

## II-418 - ANÁLISE COMPARATIVA DA SOLUBILIZAÇÃO DE LODO PRIMÁRIO E ANAERÓBIO PRÉ-TRATADOS POR HIDRÓLISE ALCALINA

**Ysa Helena Diniz Morais de Luna**<sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestranda em Ciência e Tecnologia pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

**Wilza da Silva Lopes**<sup>(2)</sup>

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Jose Tavares De Sousa**<sup>(3)</sup>

Professor Doutor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Fernanda Patricio do Monte**<sup>(2)</sup>

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Valderi Duarte**<sup>(3)</sup>

Professor Doutor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Golfo de San Fernando, 210 – Intermares – Cabedelo – PB – CEP: 58102-138 – Brasil; e-mail: ysa\_luna@outlook.com

### RESUMO

O tratamento anaeróbico do lodo biológico é dificultado pela complexidade das substâncias formadoras dos flocos, grânulos e biofilmes, fazendo-se indispensável uma etapa de pré-tratamento empregada de modo a elevar a solubilização dos materiais. No presente trabalho os lodos provenientes de reatores anaeróbios de fluxo ascendente de TRC de 2 e 8 dias (fase acidogênica) foram submetidos à solubilização a partir do pré-tratamento químico alcalino, consistindo na utilização de NaOH para alcançar pH 12, sob agitação por 48 horas em 28°C. Objetivou-se avaliar o aumento da solubilização dos materiais orgânicos nos lodos de 2 e 8 dias e no lodo primário. Os resultados dos materiais orgânicos solúveis nos lodos de 2 e 8 dias, apresentaram incremento nas concentrações de 14 e 28 vezes para COD, 20 e 40 vezes para DQO solúvel, 21 e 63 vezes para carboidratos e 31 e 60 vezes para proteínas, respectivamente. Evidencia-se em todos os parâmetros analisados uma maior solubilização no lodo de 8 dias em relação ao lodo de 2 dias, mostrando assim ser interessante a utilização de reatores anaeróbios de baixo TRC para gerar um lodo que após hidrolisado, solubilize seus materiais e seja degradado mais rapidamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo anaeróbico, Tratamento de lodo, Hidrólise alcalina.

### INTRODUÇÃO

Os sistemas de tratamentos de esgotos sanitários devem conjugar baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e sustentabilidade do sistema como um todo, bem como devem conciliar o tratamento de esgotos com a recuperação e a utilização de seus subprodutos.

Os lodos gerados no tratamento de esgotos são geralmente classificados conforme a fase do tratamento em que foram originados, como lodo primário, o qual é relativamente de fácil degradação, e lodo secundário que é mais complexo, uma vez que possui considerável quantidade de material microbiano, considerado refratário e de difícil degradação por meios biológicos (SPEECE, 2007).

Ao se aplicar o tratamento biológico ao lodo de esgoto, a digestão anaeróbia é considerada como a opção mais sustentável, devido à opção de destinar o resíduo para fins mais ecológicos (biossólido), bem como pela possibilidade de obtenção de biogás, e ainda por apresentar um custo relativamente baixo (RANI et al., 2012).

A hidrólise é o fator limitante na digestão anaeróbia (APPELS et al., 2008; GAVALA et al., 2003), isso se explica uma vez que é o processo que degrada tanto compostos insolúveis orgânicos quanto compostos de alto peso molecular (tais como os lipídios, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos) à substâncias orgânicas solúveis, as quais são utilizadas como substrato nas demais etapas da digestão anaeróbia.

No entanto, a hidrólise também pode representar um método de pré-tratamento, que visa à desintegração do lodo e a solubilização de seus materiais, acelerando assim a digestão anaeróbia, tendo como consequência o aumento na eficiência do tratamento do lodo (RANI et al., 2012).

Um elevado número de métodos de solubilização baseados em diferentes princípios operacionais de pré-tratamento vem sendo desenvolvidos e investigados de modo a aprimorar as técnicas de solubilização dos sólidos do lodo, dentre estes, os pré-tratamentos químicos, térmicos, biológicos, mecânicos, e a combinação destes, aumentando assim o material orgânico solúvel disponível para o processo de digestão do lodo (APPELS, et al., 2008; CHEN et al., 2007; KIM et al., 2003; NEYENS et al. 2003; SCHIEDER et al., 2000; XU et al., 2014).

