

## II-548 - TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DE LODO NA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NA AMAZONIA: Estudo de caso em Cacoal – RO

**Thiago Emanuel Possmoser Figueiredo Nascimento<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia *campus* de Ji-Paraná.

**João Paulo Papaleo Costa Moreira**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia *campus* de Ji-Paraná.

**Leonardo Rosa Andrade**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia *campus* de Ji-Paraná.

**Johannes Gerson Janzen**

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2006). Professor Adjunto II da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Gunther Brucha**

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2007). Professor Adjunto I do Departamento de Engenharia Ambiental, coordenador do Laboratório de Microbiologia Ambiental da Universidade Federal de Rondônia e membro Permanente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (UNIR).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua João dos Santos Filho, 58 – Bairro Centro – Ji-Paraná -RO - CEP: 76900-140 -Brasil - Tel: +55 (69) 3421-5587 - e-mail: [emmanueljpa@hotmail.com](mailto:emmanueljpa@hotmail.com).

### RESUMO

A região amazônica está inserida em um cenário recente de ocupação e algumas relações entre o homem e natureza na região ainda não foram bem estudadas. Uma dessas interações é quanto à criação de sistemas para tratamento de esgotos domésticos produzidos pelas cidades. O entendimento de algumas grandezas envolvidas nessa interação ainda se faz necessário devido a seu caráter dinâmico. Dessa forma, neste trabalho foi realizado o estudo da distribuição da taxa de sedimentação em uma lagoa de estabilização anaeróbia de esgoto doméstico com chicanas localizada em Cacoal, Rondônia. A taxa de sedimentação foi determinada através da coleta de sedimentos utilizando armadilhas coletoras confeccionadas em tudo de PVC de 50 mm. Pôde-se observar que a maior sedimentação é a dos Sólidos Totais Fixos. Ademais, foi possível verificar que o maior aporte de sedimentos ocorre na entrada da lagoa e que a direção do vento e a geometria estão afetando a distribuição da taxa de sedimentação. A interação de fatores ambientais com fatores físicos (como geometria da lagoa) está afetando o comportamento hidrodinâmico potencializando o surgimento de zonas mortas e caminhos preferências na região de entrada dessa lagoa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Taxa de Sedimentação, Lagoa anaeróbia, Chicanas, Coletores Armadilhas, Amazônia.

### INTRODUÇÃO

O estado de Rondônia encontra-se na Amazônia legal, como tal sofreu processo acelerado de crescimento desordenado e incentivado irresponsavelmente pelo governo federal, em meados dos anos 70 e 80. Essa estratégia de “desenvolvimento” mostrou-se inadequada, promoveu inúmeras consequências negativas ao meio ambiente e problemas de infraestrutura urbana e ao meio rural (BARROSO, CHERUBINI & CORDEIRO, 2005). Entre os problemas de infraestrutura, vale mencionar a deficiência na oferta e disponibilidade de serviços de saneamento básico principalmente quanto à coleta e tratamento de esgoto. Uma opção para solucionar os problemas de tratamento de esgoto nessa região são as lagoas de estabilização.

De acordo com Von Sperling (1996), as lagoas de estabilização são consideradas a melhor opção para o tratamento de esgotos domésticos de pequenas e médias comunidades, principalmente em regiões em desenvolvimento, em virtude de sua simplicidade, eficiência, flexibilidade e baixo custo de construção e operação. São sistemas de tratamento biológico que convertem o conteúdo orgânico do esgoto em compostos mais estáveis pela ação de organismos como algas e bactérias. Podem ser classificadas, com respeito ao tipo de atividade biológica que ocorre na lagoa, em: anaeróbias, facultativas e de maturação.

As lagoas anaeróbias são reatores biológicos modelados para receber altas cargas orgânicas por unidade de volume do reator, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja muito superior à taxa de produção, sendo completamente isentas de oxigênio dissolvido e de atividade fotossintética, mas associando os mecanismos de fermentação e respiração anaeróbia. Nessas lagoas é comum a formação de uma camada de lodo no fundo.

