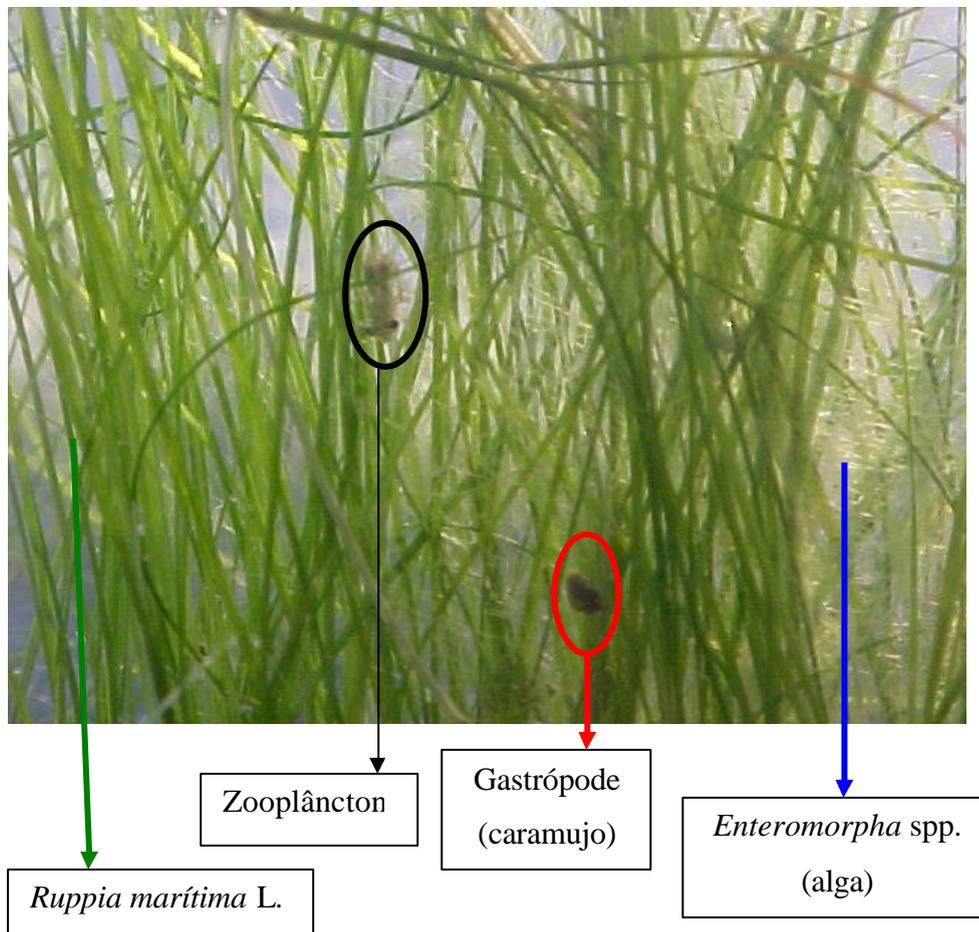


4. RESULTADOS & DISCUSSÃO

A distribuição da *R. maritima* na Lagoa é heterogênea. Foi encontrada uma quantidade muito grande da planta nas estações IV e V. Na estação I ela foi encontrada em alguns bancos de areia e nas estações II e III encontrou-se pouca *R. maritima* que estava mais afastada da margem.

Durante a estabilização da planta observou-se que o aquário 1 tinha um crescimento maior da flora e da fauna associadas à planta do que o aquário 2, isso tendo acontecido durante todo o tempo de cultivo. Notadamente a *R. maritima* cresceu bem, mesmo sem ser feito o enriquecimento do sedimento e a sua exposição direta ao sol se fez necessária para que ela não morresse. A interação da planta com a sua flora e fauna associadas pode ser vista na Figura 6.

Figura 6 - *Ruppia maritima* com a sua flora e fauna associada, aumento de 5x



No teste piloto, para o cultivo da planta, foi visto que após sete dias um dos ambientes de controle (o que permaneceu quatro dias mais próximo da luz artificial) estava com as folhas queimadas. Por esse motivo o conjunto de luz (quatro lâmpadas) lateral foi desligado, permanecendo ligado só o conjunto de luz que fica acima da planta.

A planta permaneceu em observação durante 14 dias. Depois de ser realizado o controle de luz ela permaneceu saudável até o final do experimento.

Após a análise do desenvolvimento da planta durante o teste piloto sobreveio a necessidade de controlar alguns parâmetros como a turbidez da água, a quantidade de luz, a quantidade e composição de sedimento, a quantidade de planta adicionada por vidro e o tipo de água, para um melhor desenvolvimento do experimento.

A terra foi homogeneizada e a coleta nos vidros para as análises passou a ser realizada em áreas por causa da heterogeneidade na distribuição do Cd no sedimento. As áreas 1, 2 e 3 são as da borda do vidro e a área 4 o centro do vidro. A turbidez da água também foi controlada (a água passou a ser adicionada com um regador e não vertida). As modificações necessárias observadas nos testes piloto se encontram na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados do teste piloto em relação aos parâmetros utilizados

FATOR ANALISADO	TESTE PILOTO	EXPERIMENTO
Luz	8 lâmpadas frias de 40 w cada	4 lâmpadas frias de 40 w cada
Turbidez da água	Água turva (água vertida)	Água com pouca turbidez (Água adicionada com regador)
Quantidade de sedimento	400 g	200 g
Composição do sedimento	Terra + cascalho	Terra homogeneizada para jardinagem
Quantidade de planta por vidro	≅ 15 g	≅ 30 g

Para o teste de diluição foi utilizada água milli-q e não da torneira, pois a mesma não possui contaminação. Portanto, a quantidade de Cd encontrado neste ambiente na água será proveniente apenas do cádmio adicionado. A terra usada foi previamente homogeneizada e não foi utilizada a planta no teste de diluição, para que a mesma não remediasse o meio.

Os valores obtidos com as diversas diluições foram comparados com o limite permitido pelo CONAMA 20, para se ter a quantidade de Cd adicionada no experimento. Para o experimento, o ambiente intoxicado com Cd deverá conter dez vezes mais Cd no meio do que o limite máximo estabelecido pelo CONAMA 20. Os resultados das diluições estão na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultado das diluições de cloreto de cádmio em água milli-q e sedimento

CONAMA mg de Cd/l de água	Água milli-q mg de Cd/l de água				Sedimento mg de Cd/kg de sedimento			
	1x	5x	10x	100x	1x	5x	10x	100x
0,1	0,11	1,07	1,44	1,14	1,87	6,07	1,92	111,00
	0,18	0,90	2,31	*	0,10	4,76	8,34	185,57
	0,22	1,02	*	*	1,37	7,32	2,88	91,89
	Média							
	0,17	1,00	1,87	> 2				

* Resultado maior do que o limite de detecção 2,33 do aparelho.