Salienta-se que no tratamento dos lodos biológicos originados do tratamento secundário do esgoto, diversos processos são utilizados e dentre eles o pré-tratamento alcalino (que consiste em elevar o pH do lodo) para solubilizar substâncias, uma vez que a condição alcalina promove reações de solvatação e saponificação, que induzem uma intumescência dos sólidos, aumentando a superfície de contato, deixando os substratos facilmente acessíveis aos microrganismos anaeróbios (ARIUNBAATAR et al. 2014; NEYENS et al. 2003).

Neste trabalho amostras de lodo primário e de lodo anaeróbio produzidos em reatores de tempo de retenção celular (TRC) de 2 e 8 dias, foram submetidas ao pré-tratamento alcalino para obter informações acerca da solubilização de seus constituintes.

A proposta deste trabalho ao avaliar a solubilização de lodo anaeróbio originado em reatores anaeróbios de baixo TRC e compará-la com a solubilização de lodo primário é, verificar a viabilidade de substituir decantadores primários para produzir lodo de volume menor ou equivalente ao primário, no entanto com maior concentração de material orgânico complexo, que ao passar por pré-tratamento de hidrólise alcalina resulte em elevadas concentrações de material solúvel.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os lodos anaeróbios utilizados no experimento foram produzidos por reatores anaeróbios de fluxo ascendente (em escala de bancada), com volume de 2 L, tempo de detenção hidráulico (TDH) de 4 horas, vazão de 12 L/d e tempo de retenção celular (TRC) de 2 e 8 dias, instalados e operados nas dependências da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), local pertencente à Universidade Estadual da Paraíba (Campus I – Campina Grande/PB).

Para a obtenção do lodo primário (LP) coletou-se 50L de esgoto, proveniente do interceptor leste da rede coletora da cidade de Campina Grande (PB), do qual foi retirado uma amostra de 1 L do material sedimentado após 1 hora de repouso.

O ensaio de solubilização (Figura 1), baseado nos experimentos realizados por Monte et al. (2017), foi realizado em amostras de 100 mL dos lodos primário e anaeróbios de 2 (L2) e 8 (L8) dias de TRC, em triplicata, submetido à condição alcalina de pH 12 com adição de hidróxido de sódio (NaOH), sob à agitação de 200 rotações por minuto (rpm) em mesa agitadora (New BrunswickScientific, mod. G 33) por 48 horas à temperatura ambiente de aproximadamente 28°C. Após o término do período de agitação foi necessário neutralizar as amostras com ácido clorídrico (HCl) para cessar a condição alcalina e, então, proceder as análises físico-químicas.



**Figura 1. Experimento de hidrólise alcalina para os lodos estudados.**

Fonte: Autora, 2016.

Os lodos apresentaram concentrações de sólidos totais (ST) de 15 g/L, 14 g/L e 19 g/L para o LP, L2 e L8, respectivamente, e para determinar a quantidade de NaOH necessária para elevar o valor do pH foi feita uma padronização, com 20 mL de amostra de cada um dos lodos. Utilizando um medidor de pH foi adicionado gradativamente uma solução de NaOH na concentração de 1 N até a amostra atingir pH 12. Esse volume então foi transformado para peso seco de NaOH equivalente, então, a relação quantitativa direta foi feita para quantificar a massa de NaOH necessária para alcalinizar à pH 12 as amostras de 100 mL de lodo. O mesmo procedimento foi feito para baixar o pH próximo a 7, após a realização da hidrólise, com o HCl. As dosagens de NaOH e de HCl para os lodos LP, L2 e L8 são mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1. Valores gastos de NaOH e de HCL no processo de solubilização dos lodos.**

Lodo	Concentração de ST (g/L)	Massa de NaOH (g)	Volume de HCl (mL)
LP	15	0,24	0,5
L2	14	0,28	0,5
L8	19	0,32	0,6

Para prosseguir as análises das frações solúveis dos lodos após o pré-tratamento foi efetuada a preparação das amostras através da filtração das amostras em membrana de fibra de vidro (GF-2, diâmetro 47 mm) de poro de 0,45µm.