O lodo sedimentado é formado devido à porção não biodegradável dos sólidos sedimentáveis que entra no sistema, a atividade biológica de microrganismos e algas, além das reações de precipitação, principalmente de fosfatos (SARAIVA, 2007, p. 8). Segundo Nelson et al. (2004), esta camada de lodo pode produzir efeitos que diminuam a eficiência de remoção de matéria orgânica, pela mudança do fluxo hidrodinâmico, aparecimento de zonas mortas e caminhos preferenciais. Conforme observa Gonçalves et al. (1999) os prazos dilatados previstos para a remoção do lodo dos reatores, que geralmente se encontram no intervalo de 5 a 10 anos, contribuem para que os gestores das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) tratem o gerenciamento do lodo com certa negligência. De acordo com Saraiva (2007), dentre os diversos métodos de medição da quantidade sedimentável de lodo, a utilização dos “sediments traps” ou armadilhas de sedimentação é o mais difundido sendo bastante utilizado em lagoas, rios e oceanos. Apesar da importância do estudo da dinâmica de sedimentação de lodo que ocorre no interior das lagoas de estabilização, há poucos estudos na área, particularmente na região Norte do Brasil.

O estudo do comportamento hidrodinâmico de lagoas se faz imprescindível e uma das suas fases é a determinação da taxa de sedimentação, contribuindo para o conhecimento das relações e efeitos dos sólidos na eficiência de remoção da matéria orgânica em lagoas de estabilização.

## MATERIAL E MÉTODOS

### • Áreas de Estudo

A Estação de Tratamento de Esgoto (Figura 1) estudada localiza-se na cidade de Cacoal, estado de Rondônia, na coordenada 11°26'19"S e 61°26'50"W. Sua topografia é caracterizada por um relevo com elevação média de 200 metros. Segundo a Sedam (2011), o clima da região é do tipo Aw - Clima Tropical Chuvoso (classificação de Köppen), isto é, com estação seca definida. A direção predominante dos ventos é ao Norte. A média anual da precipitação pluvial varia entre 1.400 e 2.500 mm/ano, e mais de 90% desta ocorre na estação chuvosa (o período chuvoso ocorre de outubro a abril e, o período mais seco em junho, julho e agosto, os meses de maio e setembro são considerados de transição). A média anual da temperatura do ar está entre 24 e 26 °C. Através do IBGE (2010) a população de Cacoal é de 77.982 habitantes.