A curva padrão máxima da calibração do aparelho, neste experimento, foi de 2 mg de Cd por litro de solução. Como o objetivo dos testes de diluição era o de obter um valor próximo à 0,1 mg de Cd por litro de água não foi necessário diluir as amostras com os resultados maiores que os da curva padrão.

A diluição que melhor se encaixou nos parâmetros pré-estabelecidos para a contaminação dos ambientes foi a de 1x. Sendo a diluição utilizada no experimento de remediação de Cd pela *R. maritima*.

O peso seco das amostras entrou no cálculo de absorvância, resultando na quantidade de Cd contida na água em miligramas por litro de água, no sedimento em miligramas por kg de sedimento e na *R. maritima* em miligramas por kg de planta. Para o 14° dia somente uma amostra de cada controle foi preparada e analisada, as demais foram congeladas. Os resultados do peso seco do sedimento no 7° e 14° dia de contaminação com Cd podem ser observados na Tabela 19.

Tabela 19 - Peso seco em g do sedimento no 7° e 14° dia

7° dia							
Milli-q Controle				Milli-q CdCl ₂			
1				2			
I	II	III	IV	I	II	III	IV
0,5051	0,5326	0,5192	0,5504	0,5654	0,4373	0,5712	0,5786
5				6			
0,5247	0,6568	0,5494	0,5606	0,5620	0,5017	0,5296	0,5273
9				10			
0,6309	0,5422	0,5534	0,5715	0,5324	0,5570	0,5471	0,5516
Lagoa controle				Lagoa CdCl ₂			
3				4			
I	II	III	IV	I	II	III	IV
0,5884	0,5320	0,5643	0,5771	0,5566	0,6185	0,5614	0,5796
7				8			
0,5909	0,5508	0,5654	0,5491	0,5594	0,5428	0,5565	0,5574
11				12			
0,5540	0,5950	0,5516	0,5425	0,5644	0,5319	0,5363	0,5724
14° dia							
Milli-q controle				Lagoa controle			
1				7			
0,4193				0,5082			
Milli-q CdCl ₂				Lagoa CdCl ₂			
2				4			
I	II	III	IV	I	II	III	IV
				0,5498	0,5458	0,5159	0,5356
0,5511	0,4515	0,3340	0,4842	8			
				0,5570	0,5237	0,5481	0,5329
6				12			
0,4423	0,5368	0,5060	0,5013	0,5198	0,5655	0,5404	0,5836

O resultado do peso da *R. maritima* contribuiu para a análise da absorção de água pela planta. Estes resultados podem ser vistos nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20- Quantidade de água contida na planta no 7° dia de contaminação

ÁGUA	VIDRO		ÁREA	PESO (g)	PESO SECO (g)	% ÁGUA PLANTA	% MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Milli-q	Controle	1	I	0,6205	0,0577	90,7	81	13,6
			II	1,0155	0,0951	90,7		
			III	0,9603	0,1012	89,5		
			IV	1,6546	0,6539	60,5		
		5	I	1,0806	0,1775	83,6		
			II	1,0692	0,1245	88,4		
			III	0,7702	0,0681	91,2		
			IV	1,2035	0,0975	91,9		
		9	I	1,3095	0,1774	86,5		
			II	0,9869	0,1300	86,2		
			III	1,3573	0,5083	62,5		
			IV	1,4128	0,6318	55,3		
	CdCl ₂	2	I	1,1534	0,2203	80,9	73	9,8
			II	1,1139	0,1171	89,5		
			III	1,3145	0,2584	80,3		
			IV	1,2677	0,3326	73,7		
		6	I	1,2952	0,3640	71,9		
			II	1,3804	0,4817	65,1		
			III	1,2741	0,3929	69,2		
			IV	1,0580	0,1171	88,9		
10		I	1,5172	0,6031	60,3			
		II	1,4457	0,4665	67,3			
		III	1,4068	0,5482	61			
		IV	1,4932	0,4055	72,8			
Lagoa Rodrigo de Freitas	Controle	3	I	0,8999	0,1707	81	76	10
			II	1,2346	0,3897	68,4		
			III	1,1583	0,3233	72,1		
			IV	1,0632	0,2035	80,9		
		7	I	0,9821	0,1169	88,1		
			II	1,3104	0,4140	68,4		
			III	1,3754	0,5263	61,7		
			IV	1,3305	0,4653	65		
		11	I	0,9278	0,1039	88,8		
			II	0,9057	0,0871	90,4		
			III	1,3558	0,3019	77,7		
			IV	1,8861	0,6256	66,8		
	CdCl ₂	4	I	1,0667	0,0969	90,9	74	9,9
			II	1,3776	0,5839	57,6		
			III	1,1807	0,3465	70,6		
			IV	1,2059	0,3710	69,2		
		8	I	1,2805	0,2224	82,6		
			II	1,0805	0,2609	75,9		
			III	1,0053	0,2589	74,3		
			IV	1,2553	0,4728	62,3		
12		I	1,2522	0,4157	66,8			
		II	1,3064	0,1844	85,9			
		III	1,1166	0,1833	83,6			
		IV	1,2356	0,3185	74,2			

Nos sete primeiros dias de contaminação com Cd a *R. maritima* possuía em média 76% do seu peso em água.

Após a análise do 7º dia observou-se a contaminação do ambiente nº10 por microrganismos, que levaram a planta à morte. Este ambiente foi descartado para que não ocorresse contaminação nos demais ambientes. Não foi possível realizar a identificação do microrganismo contaminante. Uma semana após as análises do 7º dia foram realizadas as do 14º dia, referentes à quantidade de água contida na planta. Esses resultados estão na Tabela 21.

