, 2010, 132p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho, foi avaliada a capacidade de biossorção dos metais pesados, cobre e cobalto, utilizando como material biossorvente a biomassa bacteriana *Rhodococcus opacus* uma espécie microbiana de natureza não patogênica pertencente ao gênero *Rhodococcus*. Durante o processo de biossorção foram estudados vários parâmetros operacionais como: o pH da solução, a concentração de biomassa, o tempo de contato, e a concentração inicial do metal. O processo de avaliação feita em relação ao pH indicou uma melhor remoção no valor de pH 6 para o Cobre e valor de pH 7 para o Cobalto. Com o pH estabelecido estudou-se as concentrações iniciais das espécies metálicas na faixa de 5 a 200 mg.L⁻¹ Sendo obtido um melhor resultado com a concentração inicial 5 mg.L⁻¹ para o metal cobalto e 15 mg.L⁻¹ para o metal cobre. Logo em seguida foi avaliada a concentração inicial de biomassa numa faixa de 0,5 g.L⁻¹ a 3,5 g.L⁻¹ sendo a melhor porcentagem de remoção durante a concentração de biomassa de 3 g.L⁻¹. Paralelamente foi avaliada a eficiência do processo de biossorção, após a realização de um pré-tratamento na biomassa com hidróxido de sódio 0,1M. Os resultados foram mostrados em gráficos de porcentagem de remoção e captação. Os dados correspondentes à capacidade de captação do *R. opacus* em função da concentração dos íons metálicos foram bem ajustados ao modelo da isoterma de Langmuir obtendo-se um R² de 0,9986 para o Co²⁺ e 0,9783 para o Cu²⁺. Em relação ao tempo de adsorção verificou-se uma rápida adsorção dada em 1 minuto de contacto da biomassa com íon metálico, na qual ajustou ao modelo cinético de pseudo segunda ordem. As características da superfície do micro-organismo e os possíveis mecanismos de interação envolvidos na biossorção dos metais pesados pela biomassa bacteriana *R. opacus*, foram avaliadas com base em medições de potencial zeta, análise por espectrometria no infravermelho e análise de

micrografias obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Palavras-chave

Rhodococcus opacus; bioissorção; cobalto; cobre.

Abstract

Silva, Leonardo Martins; Torem, Maurício Leonardo (Advisor). **Evaluation of the removal of co and cu from aqueous solution by biosorption.** Rio de Janeiro, 2010, 132p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this study, was evaluated the biosorption capacity of heavy metals, copper and cobalt, using a bacterial biomass *Rhodococcus opacus* as biosorbent microbial a species of non-pathogenic nature of the genus *Rhodococcus*. During the process of biosorption were evaluated various operating parameters as: The pH of the solution, biomass concentration, contact time and initial metal concentration. The process of evaluation made in relation to the pH indicated a better removal at pH 6 and pH 7 for Copper and Cobalt. With the established pH were evaluated the initial concentrations of metal species in the range from 500 to 200 mg.L⁻¹ after were evaluated the initial biomass concentration from 0.5 to 3.5g.L⁻¹ being the best percentage of removal occurring in the biomass concentration of 3g.L⁻¹. In parallel were evaluated the efficiency of the biosorption process after the completion of a pre-treatment with sodium hydroxide 0.1M The results were shown in graphs of percentage removal and uptake. The corresponding data to the uptake capacity of *R. opacus* depending on the concentration of metal ions were well fitted to the model of the Langmuir isotherm to yield an R² of 0.9986 and 0.9783 for metals copper and cobalt. Regarding the adsorption time there was a rapid adsorption in which we indicated a kinetic model of pseudo second order. The surface characteristics of microorganisms and the possible interaction mechanisms involved in heavy metal sorption by *R.opacus* were evaluated based on measurements of zeta potential, analysis by infrared spectrometry and analysis in a scanning electron microscope (SEM).