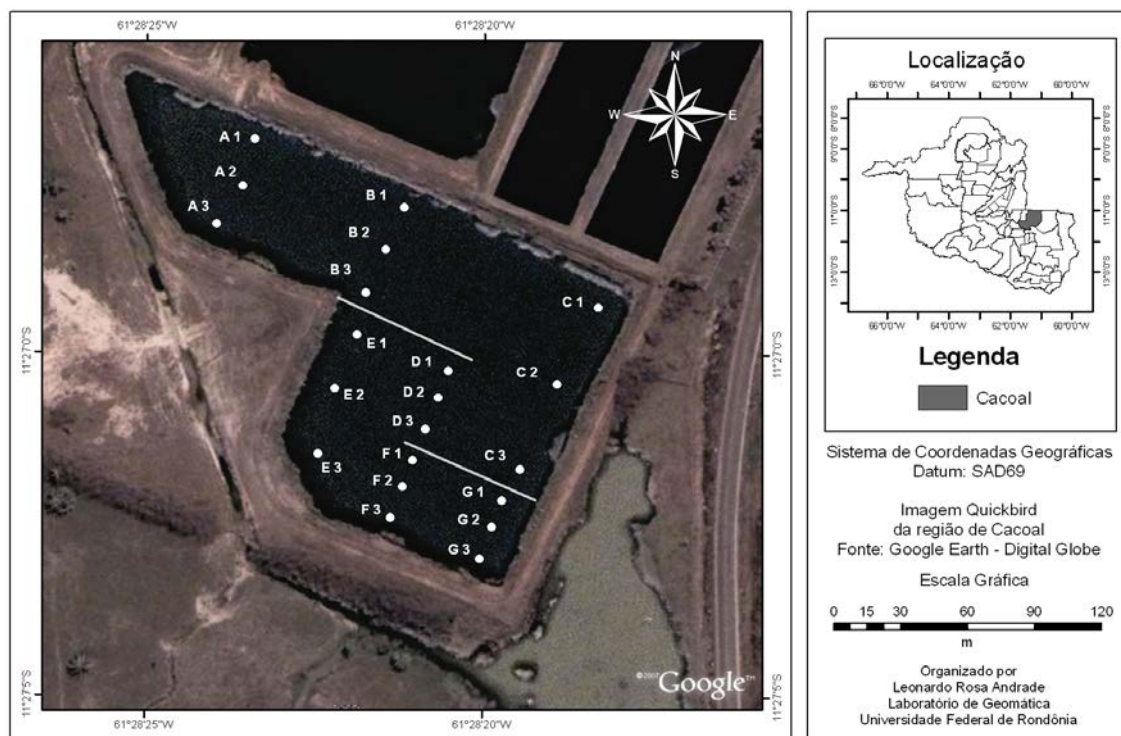
O sistema principal para tratamento de esgoto é composto por duas lagoas anaeróbias funcionando em paralelo seguido de uma lagoa facultativa, inicialmente para atender uma população de 22.500 habitantes. Uma terceira lagoa anaeróbia objeto desse estudo foi concebida no ano de 2009 devido à necessidade de remoção do lodo da lagoa anaeróbia principal. Com isso, o sistema antigo foi desviado para essa nova lagoa com 22846,77 m². O reator no período de coleta estava operando a aproximadamente 14 meses. Nesse período também ocorreu a ampliação do sistema de coleta. Atualmente o sistema conta com 9149 ligações e atende aproximadamente 45% da população do município. A peculiaridade da lagoa estudo trata-se de sua geometria atípica e a presença de chicanas geralmente ausentes na concepção de lagoas anaeróbias.

A lagoa foi dividida em sete seções transversais demarcadas por letras do alfabeto entre A e G, sendo que a demarcação começa na saída da lagoa para entrada. Cada seção possui três armadilhas coletoras de lodo, totalizando vinte e uma armadilhas.

### • Ensaio de Sedimentação

O estudo da sedimentação dos sólidos suspensos foi realizado usando coletores ou armadilhas de sedimentação para coleta do material em sedimentação. As armadilhas confeccionadas em tubo de PVC nas dimensões de 50 mm de diâmetro por 30 cm de comprimento o que dá uma relação  $L/D > 3$  (largura/diâmetro) e diâmetro superior a 40 mm, conforme sugeriu Gonçalves (1999). As armadilhas foram instaladas a 1m da superfície da lagoa, aproximadamente 1/3 da profundidade total da lagoa. Foram empregadas 21 armadilhas em toda a lagoa, divididas em 7 seções de três armadilhas pareadas. A montagem das armadilhas ocorreu no dia 05 de maio de

2010 e a retirada das armadilhas no dia 20 de maio. Totalizando 15 dias de exposição da armadilha, conforme sugere Saraiva (2007). Tempos superiores a 15 dias podem ocasionar na digestão da matéria orgânica coletada.



**Figura 1. Lagoa de estabilização anaeróbia com chicanas em estudo e pontos amostrados.**

- **Determinações de Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e Sólidos Totais Voláteis**

A determinação dos Sólidos Totais – ST, Sólidos Totais Fixos – STF e Sólidos Totais Voláteis – STV, foram realizados segundo a metodologia APHA (1995). Os ensaios foram conduzidos em triplicata. Os valores para cada ponto referem-se à média das triplicatas.