Tabela 21 - Quantidade de água contida na planta no 14º dia de contaminação

ÁGUA	VIDRO		ÁREA	PESO (g)	PESO SECO (g)	% ÁGUA PLANTA	DESVIO PADRÃO
Milli-q	Controle	1	I	0,8479	0,0767	90,9	8,5
	CdCl ₂	2	I	1,1987	0,4433	63	
			II	1,1005	0,2343	78,8	
			III	1,0673	0,2370	77,8	
			IV	1,0224	0,2865	72	
	6	I	I	1,0682	0,1661	84,5	
			II	0,9951	0,1204	87,9	
			III	0,9959	0,1939	80,5	
			IV	1,0632	0,3517	66,9	
	Lagoa Rodrigo de Freitas	Controle	7	I	1,1376	0,2370	
CdCl ₂		4	I	1,0708	0,3496	67,4	
			II	1,0840	0,3697	65,9	
			III	1,0908	0,4431	59,4	
			IV	0,9820	0,3178	67,6	
8		I	I	1,0024	0,3271	67,4	
			II	1,2233	0,5147	58	
			III	0,8571	0,1403	83,6	
			IV	1,0665	0,5095	52,2	
12		I	I	0,8737	0,1594	81,8	
			II	1,1540	0,2275	80,3	
			III	1,0200	0,2193	78,5	
			IV	0,9361	0,1243	86,7	

No 14° dia de contaminação com Cd a *R. maritima* possuía em média 79% do seu peso em água. Os resultados obtidos com o peso da planta confirmam os resultados descritos por Esteves, 1988. Este autor mostra que o teor de água na planta é muito elevado, variando de 85 a 95% do peso seco. As plantas analisadas tinham em média 78% de água na sua composição.

Na coleta do 14° dia também foram separados exemplares contendo só raiz, folha e caule. A quantidade de água contida em média em cada órgão consta da Tabela 22.

Tabela 22 - Quantidade de água contida na raiz, no caule e na folha da *Ruppia maritima* no 14° dia de contaminação por cádmio

ÓRGÃO	VIDRO	PESO (g)	PESO SECO (g)	% ÁGUA PLANTA	% MÉDIA	DESVIO PADRÃO
RAIZ	Controle	0,4693	0,0495	89,5	81	14
	2	0,2121	0,0731	65,5		
	4	0,2246	0,0149	93,4		
	6	0,1857	0,0684	96,3		
	8	0,2861	0,0737	74,2		
	12	0,2060	0,0709	65,6		
CAULE	Controle	1,0222	0,1171	88,5	84	7,9
	2	0,9259	0,1236	86,5		
	4	0,9288	0,1300	86		
	6	0,9243	0,2902	68,6		
	8	0,9723	0,0916	90,6		
	12	1,0457	0,1910	81,7		
FOLHA	Controle	0,9498	0,1094	88,5	73	12,5
	2	1,0093	0,1660	83,5		
	4	1,0638	0,3733	65		
	6	0,9296	0,4209	54,7		
	8	1,0879	0,2523	76,8		
	12	1,1238	0,3478	69		

Os resultados da análise dos órgãos da planta mostraram que a raiz da *R. maritima* possui 81% de água, o caule 84% e a folha 73%. Esses resultados estão de acordo com as características histológicas das macrófitas aquáticas descritas por Esteves, 1988.

Os valores de absorção de Cd pela planta foram elevados sendo necessário avolumar para 50 ml as amostras dos 7° e 14° dias, para que as mesmas entrassem na curva padrão. As amostras de folha também foram avolumadas para 50 ml. As amostras de raiz e caule permaneceram em 20 ml.

Os resultados da absorção de Cd pela planta nos dois dias de leitura, a quantidade de Cd restante na água e a quantidade de Cd que precipitou no sedimento nos 7° e 14° dias são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Concentração de cádmio encontrado na água, no sedimento e na *Ruppia maritima* no 7° e no 14° dia

Vidros		Água mg/L		Sedimento mg/kg		Rm mg/kg	
		7° dia	14° dia	7° dia	14° dia	7° dia	14° dia
controle água milli-q	1	0,035	0,007	0,919	0,890	11,153	2,843
				0,506		3,566	
				0,613		1,547	
				0,600		0,798	
	5	0,009		0,630		4,654	
				0,540		5,902	
				0,668		9,807	
				0,741		9,098	
	9	0,004		0,632		9,289	
				0,762		2,742	
				0,685		0,667	
				0,774		0,633	
CdCl ₂ água milli-q	2	0,069	0,048	3,935	3,781	134,670	137,150
				2,872	5,559	343,910	102,123
				4,735	4,780	117,216	144,752
				0,697	4,172	80,360	225,887
	6	0,054	0,102	7,022	5,261	127,862	175,389
				12,428	1,178	114,154	140,337
				1,553	3,040	151,690	70,502
				5,882	1,291	308,561	67,341
	10	0,040	-	0,849	-	49,061	-
				0,847		39,613	
				1,116		31,655	
				1,063		65,537	
controle água lagoa	3	0,040	0,031	0,562		2,201	
				0,585		1,183	
				0,577		1,840	
				0,539		2,414	
	7	0,029		0,621	0,846	4,151	3,614
				0,688		2,584	
				0,541		1,894	
				0,225		0,807	
	11	0,026	0,024	0,693		10,295	
				0,817		12,630	
				0,749		3,906	
				0,789		1,564	
CdCl ₂ água lagoa	4	0,368	0,219	1,556	3,214	108,096	123,552
				11,061	4,451	47,057	58,300
				3,430	7,390	41,649	*
				1,767	1,344	43,837	136,585
	8	0,360	0,224	1,527	2,582	97,871	39,932
				5,162	7,791	33,918	18,281
				1,600	2,313	67,262	232,806
				1,292	1,954	42,175	63,689
	12	0,282	0,163	4,296	6,950	23,367	191,162
				6,778	4,373	26,433	67,796
				2,705	3,518	40,373	127,290
				8,213	3,011	21,515	164,583

* Durante a centrifugação das amostras de *R. maritima* o tubo 4-III do 14° dia quebrou na centrífuga.

As amostras de água mostraram uma diminuição da concentração de Cd nesse meio do 7º ao 14º dia, inclusive nos controles. Na água milli-q a pequena concentração de Cd encontrada pode ser proveniente do sedimento. A amostra 6 teve um aumento na quantidade de Cd. Este comportamento pode ser devido ao fato da planta não ter condições tão favoráveis na água milli-q quando comparada à água da Lagoa, uma vez que a água milli-q não tem nenhum nutriente. Existe a possibilidade de que a planta já estivesse morrendo e por esse motivo liberando na água o Cd retido.

As plantas usadas são provenientes de um meio, que já possui uma certa contaminação com Cd. Esse fato também pode explicar porque algumas amostras de plantas tinham uma quantidade de Cd maior do que a que foi adicionada. A partir destes resultados supõe-se que a *R. maritima* é uma ótima espécie para se introduzir em um ambiente aquático para a remediação de Cd.

Também pode-se observar que os locais na Lagoa onde é encontrada uma maior quantidade de espécimes são: próximos das saídas de esgoto e no meio da Lagoa. Nesses locais a quantidade de matéria orgânica e Cd é muito maior do que no restante da Lagoa. Este fato mostra que a *R. maritima* se prolifera mais em ambientes por vezes nocivos a outras formas de vida.

O sedimento mostra heterogeneidade na distribuição de Cd. Todas as análises controle tiveram resultados inferiores a 1 mg de Cd/kg de sedimento (sendo o menor 0,225 e o maior 0,919mg de Cd /kg de sedimento).