Keywords

Rhodococcus opacus; biosorption; cobalt; copper

Sumário

1	Introdução	20
2	Objetivos e Relevância do Trabalho	22
2.1.	Objetivo Geral	22
2.2.	Objetivos Específicos	22
3	Revisão Bibliográfica	24
3.1.	Cobre	24
3.1.1.	Obtenção e utilização do Cobre	25
3.2.	Cobalto	29
3.2.1.	Obtenção e utilização do Cobalto	30
3.3.	Efluentes contendo Cobalto e Cobre	32
3.4.	Processos biotecnológicos	34
3.5.	Técnicas de remoção de metais	36
3.5.1.	Precipitação química	37
3.5.2.	Flotação	39
3.5.3.	Filtração por membrana	40
3.5.4.	Troca iônica	43
3.5.5.	Mecanismos de biossorção	45
3.6.	Fatores que influenciam no processo de biossorção	48
3.6.1.	pH	49
3.7.	Concentração de biomassa	49
3.7.1.	Temperatura	50
3.8.	Estrutura bacteriana	51
3.9.	Adsorção	52
3.9.1.	Isotermas de adsorção	53
3.9.2.	Isoterma de Freundlich	54
3.9.3.	Isoterma de Langmuir	55
3.10.	Cinética da Sorção	56
3.11.	Potencial zeta	57

4 Materiais e Métodos	59
4.1. Procedência e preparo da biomassa	59
4.2. Pré tratamento da biomassa	60
4.3. Experimentos de Biossorção em Batelada	60
4.4. Análise Quantitativa da Concentração dos Metais	61
4.5. Efeito do pH	61
4.5.1. Efeito da Concentração de Biomassa	62
4.5.2. Efeito da Concentração inicial de Metal	64
4.5.3. Determinação do Tempo de Equilíbrio	65
4.5.4. Efeito da temperatura no processo de biossorção	65
5 Resultados e Discussão	66
5.1. Estudos Electrocinéticos	66
5.2. Influência do pH nos processos de adsorção do íon Cu^{2+}	68
5.3. Influência do pH nos processos de adsorção do Cobalto	73
5.4. Efeito da Concentração inicial da Biomassa R opaccus no processo de biossorção	78
5.5. Efeito da concentração de íons metálicos no processo de biossorção	83
5.5.1. Cobre	83
5.5.2. Cobalto	86
5.5.3. Efeito da temperatura para a sorção dos metais	88
5.6. Perfil do tempo para a sorção dos metais	95
5.7. Isotermas de adsorção	100
5.7.1. Modelos de Isoterma de Adsorção	102
5.8. Caracterização do Material Biosorvente	111
5.8.1. Caracterização por Espectroscopia de Infravermelho	111
5.8.2. Caracterização por Microscopia eletrônica de Varredura	115
6 Conclusões e Recomendações para trabalhos futuros	120
6.1. Conclusões	120
6.2. Recomendações para trabalhos futuros	122

7 Referências Bibliografica 123

Anexos 132

Lista de figuras

Figura 1 – Porcentagem do uso de cobre nos Estados Unidos. (Salaza, e McNutt, 2010).	26
Figura 2 – Porcentagem de exportação de Cobre realizado pelo Brasil. (fonte: Anuário estatístico brasileiro, 2005).	28
Figura 3 – Porcentagem do uso de Co nos Estados Unidos. (Salaza e McNutt.,2010)	30
Figura 4 – Porcentagem de exportação de Co Realizado pelo Brasil em 2005. (Fonte: Anuário estatístico brasileiro, 2005)	31
Figura 5 – Mecanismo de adsorção bacteriana.	47
Figura 6 – Componentes da parede bacteriana gram positiva e gram negativa. (K. Vijayaraghavan e yeoung-sang yun.,2008)	52
Figura 7 – Estrutura da dupla camada elétrica. (adaptado Pino., 2007)	58
Figura 8 – Potencial Zeta das células <i>R. opacus</i> (0.3 g.L ⁻¹); influência do pH da solução em presença de metais (100 mg.L ⁻¹)	67
Figura 9 – Diagrama de Predominância de Cu ⁺² em função do pH (20 mg.L ⁻¹),	69
Figura 10 – Diagrama de Especificação das espécies de Cu ²⁺ presente numa concentração de 20 mg.L ⁻¹ em função do pH.	70
Figura 11 – Gráfico do pH de precipitação da espécie Cu ²⁺ (20 mg.L ⁻¹).	71
Figura 12 – Efeito do pH na biossorção de Cu ²⁺ por <i>R. opacus</i> (concentração inicial de metal: 20 mg.L ⁻¹ ; concentração de biomassa 1g.L ⁻¹ ; velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contato: 3 h).	71
Figura 13 – Efeito do pH na biossorção de Cu ²⁺ por <i>R. opacus</i> pré	