- **Taxa de Sedimentação**

Os ensaios para a determinação das taxas de sedimentação foram realizados no Laboratório de Esgotos do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Rondônia – Campus de Ji-Paraná. A partir da determinação dos sólidos totais procedeu-se o cálculo da taxa de sedimentação. Oliveira et al (2001) sugere a fórmula (Taxa de Sedimentação =  $P_s / n \cdot A \cdot t$ ), onde “ $P_s$ ” é o peso seco dos sólidos totais(g), “ $n$ ” é o número de armadilhas, “ $A$ ” é a área da armadilha(m<sup>2</sup>) e “ $t$ ” o tempo (h). Contudo como esse estudo desejou-se estabelecer a variação da taxa de sedimentação ao longo da lagoa, a taxa de sedimentação foi determinada por ponto. Logo se adaptou os parâmetros estabelecidos por Oliveira et al. (2001). Assim para a determinação da Taxa de Sedimentação, utilizou-se esta fórmula  $P_s/A.t$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Tabela 1 apresenta os valores para as concentrações dos Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e Sólidos Totais Voláteis. Pode ser observado que nas seções “E, F e G” a concentração de Sólidos Totais apresenta valores com maior magnitude de que nas seções A, B, C e D, com exceção do ponto E2. Como pode ser notado o ponto E2 apresentou um indício que há mais fatores que influenciam a concentração de Sólidos Totais do que simplesmente a distância que este se encontra da entrada da lagoa. Outros fatores como a influência dos ventos e a geometria podem estar interferindo na concentração de Sólidos Totais nesse ponto.

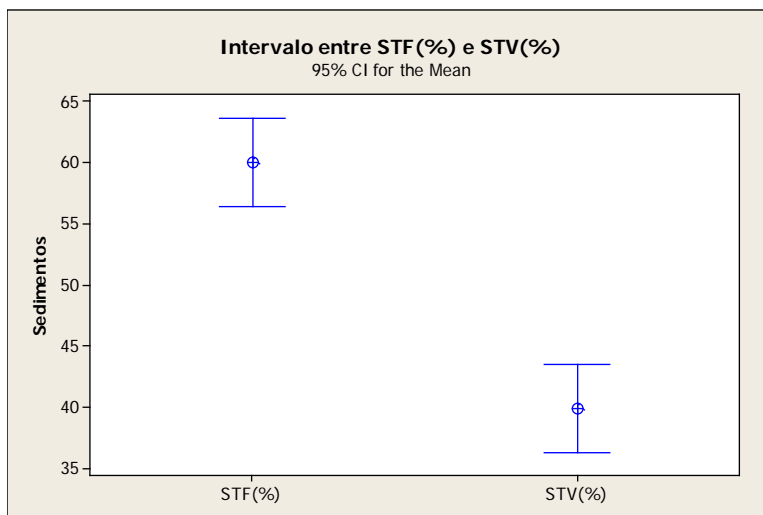
Em quase todos os pontos amostrados o percentual de Sólidos Totais Fixos supera o percentual dos Sólidos Totais Voláteis (Tabela 1), indicando que no sistema está ocorrendo a entrada de uma grande parcela de material inorgânico. A Figura 2 apresenta o intervalo de confiança entre as médias dos STF e STV. Observa-se que a diferença entre as médias é significativa. A entrada da matéria fixa em grande concentração pode estar associada à ineficiência ou inexistência de sistema de caixa de areia, a ligações clandestinas de redes de drenagem pluvial ao sistema de coleta de esgoto e ao destampe das caixas e/ou poços de visitas. Esse tipo de ocorrência é indesejada devido a esse material inerte não sofrer a degradação por microrganismo. Dessa forma esse material será decantado e comprometerá o tempo de vida útil da lagoa.

**Tabela 1. Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e Voláteis.**

Seções	ST (g/L)	STF(g/L)		STV(mg/L)		Seções	ST (g/L)	STF		STV	
		(g/L)	%	(g/L)	%			(g/L)	%	(g/L)	%
A1	1,04	0,62	59,67	0,42	40,33	D3	1,36	0,80	58,82	0,56	41,18
A2	1,30	0,80	61,42	0,50	38,58	E1	17,97	9,10	50,65	8,87	49,35
A3	1,05	0,70	66,24	0,35	33,76	E2	1,43	1,00	69,53	0,44	30,47
B1	1,36	0,84	61,64	0,52	38,36	E3	2,69	1,52	56,33	1,18	43,67
B2	1,07	0,71	66,40	0,36	33,60	F1	15,58	7,94	50,93	7,65	49,07
B3	1,42	0,87	61,43	0,55	38,57	F2	12,04	6,13	50,90	5,91	49,10
C1	1,13	0,77	68,20	0,36	31,80	F3	8,48	4,45	52,39	4,04	47,61
C2	1,14	0,86	75,53	0,28	24,47	G1	55,56	28,11	50,60	27,45	49,40
C3	1,51	1,03	68,51	0,47	31,49	G2	40,28	20,03	49,74	20,24	50,26
D1	1,24	0,84	67,73	0,40	32,27	G3	22,85	11,59	50,71	11,26	49,29
D2	1,12	0,73	64,86	0,39	35,14						