Com o objetivo de se conhecer melhor a dinâmica de absorção da planta, foram analisados em separado a raiz, o caule e a folha. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 24.

Tabela 24 - Quantidade de cádmio encontrado no 14º dia em cada órgão da planta em mg de Cd/kg de raiz, de caule e de folha respectivamente

Ambiente	RAIZ mg de Cd/Kg de raiz	CAULE mg de Cd/Kg de caule	FOLHA mg de Cd/Kg de folha
2	29,336	105,902	175,678
6	55,737	39,777	97,777
Controle Lagoa	13,317	2,198	0,763
4	340,025	46,558	94,765
8	41,321	64,613	167,960
12	61,670	34,493	120,166
Média	105,618	58,269	131,269
Desvio padrão	131,6	28,9	38,4

No 14º dia foi realizada a análise da planta inteira, da raiz, do caule e da folha, em separado. Como era de se esperar foi observado uma maior quantidade de Cd na folha, já que a folha recebe Cd da raiz e também absorve Cd da água.

A partir dos resultados de absorção pela *R. maritima*, foi obtida a média de absorção por área no 7º e 14º dias em mg de Cd/kg de planta seca, conforme a Tabela 25.

Tabela 25 - Valor médio de absorção de cádmio pela *Ruppia maritima*

Média por ambiente	Milli-q (mg de Cd/kg de planta)		LAGOA (mg de Cd/kg de planta)	
	7º dia	14º dia	7º dia	14º dia
	169,039	152,478	60,160	106,146
175,567	113,392	60,306	88,677	
175,567	113,392	27,922	137,707	
Média total	172,303	132,935	49,463	110,843
Desvio padrão	4,6	27,6	18,6	24,8

A absorção de Cd pela planta diminuiu nos ambientes com água milli-q, mostrando que a planta não se adaptou ao meio ultra purificado. Porém, mesmo em condições adversas, a *R. maritima* conseguiu continuar remediando o meio.

Nos ambientes com água da Lagoa Rodrigo de Freitas houve um aumento na remediação de Cd. As plantas depois dos 14 dias permaneceram com aparência saudável, o que não aconteceu com as plantas que estavam na água milli-q, conforme pode ser observado na Figura 7.

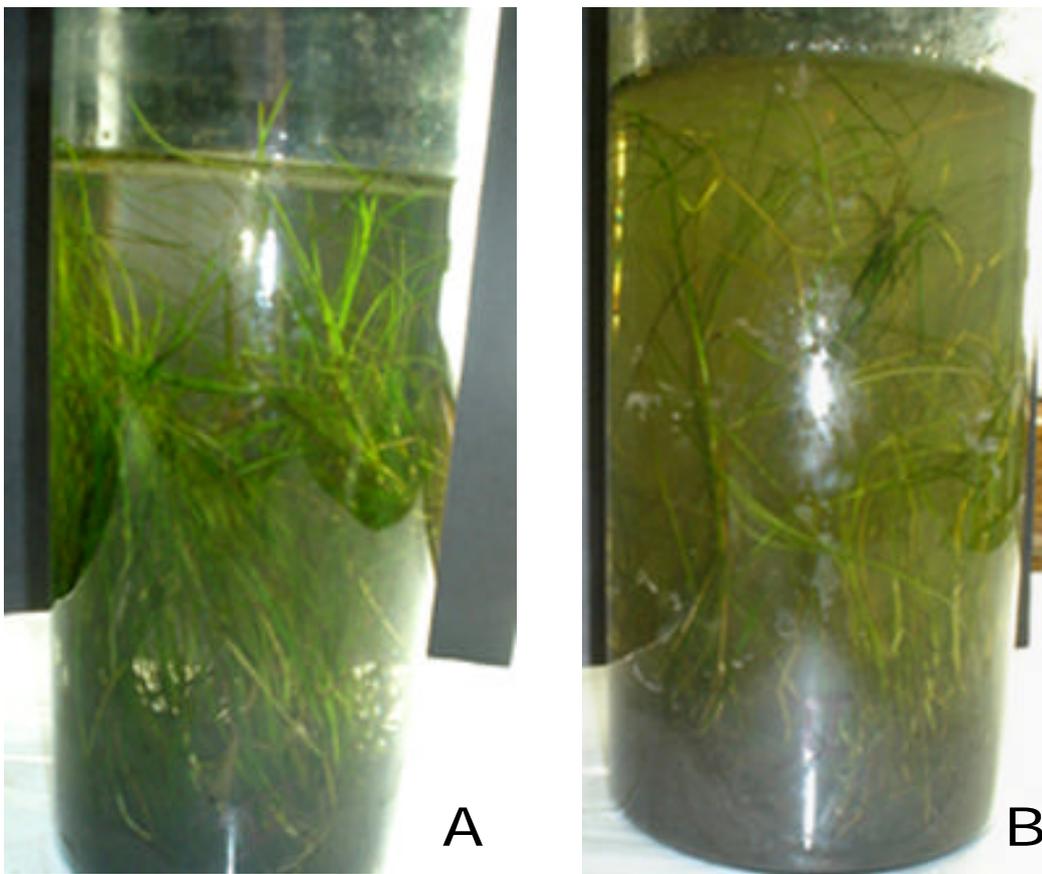


Figura 7 - Comparação entre o cultivo da *Ruppia maritima* na água da Lagoa (A) e na água milli-q (B), contaminadas com cádmio

Ocorreu um aumento progressivo da turbidez dos ambientes que estavam com água milli-q e uma perda na coloração das plantas, que no momento do plantio estavam viçosas e com coloração verde intensa. Na segunda semana de contaminação com Cd os espécimes apresentaram uma coloração amarelo-esverdeada e algumas uma coloração marrom.

As plantas dos ambientes com água da Lagoa Rodrigo de Freitas permaneceram com uma tonalidade de verde intenso, não ocorrendo alteração na sua coloração desde o dia da contaminação até o dia da última coleta. A água permaneceu límpida em todos os exemplares.

O crescimento de algas tanto nos ambientes com água da Lagoa quanto nos ambientes com água milli-q não foi tão intenso quanto o crescimento das mesmas no aquário.

Os resultados obtidos foram resumidos nas Figuras 8, 9 e 10.