- tratada com NaOH (concentração inicial de metal: 15 mg.L⁻¹; concentração de biomassa 3g.L⁻¹; velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contato: 3 h). 72
- Figura 14 – Predominância de Co²⁺ em função do pH (20 mg.L⁻¹), 74
- Figura 15 – Diagrama de predominância Log C de Cu (20 mg.L⁻¹) em função do pH. 74
- Figura 16 – Gráfico do pH de precipitação do Cu²⁺ (20 mg.L⁻¹); 75
- Figura 17 – Efeito do pH na biossorção de Co²⁺ pela biomassa *R. Opacus* (concentração inicial de metal: 20 mg.L⁻¹; concentração de biomassa: 1,0 g.L⁻¹; velocidade de agitação: 150 rpm; tempo de contato: 4h). 75
- Figura 18 – Efeito do pH na biossorção de Co²⁺ pela biomassa *R. Opacus* pré tratada com NaOH (concentração inicial de metal: 20 mg.L⁻¹; concentração de biomassa: 1,0 g.L⁻¹; velocidade de agitação: 150 rpm; tempo de contato: 4h). 77
- Figura 19 – Efeito da Concentração de Biomassa *R. opacus* na biossorção de Cu²⁺ (concentração inicial de metal: 15 mg.L⁻¹; pH: 6,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contato: 3 h). 79
- Figura 20 – Efeito da Concentração de Biomassa na biossorção de Cu²⁺ pela biomassa *R. opacus* pré tratada com NaOH (concentração inicial de metal:15 mg.L⁻¹; pH: 6,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contato: 3 h). 80
- Figura 21 – Efeito da Concentração de Biomassa *R opacus* na biossorção de Co²⁺ (concentração inicial de metal: 15 mg.L⁻¹; pH:7.0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contato: 3h). 81
- Figura 22 – Efeito da Concentração de Biomassa na biossorção de Co²⁺ pela biomassa *R. opacus* pré tratada com NaOH (concentração inicial de metal: 5 mg.L⁻¹; pH: 7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contato:

3h).	81
Figura 23 – Efeito da concentração do metal na bioissorção do íon Cu^{2+} pela biomassa <i>R. opacus</i> (concentração de biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH:6,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3h).	83
Figura 24 – Efeito da concentração do metal na bioissorção do íon Cu^{2+} pela biomassa <i>R.opacus</i> (concentração de biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH:6,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3 h).	85
Figura 25 – Efeito da concentração do metal na bioissorção do íon Co^{2+} pela biomassa <i>R.opacus</i> (concentração de biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3 h).	86
Figura 26 – Efeito da concentração do metal na bioissorção do íon Co^{2+} pela biomassa <i>R.opacus</i> pré tratada (concentração de biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3 h).	87
Figura 27 – Efeito da temperatura na bioissorção do íon Co^{2+} pela biomassa <i>R.opacus</i> (Temperatura 35°C concentração de biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3 h).	89
Figura 28 – Efeito da temperatura na bioissorção do íon Cu^{2+} pela biomassa <i>R.opacus</i> (Temperatura 35°C concentração de biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH:6,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3 h).	90
Figura 29 – Efeito da temperatura na bioissorção do íon Co^{2+} pela biomassa <i>R. opacus</i> (Temperatura 45°C concentração de biomassa: 3 g.L-1; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3h).	91
Figura 30 – Efeito da temperatura na bioissorção do íon Cu^{2+} pela biomassa <i>R.opacus</i> (Temperatura 45°C concentração de biomassa: 3 g.L ⁻¹ ; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3h).	91