A Tabela 2 mostra os valores da concentração dos Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e Sólidos Totais Voláteis bem como a relação STV/STF. Saraiva (2007) obteve concentrações médias de 65,4 g/L e 13,2 g/L para entrada e saída da lagoa, respectivamente. No presente estudo, as concentrações médias são iguais a 23,57 g/L e 1,23 g/L para entrada e saída da lagoa, respectivamente. Outros resultados que podem ser comparados com Saraiva (2007) são os valores encontrados para a relação Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Totais Fixos. No presente estudo encontrou-se somente um ponto com valor superior a 1. Contudo, Saraiva (2007) não encontrou nenhum valor inferior a 1. No estudo de Saraiva (2007) essa relação ficou entre 1 e 11,7. Ressalta-se que nesse estudo verificou-se o lodo sedimentado nas armadilhas coletoras e o estudo de Saraiva (2007) avaliou o lodo sedimentado no fundo da lagoa. O lodo no fundo da lagoa, devido ao maior tempo que está disponível, pode sofrer a degradação pela ação de microrganismos.

Os valores obtidos sugerem que está ocorrendo uma menor sedimentação dos sólidos totais. O período de coleta ocorreu na transição do período chuvoso e seco o pode ter resultado na diluição dos STs. O valor obtido para a relação STV/STF alcançado no presente estudo é menor do que usualmente encontrado na literatura. Diferente do trabalho de Saraiva (2007) que inferiu que a sedimentação na saída é principalmente devido a sedimentação de algas, nesse estudo verificou que 58 a 78% do sedimento na saída da lagoa é composto de material inerte e o restante poderia ser inferido como a sedimentação de biomassa microbiana.



**Figura 2. Intervalo de Confiança entre as médias dos STF e STV**

**Tabela 2. Valores Médios e variação máxima e mínima da concentração de ST, STF, STV**

Parâmetros	Entrada	Saída
ST (g/L)	23,57	1,23
	1,43- 55,56	1,04 - 1,36
STF (g/L)	15,94	0,80
	1,00 - 28,11	0,62 - 1,43
STV (g/L)	9,67	0,43
	0,44 - 27,45	0,28 - 0,56
STV/STF	0,89	0,54
	0,44 - 1,01	0,32 - 0,70

A variação entre o mínimo e o máximo da taxa de sedimentação das seções divididas entre entrada e saída são apresentadas na Tabela 3. A média apresentada refere-se aos três pontos de cada seção horizontal. Nota-se que a taxa de sedimentação média na entrada é bem maior do que na saída, uma vez que na entrada ocorre a maior parte da estabilização da matéria orgânica e também a sedimentação do material inorgânico. No presente estudo, os valores obtidos para a taxa de sedimentação média foram bem mais elevados que os obtidos por Oliveira et al. (2001), que encontrou valores na faixa de 0,93 e 2,11 gSed/m<sup>2</sup>.h. Conforme pode ser verificado na Tabela 3 o desvio padrão na região de entrada amostrada é muito maior devido ao grande aporte do sedimento que está ocorrendo na entrada e a existência da influência de outros fatores, tais como a direção dos ventos e a geometria.