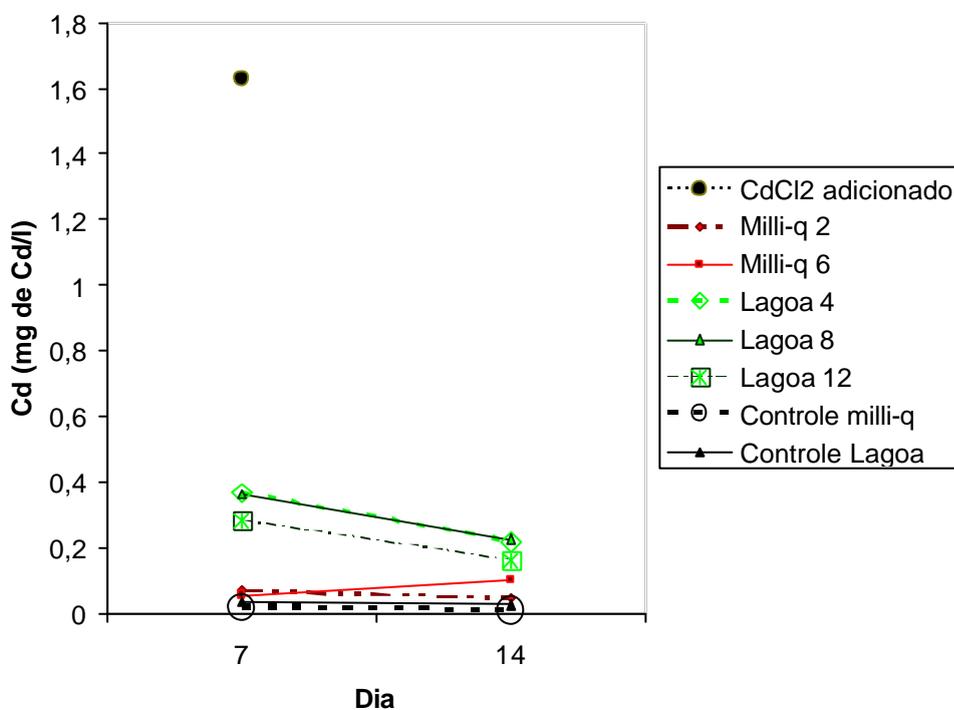


Figura 8 - Quantidade de cádmio na água

Conforme indicado na Figura 8 a quantidade de Cd na água diminuiu ao longo dos dias. Esse decréscimo foi mais significativo nos ambientes que continham água da Lagoa Rodrigo de Freitas, onde as condições para remediação de Cd foram favoráveis.

O ambiente 6 que estava com água milli-q foi o único que apresentou um aumento na quantidade de Cd na água, o que pode estar relacionado aos mecanismos de liberação de metais pesados pela folha por parte da *R. maritima*.

Os controles apresentaram uma quantidade de Cd aceitável, já que as plantas utilizadas e o sedimento não estavam livres de contaminação.

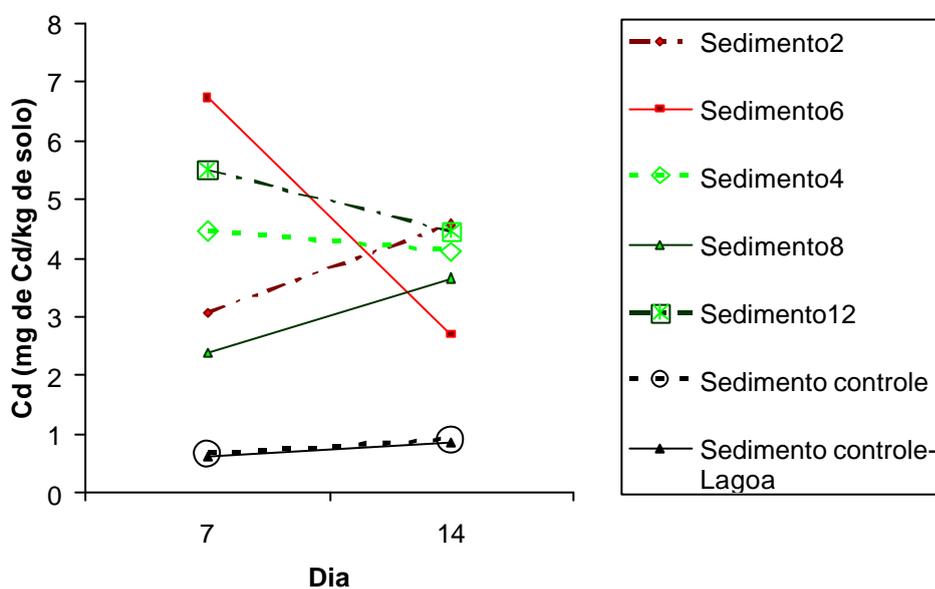


Figura 9– Quantidade de cádmio precipitada no sedimento em mg de Cd/kg de sedimento seco

De acordo com a Figura 9, a quantidade de Cd no sedimento também diminuiu em quase todos os ambientes, o que pode mostrar a eficiência na remediação de Cd por parte da planta.

Os controles mostraram que a quantidade média de Cd no sedimento usado foi de 0,73 mg de Cd /kg de sedimento seco.

No ambiente 8 com água da Lagoa, o aumento de Cd pode estar vinculado à precipitação do metal. Esta precipitação pode estar ocorrendo mais rapidamente do que a remediação do Cd pela *R. maritima*. No ambiente 2 com água milli-q, o aumento na quantidade de Cd no sedimento pode estar ligado à precipitação do metal e a liberação de Cd pela planta através da raiz.

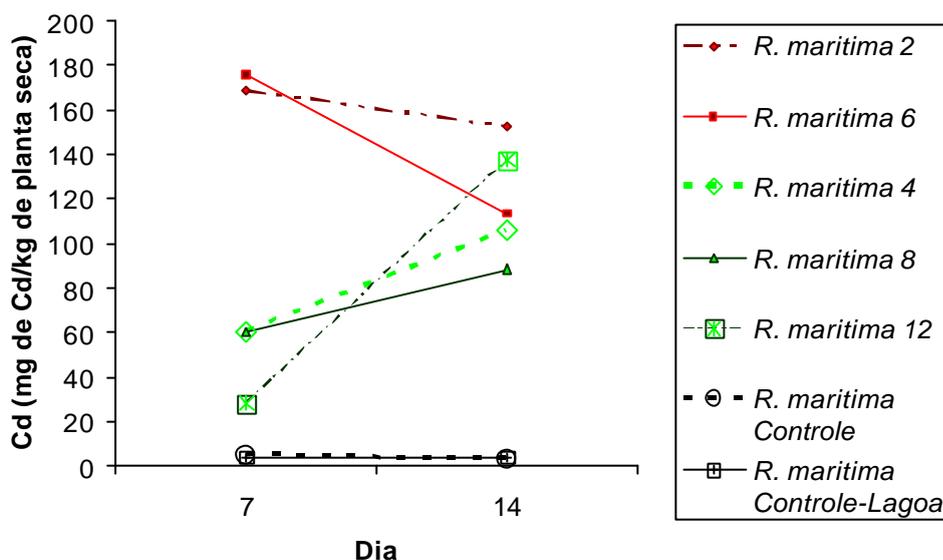


Figura 10 - Quantidade de cádmio absorvido pela planta em mg de Cd/kg de planta seca

Os resultados apresentados na Figura 10 sugerem que a planta remedia Cd e que essa remediação irá depender das condições as quais a planta é submetida. A resistência da *R. maritima* e capacidade de remediação ao longo dos 14 dias de contaminação com Cd decaiu nos ambientes com água milli-q, utilizando muito provavelmente diferentes mecanismos de absorção de Cd no ambiente 2 e no ambiente 6.