Foram realizadas as análises de Sólidos Dissolvidos e suas frações (SD), Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK) solúvel, Fósforo Total solúvel, Demanda Química de Oxigênio solúvel (DQO<sub>s</sub>), Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Proteínas e Carboidratos (Produtos Microbianos Solúveis - SMP) foram quantificadas pelos métodos apresentados na Tabela 2.

Para avaliar o processo de solubilização dos materiais contidos nas amostras de lodo foram realizadas análises das concentrações solúveis antes e depois do pré-tratamento. Na Figura 2 pode-se observar amostras brutas filtradas antes da hidrólise (amostras mais claras) e amostras hidrolisadas depois da filtração (amostras mais escuras).

Tabela 2. Análises realizadas para a caracterização dos lodos anaeróbios estudados.

ANÁLISE	REFERÊNCIA
Sólidos e suas frações	APHA (2012)
DQO solúvel	Refluxação Fechada, APHA (2012)
NTK	Método Macro Kjeldahl, APHA (2012)
Fósforo total	Método do Ácido Ascórbico, APHA (2012)
Carboidratos	Dubois et al. (1956)
Proteínas	Lowry (mod. by Frølund et al. (1995)).
COD	Método Combustão a alta temperatura, APHA (2012)



Figura 2. Amostras filtradas antes (mais claras) e depois (mais escuras) da hidrólise.

Fonte: Autora, 2016.

## RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os valores médios dos parâmetros avaliados para quantificação do material solúvel para os lodos primário e anaeróbio (LP, L2 e L8) antes e após o processo de hidrólise alcalina.

Tabela 3. Valores médios antes e depois da solubilização dos lodos.

	LP		L2		L8	
	BRUTO	HIDROLISADO	BRUTO	HIDROLISADO	BRUTO	HIDROLISADO
SDT <sup>1</sup> (g/L)	1,51	7,10	1,99	7,83	1,62	9,29
SDV <sup>2</sup> (g/L)	0,42	2,40	0,44	2,53	0,38	3,83
SDF <sup>3</sup> (g/L)	1,09	4,70	1,55	5,30	1,23	5,46
COD (g/kg ST)	2,04	16,12	1,39	19,80	0,74	20,90
DQO (g/kg ST)	17,49	217,95	11,93	242,82	6,75	271,18
FÓSFORO (g/kg ST)	1,46	2,21	1,32	2,30	0,64	2,55
NTK (g/kg ST)	6,07	17,32	10,65	24,13	4,22	23,16
CARBOIDRATOS (g/kg ST)	0,97	17,00	0,90	18,98	0,39	24,63
PROTEÍNAS (g/kg ST)	4,55	112,59	4,11	128,16	2,27	134,32

<sup>1</sup>Sólidos dissolvidos totais; <sup>2</sup>Sólidos dissolvidos voláteis; <sup>3</sup>Sólidos dissolvidos fixos.

- Solubilização de Sólidos, COD e DQOs

Verificou-se um aumento na fração dissolvida nos lodos observados, e foi de aproximadamente 5,7 vezes na concentração dos sólidos dissolvidos voláteis dos LP e do L2, e para o L8 esse aumento foi de 9,95 vezes.

Observando os dados de COD (Figura 3), verificou-se que a solubilização desse material ocorreu em maior quantidade no L8 alcançando um valor 28 vezes maior do que no lodo antes da solubilização. O LP e o L2 apresentaram um aumento de 8 e 14 vezes a quantidade de COD, apesar do L2 ter baixo TRC, ele apresentou um aumento do material solúvel maior que o LP refletindo resultados com elevada diferença.

Assim como no COD, as concentrações de DQO<sub>s</sub> (Figura 4) também apresentaram concentrações maiores. Neste parâmetro, o L8 aumentou sua concentração 40 vezes, ao mesmo tempo em que o LP e o L2 tiveram um aumento de 12 e 20 vezes, respectivamente.

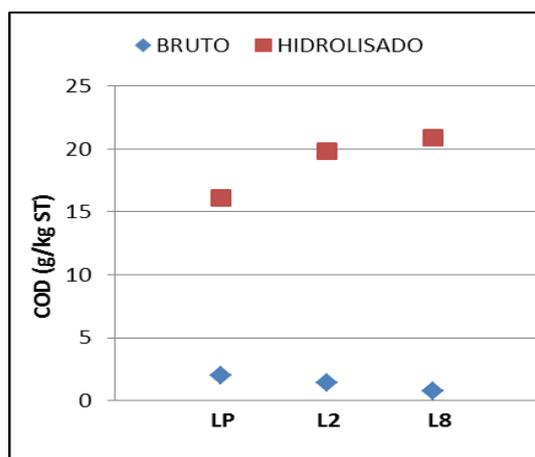


Figura 3. Solubilização de COD.