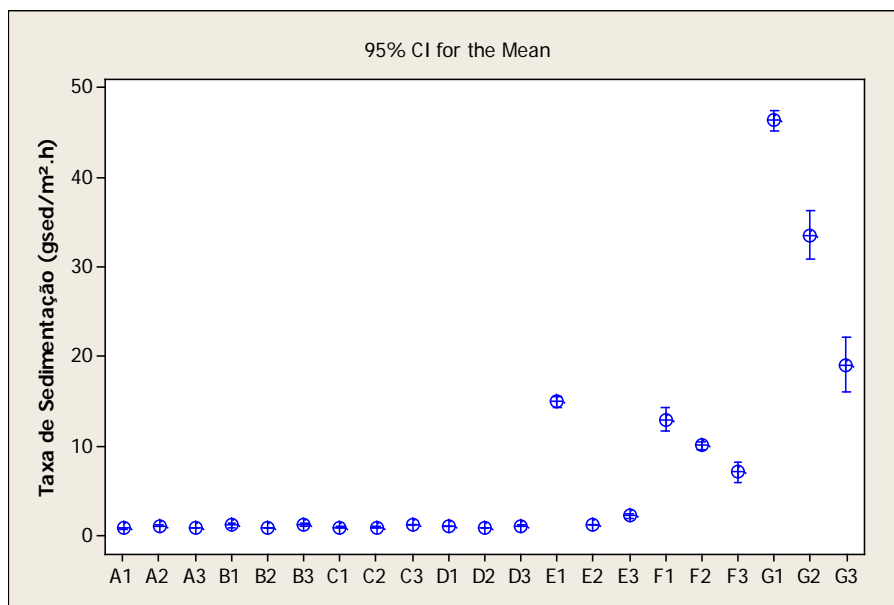
**Tabela 3. Valores médios e faixa de variação da taxa de sedimentação na entrada e saída**

Parâmetro	Dispositivo	Seções	Média	Mín	Máx	Média Dispositivo	Desvio Padrão
Taxa de Sedimentação* G <sub>Sed</sub> /m <sup>2</sup> .h	Entrada	G	32,65	18,86	45,86	24,52	14,36
		F	9,93	7,00	12,86		
		E	6,08	1,18	14,83		
	Saída	D	1,02	0,93	1,12	1,16	0,06
		C	1,04	0,94	1,24		
		B	1,06	0,89	1,17		
		A	0,93	0,86	1,07		

\* (gSed/m<sup>2</sup>.h) = peso seco de sedimento por m<sup>2</sup> de área superficial das seções por hora.



A Figura 3 apresenta o Intervalo de Confiança – IC de 95% para a taxa de sedimentação em todos os pontos da lagoa. Observa-se que entre os pontos A1 e D3 não há uma variação significativa do IC para a taxa de sedimentação. Esse resultado sugere que a taxa de sedimentação na região da saída da lagoa é constante e igual a 1,16 gsed/m<sup>2</sup>.h. Já nos pontos da entrada, há diferença significativa entre os pontos. Os pontos E1, F1 e G1, possuem comportamento similar. O ponto E1 apresenta o maior valor para a taxa de sedimentação da seção E. O mesmo ocorre com os pontos F1 e G1. Portanto pode-se associar a direção predominante dos ventos, que direcionam a partículas para as chicanas e as partículas acabam por sedimentar nessa região. Esse fenômeno evidencia-se ao verificar os pontos E2 E3 onde o vento direciona o fluxo das partículas para o ponto E1 (Figura 4) onde existe a chicana que aprisiona partícula.



**Figura 3. Intervalo de confiança 95% para a taxa de sedimentação nas seções.**

A Figura 4 apresenta o mapa de contorno da distribuição da taxa de sedimentação. É possível observar que nas regiões em que a velocidade é alta a taxa de sedimentação é baixa, enquanto que nas regiões de velocidade baixa a taxa de sedimentação é alta. Por exemplo, na região próxima à segunda chicana (“caminhando” de montante para jusante), a taxa de sedimentação é elevada. Nessa região há uma zona morta e possivelmente esta é uma razão para a alta taxa de sedimentação. Ademais, o vento predominante na região possui direção norte, influenciando na taxa de sedimentação.