- Figura 31 – Efeito da temperatura na biossorção do íon Cu^{2+} pela biomassa *R.opacus* (Temperatura 45°C concentração de biomassa: 3 g.L⁻¹; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3h). 92
- Figura 32 – Efeito da temperatura na biossorção do íon Co^{2+} pela biomassa *R.opacus* (Temperatura 45°C concentração de biomassa: 3 g.L⁻¹; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contacto: 3h). 93
- Figura 33 – Efeito do tempo na biossorção do íon Co^{2+} pela biomassa *R.opacus* (Concentração de íon 15 mg.L⁻¹ concentração de biomassa: 3 g.L⁻¹; pH:7,0 velocidade de agitação: 125 rpm;). 95
- Figura 34 – Efeito do tempo na biossorção do íon Cu^{2+} pela biomassa *R.opacus* (Concentração de íon 15 mg.L⁻¹ concentração de biomassa: 3 g.L⁻¹; pH:6,0 velocidade de agitação: 125 rpm;). 96
- Figura 35 – O gráfico de pseudo primeira ordem linearizada para a biossorção de íons Cu^{2+} pela biomassa *R.opacus* (pH 6,0, concentração de biomassa: 3,0 g.L⁻¹; taxa de agitação: 125 rpm). 97
- Figura 36 – O gráfico de pseudo primeira ordem linearizada para a biossorção de íons Co^{2+} pela biomassa *R.opacus* (pH 6,0, concentração de biomassa: 3,0 g.L⁻¹; taxa de agitação: 125 rpm). 98
- Figura 37 – O gráfico de pseudo segunda ordem linearizada para a biossorção de Cu^{2+} íons na *R.opacus* (pH 6,0, concentração de biomassa: 3,0 g.L⁻¹; taxa de agitação: 125 rpm). 98
- Figura 38 – O gráfico de pseudo segunda ordem linearizada para a biossorção de Co^{2+} íons na *R.opacus* (pH 7,0, concentração de biomassa: 3,0 g.L⁻¹; taxa de agitação: 125 rpm). 99
- Figura 39 – Efeito da Captação de Co^{2+} em função da variação

- da concentração de Co^{2+} por *R.opacus* (pH: 7.0 e 125 rpm; tempo de contato: 3 h). 101
- Figura 40 – Efeito da Captação de Cu^{2+} na variação da concentração de Cu^{2+} por *R.opacus* (pH: 6.0 ; velocidade de agitação: 125 rpm; tempo de contato: 3 h). 102
- Figura 41 – Gráfico da isoterma de Langmuir linearizada para a biossorção de Co^{2+} (pH 7,0, concentração de biomassa: $3,0 \text{ g.L}^{-1}$ taxa de agitação: 125 rpm) 103
- Figura 42 – Gráfico da isoterma de Langmuir linearizada para a biossorção de Cu^{2+} (pH 6,0, concentração de biomassa: $3,0 \text{ g.L}^{-1}$ taxa de agitação: 125 rpm) 104
- Figura 43 – Gráfico da isoterma de Frenlich linearizada para a biossorção de Co^{2+} (pH 7,0, concentração de biomassa: $3,0 \text{ g.L}^{-1}$ taxa de agitação: 125 rpm) 108
- Figura 44 – Gráfico da isoterma de Frenlich linearizada para a biossorção de Cu^{2+} (pH 6,0, concentração de biomassa: $3,0 \text{ g.L}^{-1}$ taxa de agitação: 125 rpm) 109
- Figura 45 – Espectro de infravermelho na concentração de 5 e 50 mg.L^{-1} para ambos os metais Cu^{2+} e Co^{2+} 113
- Figura 46 – Microfotografias do Microscópio Eletrônico de Varredura da biomassa in natura. pH do meio aquoso: 7; concentração de *R. opacus*: 3 g.L^{-1} ; tempo de contato de 3 h. Magnificação: 3300 116
- Figura 47 – Composição elementar da biomassa in natura pH do meio aquoso: 7, concentração de *R. opacus* : 3 g.L^{-1} , tempo de contato de 3h. Voltagem de aceleração: 20.0 kV Detector: NanoTrace. 117
- Figura 48 – Microfotografias do Microscópio Eletrônico de Varredura da biomassa após adsorção de Co^{2+} . ; concentração de Co^{2+} 5ppm; pH do meio aquoso 7; concentração de *R. opacus* foi 3 g.L^{-1} em um tempo de contato de 3 h; Magnificação 3500 117