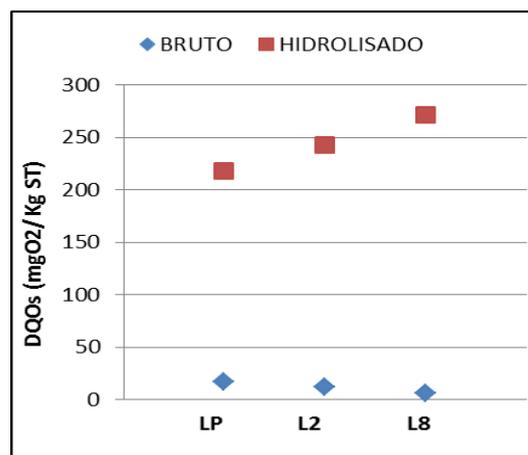
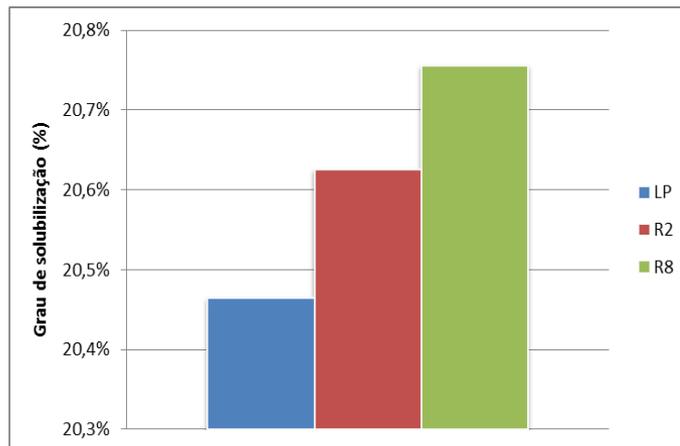


Figura 4. Solubilização de DQOs.

Em seu estudo Chen et al. (2007) obtiveram valores de DQOs 17 vezes mais elevadas após a hidrólise alcalina, seguindo o mesmo comportamento do lodo do presente estudo. Kim et al. (2003) afirmam que ocorre a saponificação dos ácidos urânicos e dos ésteres acetil, assim como a neutralização de vários ácidos formados pela degradação dos particulados, elevando assim a DQO solúvel.

Xu et al. (2014) observaram um aumento da DQO<sub>s</sub> de até 100 vezes mais do que a DQO<sub>s</sub> do controle, concluindo que o pré-tratamento pode ser eficiente para destruir a estrutura das células, liberando o conteúdo orgânico intracelular. Estes autores também calcularam o grau de solubilização, sendo de 44,24% da DQO para o pré-tratamento alcalino, o maior de todos os pré-tratamentos estudados. No presente estudo, os graus de solubilização alcançados foram de 20,5% para o LP, 20,6% para o L2 e 20,8% para o L8. Tais resultados não se aproximam dos resultados de Xu et al. (2014), bem como não apresentam diferenças significativas entre os lodos.

A Figura 5 apresenta o grau de solubilização para o LP, R2 e R8 após a hidrólise alcalina. Os valores de grau de solubilização foram LP < L2 < L8 e foram obtidos a partir dos valores das concentrações da DQO solúvel dos lodos. No entanto, não houve variações significativas entre os lodos, apresentando um percentual de solubilização em torno de 20%. No estudo realizado por Xu et al. (2014) utilizando hidrólise alcalina, em pH 10 por 8 dias, em lodo ativado o grau de solubilização foi de 44,2 %.



**Figura 5. Grau de solubilização para o LP, L2 e L8.**

- *Solubilização de Carboidratos e Proteínas*

A literatura cita o aumento da solubilização dos carboidratos e proteínas em condições semelhantes às aplicadas neste estudo. Chen et al. (2007) obtiveram que os pHs alcalinos apresentam quase os mesmos efeitos na solubilização de proteínas e carboidratos como teve na DQOs, apresentando um aumento de 7,8 vezes nas concentrações de carboidratos e 9,4 vezes na de proteínas após a hidrólise em pH 12.