No ambiente 8 com água da Lagoa a remediação de Cd se mostrou intensa ao longo dos 14 dias de contaminação.

A distribuição de Cd em cada ambiente pode ser observada de uma forma mais ampla nas Figuras 12 e 13.

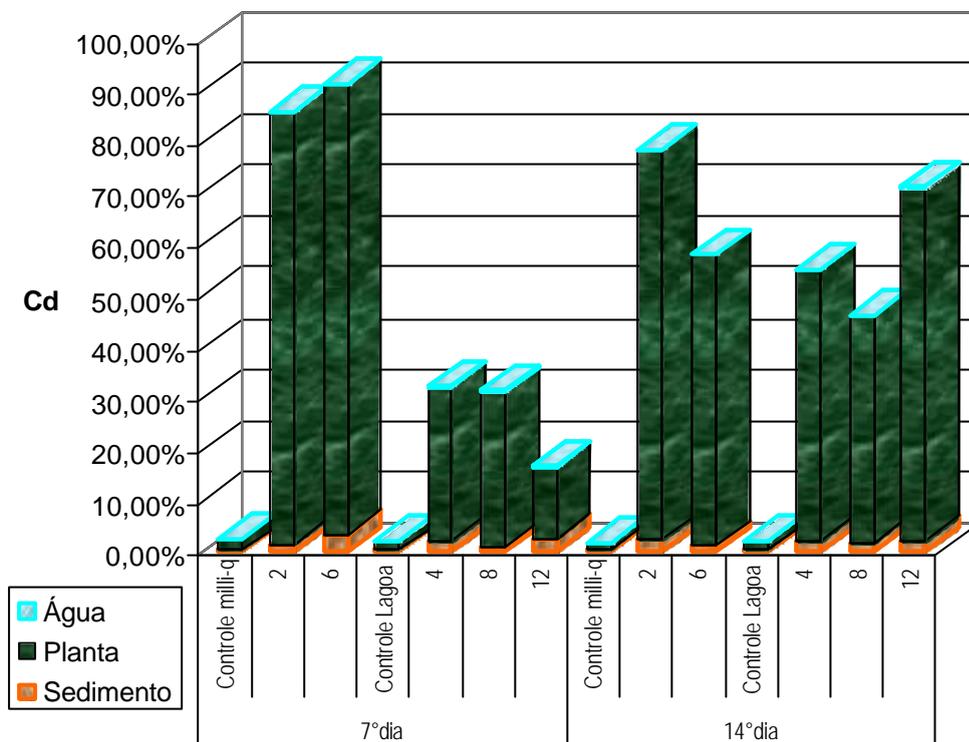


Figura 11 – Distribuição de cádmio na água, no sedimento e na planta por ambiente

A Figura 11 mostra cada ambiente com sua porcentagem máxima de Cd (100%), levando em conta a quantidade de Cd adicionada por ambiente. Esta quantidade se refere a quantidade de Cd existente no sedimento, a quantidade de Cd que estava na água da Lagoa e na água milli-q, e a quantidade de Cd média que cada planta absorveu. A planta utilizada foi retirada da Lagoa, e a quantidade de Cd já existente nela varia dependendo da área de coleta e do tempo de vida da planta na Lagoa. Por este motivo tentamos obter um comportamento aproximado da planta na captura de Cd. Para se obter um parâmetro comparativo entre os ambientes e conseguir observar a distribuição de Cd por ambiente, realizamos um cálculo de proporcionalidade nas porcentagens. Este cálculo foi realizado levando-se em conta quanto de Cd tinha em cada ambiente e tirando por base o ambiente que continha mais Cd. Como o valor em mg de Cd distribuído nesse ambiente não foi um número inteiro (aproximadamente 182 mg de Cd no ambiente 6), aproximamos o valor máximo para 200 mg de Cd por ambiente. Então 200 mg de Cd está para 100% assim como os valores individuais de cada ambiente estão para x%.

Dessa forma fica mais fácil visualizar a distribuição de Cd em cada ambiente sem contudo perder a noção da quantidade de Cd que cada ambiente possui.

A Figura 11 mostra que ao longo dos 14 dias ocorreu a remediação do Cd pela planta, mesmo nos ambientes controles, que tinham traços do metal, mostrando a capacidade de adaptação da espécie em ambientes com poucos nutrientes e contaminados com Cd. Nos ambientes com água milli-q a remediação foi maior, o que pode significar um aumento nas atividades metabólicas da planta relativas à captura de nutrientes. Essas atividades metabólicas podem ter sido estimuladas em diferentes órgãos da planta, o que explicaria as diferenças ocorridas nos ambientes 2 e 6. Essas adaptações foram mais eficientes ao longo dos sete primeiros dias de contaminação.

A Figura 12 mostra a quantidade de Cd precipitada no sedimento ao longo dos 14 dias de contaminação e a quantidade de Cd disponível na água em cada ambiente.