Ressalta-se que a taxa de acumulação de lodo em lagoas anaeróbias geralmente não ocorre de forma homogênea, sendo influenciada por fatores como característica do esgoto, tempo de operação do sistema, eficiência do pré-tratamento, posição dos dispositivos de entrada e saída e característica geométricas da lagoa e a carga orgânica aplicada (ALVES, 2006). Adicionalmente, os fatores climáticos tem grande influência na taxa de sedimentação. Uma das influências que podem ocorrer é a ressuspensão do lodo, onde o material sedimentado é reincorporado ao líquido. Essa matéria suspensa pode alterar os valores reais de sedimentação da lagoa, provocando erro nos valores da taxa de sedimentação. No presente estudo não foram realizadas medidas que anteviesse essa reincorporação. Entretanto, uma vez que o tempo de operação do reator é inferior a 14 meses, a ressuspensão não deverá ser muito intensa. Ressalta-se ainda que caso a ressuspensão fosse relevante, ter-se-ia uma sedimentação maior ao longo de pontos próximos a saída da lagoa, uma vez que o fluxo está sendo direcionado para essa região. Os resultados apresentados na Figura 4 não corroboram tal comportamento.

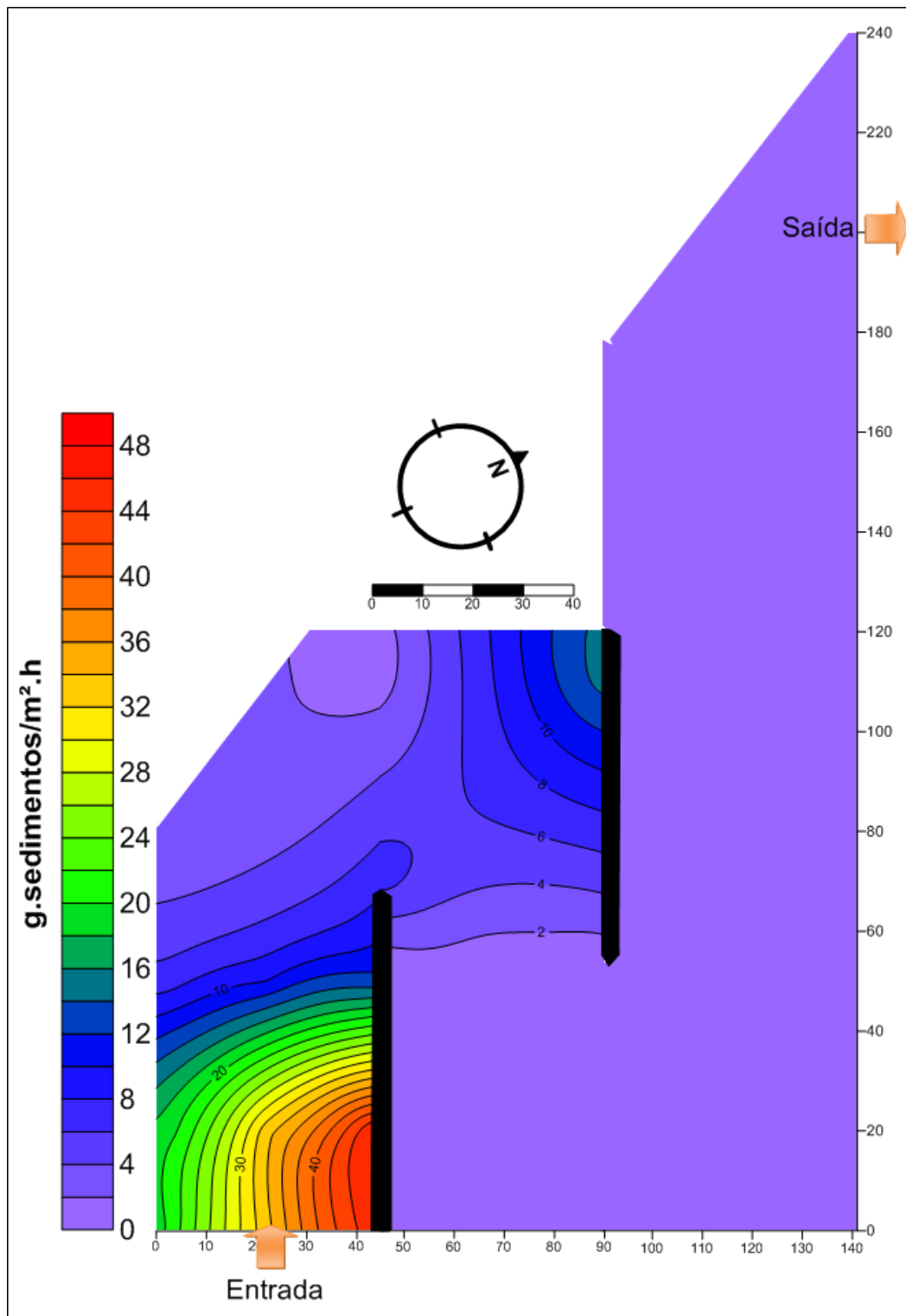


Figura 4. Mapa de contorno da distribuição da taxa de sedimentação.

## CONCLUSÕES

No presente trabalho foram realizadas medidas da taxa de sedimentação em uma lagoa anaeróbia localizada na cidade de Cacoal, Rondônia. Os resultados mostram que fatores tais como a direção predominante do vento e a geometria da lagoa estão influenciando a distribuição da taxa de sedimentação na lagoa. Nas zonas mortas da lagoa, regiões nas quais a velocidade é baixa, a taxa de sedimentação é elevada. Por outro lado, nas regiões em que a velocidade é elevada, a taxa de sedimentação é baixa. Observou-se ainda que a taxa de sedimentação é

maior na região da entrada, conforme usualmente observado na literatura. Ademais, observou-se que uma alta taxa de matéria inorgânica (em relação à matéria orgânica) está entrando no sistema, o que ocasiona a redução do tempo de vida útil da lagoa.