Xu et al. (2014) observaram um aumento significativo nas concentrações de proteínas e carboidratos na solubilização de lodo no processo de pré-tratamento alcalino, no qual o parâmetro carboidratos apresentou concentração de 15,97 g/kg ST antes da hidrólise e, após esta, um valor 2,8 vezes maior, de 44,64 g/kg ST para carboidratos, enquanto que para proteínas o controle apresentou valor de 5,71 g/kg ST e o lodo hidrolisado 17,2 g/kg ST, significando que sua concentração aumentou 3 vezes após a solubilização.

Monte et al. (2017) verificaram que o lodo sem tratamento apresentava concentração de 4,55g/kg ST para proteína e 0,8g/kg ST para carboidrato, e a solubilização em pH 12 levou ao aumento das concentrações a 119,6g/kg ST e 29,5g/kg ST, obtendo concentrações de proteína e carboidrato 21,6 e 29,4 vezes maiores do que a concentração do lodo não hidrolisado.

Neste estudo observando os dados da Tabela 3 foi identificado que os valores de proteínas (Figura 6) nos lodos estudados foram mais representativos em quantidade do que os de carboidratos. A partir dos resultados percebe-se a eficiência do processo de hidrólise alcalina, uma vez que o lodo primário passou de 4,55 g/Kg de ST para 112,59 g/Kg de ST, resultando em um aumento de 25 vezes. Já o L2 foi de 4,11 g/Kg de ST para 128,16 g/Kg de ST, aumentando 31 vezes. E o L8 foi de 2,27 g/Kg de ST para 134,32 g/Kg de ST, aumentando a concentração de proteínas 59 vezes, conforme mostrado na Figura 4.

No que se refere aos valores de carboidratos (Figura7) ocorreu também uma elevada solubilização desse material, obtendo valores próximos no LP e L2, com aumento de 17 a 21 vezes na solubilização e um aumento acentuado no L8, chegando a apresentar uma quantidade 63 vezes maior do que antes do processo de hidrólise.

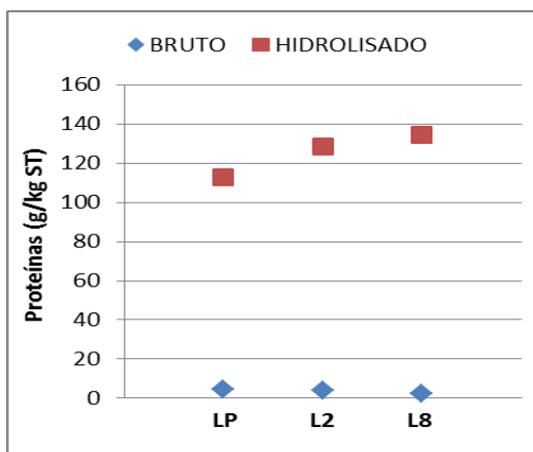


Figura 6. Solubilização de Proteínas.

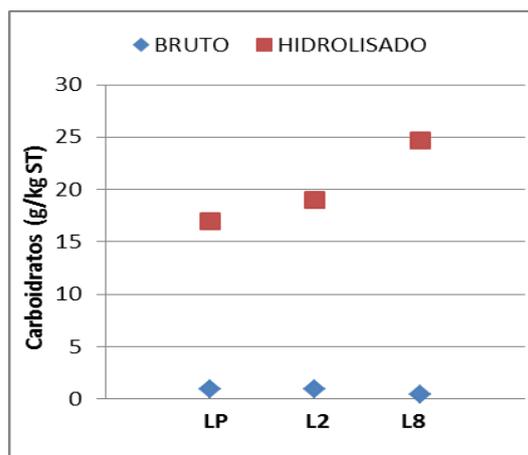


Figura 7. Solubilização de Carboidratos.

De modo a facilitar a compreensão dos resultados obtidos neste trabalho, a Tabela 4 foi elaborada mostrando os resultados quantitativos, calculados em gramas por quilograma de sólidos totais (g/Kg<sub>ST</sub>), deste e de trabalhos citados na discussão.

Tabela 4. Comparativo da solubilização de Carboidratos, Proteínas e DQOs<sub>s</sub> (g/Kg<sub>ST</sub>).

