

## 6 CONCLUSÕES

Este estudo avaliou a remoção de duas espécies metálicas, Ni(II) e Al(III), empregando a cepa bacteriana *Rhodococcus opacus* como bioissorvente. Estes metais foram escolhidos segundo a toxicidade à saúde humana, ao ambiente e por serem descartados em diversos efluentes industriais.

Diante dos resultados obtidos, apresentados e discutidos no presente trabalho, pode-se concluir:

- A capacidade de captação do níquel e do alumínio pela bactéria *R. opacus* é dependente do pH do meio, obtendo-se a maior remoção a um pH em torno de 5,0 para as duas espécies metálicas.
- Segundo os estudos eletrocinéticos, o PIE do *R. opacus* se encontra a um pH 3,26; acima deste pH é favorecida a bioissorção, já que o potencial zeta é mais negativo facilitando a interação com os cátions metálicos.
- Considerando a faixa de concentração inicial, dos metais, estudada, os dados experimentais do níquel foram melhor ajustados ao modelo de Redlich-Peterson com um coeficiente de regressão ( $R^2$ ) de 0,9840 e um RMSE de 0,3367. Com suas respectivas constantes  $K_S = 2,45 \text{ L.g}^{-1}$ ;  $a_S = 0,1758 \text{ L.mg}^{-1}$  e  $\beta_S = 0,525$ . A capacidade máxima de bioissorção, obtida do modelo de Langmuir foi  $7,622 \text{ mg.g}^{-1}$ . Já os dados experimentais do alumínio foram melhor ajustados ao modelo de Temkin com um coeficiente de regressão ( $R^2$ ) de 0,9976 e um RMSE de 0,0208. Com suas respectivas constantes  $b = 0,3211$  e  $A = 288,80 \text{ L.mol}^{-1}$ . A capacidade máxima de bioissorção, obtida do modelo de Langmuir foi  $41,59 \text{ mg.g}^{-1}$ . Essa diferença na afinidade do *R. opacus* pode ser atribuída às propriedades dos metais em questão, dentre elas peso atômico, raio iônico e eletronegatividade.
- Segundo o estudo cinético da bioissorção verificou-se que as interações entre as espécies metálicas e o *R. opacus* apresentam duas fases bem estabelecidas; uma fase inicial rápida, 5 minutos

para o níquel e o alumínio e uma segunda fase mais lenta. A máxima remoção para o níquel foi atingida nos primeiros 60 minutos, onde 92% foi captado pelo bioissorvente onde logo depois é alcançado o plateau. No caso do alumínio a máxima remoção foi atingida em 20 minutos, 98% foi captado pelo bioissorvente.

- O modelo cinético de pseudo-segunda ordem não linear foi quem melhor ajustou os dados experimentais, das duas espécies metálicas, apresentando uma constante cinética de  $0,6736 \text{ g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  e  $1,8288 \text{ g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , para o níquel e alumínio respectivamente.
- No estudo da influencia da temperatura na bioissorção de níquel e alumínio encontrou-se um valor de energia de ativação ( $E_A$ ) igual a  $12,56 \text{ kJ.mol}^{-1}$  e  $-73,29 \text{ kJ.mol}^{-1}$ , respectivamente, o qual sugere que a etapa controladora da taxa de bioissorção é de natureza química no caso do níquel e física no caso do alumínio, no entanto o processo real seja mais complexo.
- No estudo dos parâmetros termodinâmicos de bioissorção do níquel e o alumínio o valor negativo de  $\Delta G^\circ$ ,  $-3,96 \text{ kJ.mol}^{-1}$  e  $-10,06 \text{ kJ.mol}^{-1}$ , respectivamente, indicam a espontaneidade do processo, e os valores de  $\Delta H^\circ$   $13,36$  e  $\Delta S^\circ$   $0,058$  mostram a natureza endotérmica e irreversível da bioissorção do níquel. Já no caso do alumínio os valores de  $\Delta H^\circ$   $-59,37$  e  $\Delta S^\circ$   $-0,166$  mostram a natureza exotérmica e a reversibilidade da bioissorção do alumínio com o incremento da temperatura.
- As interações entre as espécies metálicas e os grupos funcionais na superfície celular do *Rhodococcus opacus* foram confirmadas pelas análises de FTIR. Os grupos implicados na bioissorção das espécies metálicas são: hidroxila, carbonila, amina primaria e secundaria, carboxila, carboxilato, fosfato.
- No estudo da influencia da força iônica na bioissorção de níquel e alumínio, verificou-se que o *Rhodococcus opacus* apresenta uma maior afinidade pelo sódio em comparação com as espécies metálicas estudadas. Isto pode ser comprovado através do decréscimo na captação máxima ( $q_{\text{max}}$ ) de cada espécie metálica na presença de NaCl.

- Na flotação biossortiva, verificou-se que o *Rhodococcus opacus* apresenta resultados muito promissores como coletor e espumante, obtendo-se porcentagens de remoção de 90% para o níquel aos 10 minutos de flotação partindo de uma concentração de  $5\text{mg.L}^{-1}$ . A porcentagem de remoção para o alumínio foi 93% aos minutos 15 de flotação partindo de uma concentração de  $50\text{mg.L}^{-1}$ .
- Os resultados apresentados nós indicam o grande potencial do *Rhodococcus opacus* no que tange a biossorção e flotação para remoção de metais.