## AGRADECIMENTOS

Registram-se os agradecimentos ao CNPq pelo financiamento do projeto, ao PICIC/UNIR pelo aporte financeiro da bolsa e também a contribuição para a formação científica. A Universidade Federal de Rondônia – UNIR pelo espaço formador do conhecimento. Ao Departamento de Engenharia Ambiental pelo espaço físico, laboratórios, bem como pelos profissionais professores que dispõem incansáveis na luta por dias melhores. Logo, ressalta-se a contribuição da Profa. Renata Gonçalves Aguiar. Ao Sistema Autônomo de Água e Esgoto de Cacoal na pessoa da Maria de Jesus Guimarães de Moraes, pelo o apoio a pesquisa. Aos colegas colaboradores pelo sufrágio, Marcos Leandro Alves Nuñez, Vinicius Alexandre S. Souza, Rafael Henrique Serafim Dias e Harianne Thayrine Muzi Rossetti. As amigas e parceiras do projeto Sandra Ferronato Francener e Edilene da Silva Pereira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, Kleber Gonçalves Bezerra. *Estudo da evolução da camada de lodo da lagoa anaeróbia profunda da pedreira nº 7 do sistema de tratamento de esgotos do Róger na grande João Pessoa – PB*. Campina Grande: UFCG, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande, 2006.
2. APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater 19<sup>th</sup> edition**. Washington: American Public Health Association, 1995.
3. BARROSO, M. M.; CHERUBINI, K. V.; CORDEIRO, J. S. Análise crítica da sustentabilidade ambiental, saneamento e saúde pública no município de Porto Velho. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade? Campo Grande: 2005.
4. GONÇALVES, Ricardo Franci (coord). et al. Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. *Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB*. [S.I.], 1999.
5. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 15 mar. 2011.
6. NELSON, K. L. et al. Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico. *Water Research*, v. 38, p. 111-127, 2004.
7. OLIVEIRA, R. et al. Taxas de sedimentação de material em suspensão com vistas ao fracionamento de fósforo numa lagoa facultativa primária provida de chicanas. In: *Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro (RJ): Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
8. SARAIVA, L .B. Dinâmica de sedimentação de lodo em lagoas de estabilização. Natal: UFRGN, 2007. 107 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
9. SEDAM, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. Climatologia. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/meteorologia/climatologia.html>> Acesso em: 15 mar. 2011.
10. VON SPERLING, M. Lagoas de Estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais: 1996.