- Figura 49 – Composição elementar da biomassa após contacto com 5ppm de Co^{+2} em meio aquoso; pH 7; concentração de *R.opacus* ;3 g.L⁻¹; Tempo de contato 3h; Voltagem de aceleração: 20.0 kV; Magnificação: 3500 ; Detector: NanoTrace 118
- Figura 50 – Microfotografias do Microscópio Eletrônico de Varredura da biomassa após adsorção de Cu^{2+} . Concentração 15ppm; pH do meio aquoso 6; Concentração de *R.opacus* 3 g.L⁻¹ ; tempo de contato de 3 h. 118
- Figura 51 – Composição elementar da biomassa após contacto com 15ppm de Cu^{2+} em meio aquoso. pH 6; concentração de *R. opacus* 3 g.L⁻¹; Tempo de contato foi de 3h; Voltagem de aceleração: 20.0 kV; Magnificação: 3500; Detector: NanoTrace. 119

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resoluções Normativas CONAMA 357/05 e 397/08.	24
Tabela 2 – Resumo das propriedades físico-química do cobre.	25
Tabela 3 – Principais companhias produtoras de cobre no Brasil.	27
Tabela 4 – Estados brasileiros produtores de Cobre.	27
Tabela 5 – Produção mundial de cobre em toneladas.	28
Tabela 6 – Resumo das propriedades físicas do cobalto.	29
Tabela 7 – Produção mundial de cobalto em toneladas.	32
Tabela 8 – Principais poluentes de despejos industriais.	33
Tabela 9 – Características e diferenças entre métodos de bioacumulação e bioissorção.	35
Tabela 10 – Diferenças dos métodos precipitação/coagulação/floculação e bioissorção.	38
Tabela 11 – Diferenças entre métodos flotação e bioissorção.	40
Tabela 12 – Diferenças entre métodos ultrafiltração e bioissorção.	42
Tabela 13 – Diferença entre métodos osmose reversa e bioissorção.	43
Tabela 14 – Diferença entre métodos troca iônica e bioissorção.	45
Tabela 15 – Grupos funcionais presentes na parede bacteriana.	48
Tabela 16 – Condições empregadas para a determinação da influencia do pH no processo de bioissorção.	61
Tabela 17 – Condições empregadas para a determinação da influencia do pH no processo de bioissorção (utilizando biomassa pré tratada com NaOH).	62
Tabela 18 – Condições empregadas para a determinação da influencia da concentração de biomassa no processo de bioissorção	63
Tabela 19 – Condições empregadas para a determinação da influencia da concentração de Biomassa (utilizando biomassa pré-tratada com NaOH).	63
Tabela 20 – Condições empregadas para a determinação da	

influencia da concentração inicial de íon metálico no processo de biossorção.	64
Tabela 21 – Condições empregadas para a determinação da influência da concentração inicial de íon metálico no processo de biossorção (utilizando biomassa pré tratada com NaOH).	64
Tabela 22 – Condições empregadas para a determinação da influencia da velocidade de captação no processo de biossorção.	65
Tabela 23 – Condições empregadas para a determinação da influencia da temperatura no processo de biossorção.	65
Tabela 24 – Variáveis empregadas nos modelos cinéticos pseudo primeira ordem para captação de Co^{2+} e Cu^{2+}	99
Tabela 25 – Variáveis empregadas nos modelos cinéticos pseudo segunda ordem para captação de Co^{2+} e Cu^{2+} .	100
Tabelas 26 – variáveis do modelo de captação de isoterma de Langmuir para Co^{2+} e Cu^{2+} .	105
Tabela 27 – Variável do modelo de isoterma de Langmuir para captação do Co^{2+} em diferentes tipos de biomassas.	105
Tabela 28 – variável do modelo de isoterma de Langmuir para captação do Cu^{2+} em diferentes tipos de biomassas.	106
Tabela 29 – Variável do modelo de captação de isoterma de Freundlich para Co^{2+} e Cu^{2+}	109
Tabela 30 – Variável do modelo de isoterma de Frenldlich para captação do Co^{2+} em diferentes tipos de biomassas.	110
Tabela 31 – variável do modelo de isoterma de Langmuir para captação do Cu^{2+} em diferentes tipos de biomassas.	110
Tabela 32 – Grupos funcionais presentes na biomassa <i>R. opacus</i> após adsorção de Co^{2+} .	113
Tabela 33 – grupos funcionais presentes na biomassa <i>R.opacus</i> in natura.	114
Tabela 34 – Grupos funcionais presentes na biomassa <i>R.opacus</i> após adsorção de Cu^{2+} .	114