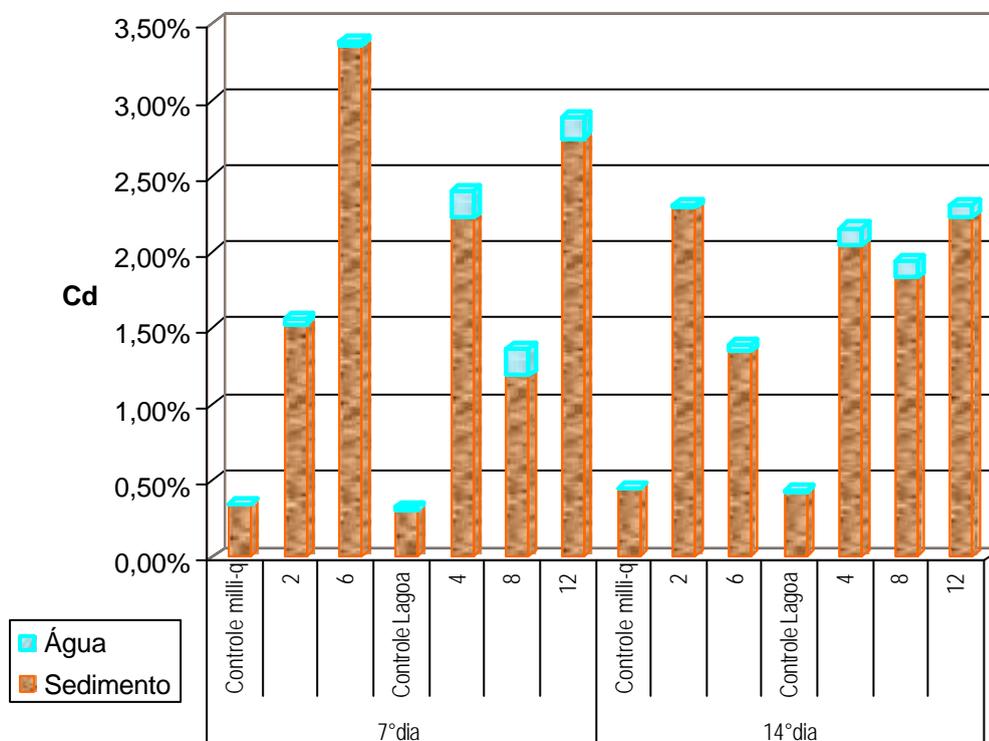


Figura 12 – Distribuição de cádmio na água e no sedimento por ambiente

Como a quantidade de Cd na água foi muito pequena, e difícil de ser visualizada na Figura 11, os valores da planta foram retirados para melhor observarmos a distribuição do Cd no sedimento e na água. A porcentagem de Cd maior no sedimento do que na água mostra a importância de se ter como agente fitorremediador uma planta enraizada.

A comparação dos resultados deste trabalho com aqueles relatados por outros autores em trabalhos anteriores com outras espécies de plantas (Lewander *et al.*, 1996; Qian *et al.*, 1999; Dahmani-Muller *et al.*, 2000; Sanchiz *et al.*, 2000; Maine *et al.*, 2001; Peralta-Videa *et al.*, 2004) fez-se necessária para que pudéssemos avaliar a capacidade da *R. maritima* em remediar sedimentos e águas contaminados com Cd. De todas as espécies citadas ao longo do nosso trabalho, para realizar a comparação com a *R. maritima* escolhemos as que melhor remediaram o meio. A comparação da *R. maritima* com outras plantas fitorremediadoras precisa ser realizada levando em consideração alguns parâmetros como: a quantidade de Cd adicionado no meio, pois quantidades muito elevadas de Cd no meio podem fazer com que o metal seja absorvido pela planta por diferença de pressão; quantos dias a planta permaneceu contaminada e quanto a planta remediou de Cd ao longo desse tempo. A partir da análise destes dados é possível avaliar a capacidade de remediação de cada planta. A Tabela 26 apresenta os resultados obtidos nesta fase.

Tabela 26 - Absorção média de cádmio pela *Ruppia maritima* e por outras espécies de plantas

Planta	Cd adicionado	Dias de contaminação com Cd	Concentração de Cd nas plantas entre 0-30 dias (mg de Cd/kg de planta)	Referência
<i>Ruppia maritima</i>	1,13 mg/l	14	110,843	Presente trabalho
<i>Lemna minor</i>	10mg/l	?	13000	Qian <i>et al.</i> , 1999
<i>Pistia stratiotes</i>	1mg/l	21	0,00078	Maine <i>et al.</i> , 2001
<i>Polygonum hydropiperoides</i>	1mg/l	10	90	Qian <i>et al.</i> , 1999
<i>Eichhornia crassipes</i>	1mg/l	21	0,00076	Maine <i>et al.</i> , 2001
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,0154mg/kg(sedimento)	Plantas retiradas do local contaminado	0,00067	Lewander <i>et al.</i> , 1996
<i>Salvinia herzogii</i>	1mg/l	21	0,0008	Maine <i>et al.</i> , 2001
<i>Posidonia oceanica</i>	0,00001mg/kg(sedimento)	Plantas retiradas do local contaminado	0,0025	Sanchiz <i>et al.</i> , 2000
<i>Wedelia trilobata</i>	1mg/l	10	148	Qian <i>et al.</i> , 1999
Plantas de solo	83mg/kg (solo)	?	1200	Peralta-Videa <i>et al.</i> , 2004 Dahmani-Muller <i>et al.</i> , 2000

Analisando a Tabela 26 podemos concluir que a *R. maritima* é uma espécie boa para se usar na fitorremediação, pois ela absorveu relativamente mais Cd do que as demais plantas aquáticas. A sua capacidade de remediação só foi menor do que a da *Wedelia trilobata*. Quanto a *Lemna minor* a quantidade de Cd adicionado ao meio pode ter influenciado na entrada do mesmo na planta, por este motivo, até que se tenha mais estudos sobre esta espécie, com quantidades de Cd menores ou análises biológicas mais detalhadas (para explicar a entrada deste metal na planta) a *Lemna minor* não será considerada por nós como uma espécie remediadora mais eficiente do que a *R. maritima*.

Em comparação às outras espécies de macrófitas aquáticas que já são utilizadas em ensaios de remediação de sedimentos e águas contaminados, a *R. maritima* demonstrou uma elevada capacidade de absorção de Cd e de adaptação à águas pobres em nutrientes, possuindo duas desvantagens em relação as macrófitas emersas: a necessidade de sedimento para a sua fixação e a demora na remediação devido ao tempo necessário para a precipitação do Cd no sedimento.

As plantas de solo possuem uma alta capacidade de remediação, muito maior do que as macrófitas aquáticas, mas elas não conseguem sobreviver no ambiente aquático. Ao contrário de algumas macrófitas que conseguem sobreviver tanto no ambiente aquático quanto no solo devido as suas adaptações morfológicas e fisiológicas.

A Tabela 27 mostra a quantidade de Cd absorvido nos diferentes órgãos da planta em diferentes espécies de plantas.