Condições da Hidrólise	Lodos estudados			Monte et al., 2017	Xu et al., 2014	Chen et al., 2007
	Lodo Anaeróbico (TRC 2 dias) pH 12 <sub>s</sub> 48h	Lodo Anaeróbico (TRC 8 dias) pH 12 <sub>s</sub> 48h	Lodo Primário (pH 12 <sub>s</sub> 48h)	Lodo ativado (TRC 2 dias) pH 12 <sub>s</sub> 48h	Lodo Ativado (pH 10 <sub>s</sub> 192h)	Lodo Ativado (pH 11 <sub>s</sub> 48h *)
Carboidratos	19,0	24,6	17,0	29,5	44,6	8,7
Proteínas	128,1	134,3	112,6	115,1	17,2	65,2
DQOs <sub>s</sub>	242,8	272,2	217,9	---	547,0	50,7

\*Valores aproximados nas 48h

Após a solubilização pelo processo de hidrólise alcalina as quantidades obtidas de carboidratos, proteínas e DQOs foram satisfatórias visto que se assemelharam aos trabalhos de Monte et al. (2017), os quais usaram as mesmas condições do experimento aplicado no lodo ativado, e superou os dados reportados por Chen et al. (2007). Ao comparar os dados deste trabalho com Xu et al. (2014) observou-se que os dados de carboidratos e DQOs foram maiores, provavelmente devido ao maior tempo de reação adotado pelos autores.

Após a comparação quantitativa vê-se que os lodos anaeróbios solubilizados a pH 12 desse estudo apresentaram resultados satisfatórios e corroboram com a literatura, mostrando o potencial deste material em ser submetido ao pré-tratamento com o intuito de minimizar os problemas de limitações gerados na fase da hidrólise e resultar numa maior eficiência do processo de digestão anaeróbia no tratamento do lodo de esgoto.

- Solubilização do NTK e Fósforo Solúvel

A hidrólise alcalina aplicada no LP, L2 e L8 proporcionou um aumento do teor de material solúvel para todos os parâmetros. A partir do processo de hidrólise houve um aumento de nitrogênio solúvel de 2,9, 2,3 e de 5,5 e de fósforo solúvel de 1,5, 1,7 e 4,0 para o LP, L2 e L8, respectivamente. Sendo o L8 o que apresentou uma melhor solubilização nestes parâmetros.

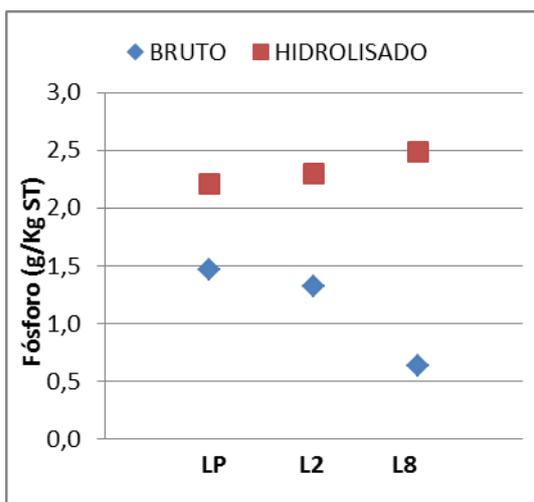


Figura 8. Solubilização de Fósforo.

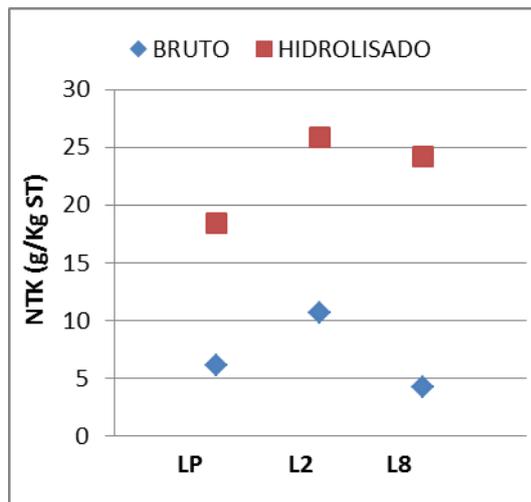


Figura 9. Solubilização de NTK.