Tabela 27 - Absorção média de cádmio em diferentes órgãos da *Ruppia maritima* e de outras espécies de plantas

Planta	Cd adicionado	Concentração de Cd na raiz mg de Cd/kg de raiz	Concentração de Cd na folha mg de Cd/kg de folha	Referência
<i>Ruppia maritima</i>	1,13 mg de Cd/l	105,62	131,27	Presente trabalho
<i>Ruppia cirrhosa</i>	0,00003mg de Cd/kg (sedimento)	0,00012	0,00009	Sanchiz <i>et al.</i> , 2000
<i>Medicago sativa</i>	500 mg de Cd/l	4650	-	Peralta-Videa <i>et al.</i> , 2004
<i>Cymodocea nodosa</i>	0,000016mg de Cd/kg(sedimento)	0,00004	0,00006	Sanchiz <i>et al.</i> , 2000,
<i>Zostera noltii</i>	0,00001mg de Cd/kg(sedimento)	0,0002	0,00001	Sanchiz <i>et al.</i> , 2000
<i>Posidonia oceanica</i>	0,000014mg de Cd/kg(sedimento)	0,00014	0,0006	Sanchiz <i>et al.</i> , 2000
<i>Myriophyllum brasiliense</i>	1mg de Cd/l	1426	-	Qian <i>et al.</i> , 1999
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,0154mg de Cd/kg(sedimento)	0,0021	-	Lewander <i>et al.</i> , 1996
Plantas de solo	83mg de Cd/kg (solo)	1579	281	Peralta-Videa <i>et al.</i> , 2004 Dahmani-Muller <i>et al.</i> , 2000

A maioria dos trabalhos utilizados na comparação com o presente estudo utilizam contaminações com Cd muito menores, referentes aos níveis de contaminação encontrados em cada região de cada país de origem do estudo. Isto mostra que os níveis máximos de contaminação ainda precisam ser muito bem estudados e definidos para que seja possível realizar uma avaliação comparativa empregando um método de análise eficiente. Dependendo da espécie de macrófita, o acúmulo pode acontecer em maior quantidade nas raízes ou nas folhas. Os resultados da Tabela 24 e 27 confirmam alguns estudos de outros autores que mostram o acúmulo preferencial em macrófitas aquáticas de Cd nas folhas (Raskin *et al.*, 1997; Ager *et al.*, 2003).

Uma desvantagem que a fitorremediação tem e que pode ser contornada é o fato de algumas macrófitas aquáticas, como é o caso da *R. maritima*, possuírem uma proliferação muito intensa. Nesse caso é preciso que se realize periodicamente a retirada da planta.

Outro ponto importante a ser discutido é a introdução da fitorremediação em projetos de descontaminação de efluentes líquidos em escala industrial. Na maioria dos casos várias técnicas são utilizadas em conjunto para se conseguir uma descontaminação eficiente mantendo os custos a níveis aceitáveis. Para que se possa ter uma noção mais ampla das tecnologias aplicadas, suas vantagens e desvantagens, e do custo benefício com certas técnicas, foi confeccionada a Tabela 28, com algumas tecnologias utilizadas na remediação de solos, águas e sedimentos com metais pesados .

Tabela 28 - Comparação entre algumas tecnologias utilizadas na remediação de solos, águas e sedimentos contaminados com metais pesados

Técnica	Vantagem	Desvantagem	Custo	Referência
Fitorremediação	<ul style="list-style-type: none"> • Não agride o solo • Pode ser usada <i>in situ</i> • Reestrutura a área degradada 	<ul style="list-style-type: none"> • Leva muito tempo para descontaminar o ambiente • Técnica pouco conhecida 	Baixo 50,000 - 200,000/acre	Mulligan, 2001
Lavagem do solo	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica bem estabelecida 	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição do solo pelos descontaminantes • Cada tipo de contaminação requer um descontaminante diferente 	25-300 U\$/ton	EPA,1996 Mulligan, 2001
Separação de fase	<ul style="list-style-type: none"> • Custo baixo 	<ul style="list-style-type: none"> • Agride o ambiente a ser descontaminado, através da escavação • Requer uma área muito grande <i>ex situ</i> para a precipitação • O material precisa permanecer por um longo período para que ocorra a decantação • É necessária a utilização de outras técnicas em conjunto 	Baixo	EPA,1996 Benvindo, 2004
Dragagem	<ul style="list-style-type: none"> • Contenção e retirada da área contaminada 	<ul style="list-style-type: none"> • Agride o solo • Pode contaminar o lençol freático • Aumenta a turbidez • Altera o meio ambiente • Agride o meio biótico 	Elevado	SERLA, 2005
Tratamentos físicos	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica bem estabelecida • Restringe a área contaminada 	<ul style="list-style-type: none"> • Agride o solo • Possui maior eficiência e menor custo se tratado <i>ex situ</i> 	60-245 U\$/ton	Benvindo, 2004 Mulligan, 2001
Jateamento de água no solo	<ul style="list-style-type: none"> • Custo baixo • Eficaz em solos com alta permeabilidade • Retira o metal do solo 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessita de outras técnicas para remoção do metal 	100-200 U\$/ton	Mulligan, 2001

Vitrificação	<ul style="list-style-type: none"> • Restringe a área contaminada • Eficaz para solos altamente contaminados • Eficaz em rejeitos misturados • Eficaz em grandes extensões com pouca profundidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo muito alto • Material vitrificado não pode ser recuperado 	Elevado Entre 300 e 650 /ton solo tratado	EPA,1996
Separação pirometalúrgica	<ul style="list-style-type: none"> • Descontamina o ambiente rapidamente • Eficaz em áreas altamente contaminadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Agride o solo • Pode produzir vapores tóxicos • Custo muito alto 	Elevado 200-1000 U\$/ton	EPA,1996 Mulligan, 2001
Flotação	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção e recuperação dos compostos contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficaz em tratamentos <i>ex situ</i> 	60-245 U\$/ton	EPA,1996 Mulligan, 2001
Adsorção	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção e recuperação dos compostos contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficaz em tratamentos <i>ex situ</i> 		EPA,1996 Benvindo, 2004
Biorremediação	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • O composto orgânico pode se tornar patogênico • Técnica pouco conhecida 		EPA,1996
Muros de tratamento permeáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Restringe a área contaminada • Material de que é feito o muro reage com o metal 	<ul style="list-style-type: none"> • Material do muro varia de acordo com a contaminação • Técnica pouco conhecida 	60-245 U\$/ton	Mulligan, 2001
Tratamentos químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Descontamina rapidamente o solo • Técnica bem estabelecida 	<ul style="list-style-type: none"> • Agride o solo • Pode produzir vapores tóxicos • Pode produzir compostos tóxicos 	Elevado	Mulligan, 2001
Tratamentos físico-químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Descontamina rapidamente o solo • Técnica bem estabelecida 	<ul style="list-style-type: none"> • Agride o solo • Pode produzir vapores tóxicos • Pode produzir compostos tóxicos 	Elevado	Benvindo, 2004

Comparada com as demais técnicas utilizadas percebemos que a fitorremediação com a espécie estudada em nosso trabalho pode vir a ser uma fonte de tratamento de solos e águas contaminados muito eficiente, e a longo prazo pode ser vista como uma forma de prevenção contra despejos ou acidentes no meio ambiente.