No presente estudo para os parâmetros de fósforo e nitrogênio não foi observada solubilização tão acentuada quanto a observada nos demais parâmetros citados anteriormente, como pode-se observar nas Figuras 8 e 9. Chen et al. (2007) observaram aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo em hidrólise com valores de pHs ácidos entre pH 4 e 5e, uma razão possível, pode ser que em condições alcalinas, as enzimas hidrolíticas tenham sua atividade diminuída.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Os resultados da solubilização, após pré-tratamento alcalino, dos materiais orgânicos complexos no L2 e L8 apresentaram incremento nas concentrações de 14 e 28 vezes para COD, 20 e 40 vezes para DQOs, 21 e 63 vezes para carboidratos e 31 e 60 vezes para proteínas, respectivamente. Evidencia-se em todos os parâmetros analisados maior solubilização no L8.

A solubilização do lodo L2 apresentou maiores valores nas concentrações de COD, DQOs, proteínas e carboidratos do que o lodo primário solubilizado e, nos parâmetros sólidos voláteis, NTK e fósforo, os lodos apresentaram concentrações semelhantes. Deste modo, o lodo primário e o L2 apresentaram diferenças significativas nos resultados da solubilização.

O L8 foi o lodo que apresentou maiores concentrações de material solúvel orgânico, mostrando ser interessante a utilização de reatores anaeróbios de baixo TRC para gerar um lodo que quando hidrolisado, se solubilize mais do que o lodo do decantador primário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: 22 ed. Washington, p. 1360, 2012.
2. APPELS, L.; BAEYENS, J.; DEGREVE, J.; DEWIL, R. Principles and potential of the anaerobic digestion os waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science. Vol.34. p.755-781. 2008.
3. ARIUNBAATAR, J.; PANICO, A.; ESPOSITO, G.; PIROZZI, F. Lens, P. N. L.; Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. Applied Energy, vol123, p.143-156, 2014
4. CHEN, Y.; JIANG, S.; YUAN, H.; ZHOU, Q.; GU, G.; Hydrolisis and acidification of waste activated sludge at different pHs. Water Research, n41, p. 883-689, 2007.

5. DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, n. 28, p. 350-356, 1956.
6. GAVALA, H. N., YENAL, U., SKIADAS, I. V., WESTERMANN, P., AHRING, B. K.; Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature. *Water Research*, Vol 37, pgs 4561–4572, 2003.
7. KIM, J.; PARK, C.; KIM, T.; LEE, M.; KIM, S.; KIM, S-W.; LEE, J.; Effects of Various Pretreatments for Enhanced Anaerobic Digestion with Waste Activated Sludge. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol 95, n.3, p.271-275. 2003.
8. LOWRY, O., ROSEBROUGH, N., FARR, A., RANDALL, R; Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193, P.265–275, 1951.
9. MONTE, F. P.; BRITO, A. L. M.; LOPES, W. S.; CEBALLOS, B. S. O.; Aumento da produção de biogás (metano) a partir da solubilização de lodos de esgotos. In: Giselle Medeiros da Costa One; Helder Neves de Albuquerque (ORGs). *Saúde e Meio Ambiente: os desafios da interdisciplinaridade nos ciclos da vida humana*. Instituto Bioeducação – IBEA - Campina Grande - PB p. 276-294, 2017.
10. NEYENS, E.; BAEYENS, J. A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability. *Journal of Hazardous Materials*, n. B98, p. 51-67, 2003.
11. RANI, R.U.; KALIAPPAN, S.; KUMAR, S.A.; BANU, J.R. Combined treatment of alkaline and disperser for improving solubilization and anaerobic biodegradability of dairy waste activated sludge. *Bioresource Technology*, n. 126, p. 107-116, 2012.
12. SCHIEDER, D.; SCHNEIDER, R.; BISCHOF, F. Thermal hydrolysis (TDH) as a pretreatment method for the digestion of organic waste. *Water Science and Technology*, vol 41, n° 3, p. 181-187, 2000.
13. SPEECE, R. E; Anaerobic biotechnology and odor/corrosion control for municipalities and industries. Nashville, Archae Press, p. 586, 2007.
14. XU, J.; YUAN, H.; LIN, J.; YUAN, W.; Evaluation of thermal, thermal-alkaline, alkaline and electrochemical pretreatments on sludge to enhance anaerobic biogas production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 45, p. 2531–2536, 2014.