

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SOLAR PARA ELIMINAÇÃO DO ÁCIDO CIANÍDRICO DE EFLUENTES DE CASA DE FARINHA.

Cyrus Santos Rebouças¹, cyrus_reboucas@yahoo.com.br.

Antônio Martins de Oliveira Junior², amartins.junior@gmail.com.

Gabriel Francisco da Silva³, gabriel@ufs.br.

Isabelly Pereira da Silva⁴, isabelly@ufs.br.

Andréa Gonçalves Bueno de Freitas⁵, andreafreitas@eq.ufrj.br.

Carla Crislan de Souza Bery⁶, crisbery@ig.com.br.

Dian Souza de Oliveira³, dian.souza@hotmail.com.

Carla Corina dos Santos Porto³, carlacorina@hotmail.com.br.

¹-PEQ/UFS, Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos. Av. Marechal Rondon, s/n, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Jardim Rosa Elze - CEP 49100-000 - São Cristóvão/SE.

²-DTA/UFS, Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos. Av. Marechal Rondon, s/n Departamento de Tecnologia de Alimentos. Jardim Rosa Elze - CEP 49100-000 - São Cristóvão/SE.

³-NUPETRO/UFS, Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos. Av. Marechal Rondon, s/n Nucleo de Graduação em Engenharia de Petróleo. Jardim Rosa Elze - CEP 49100-000 - São Cristóvão/SE.

⁴- NPR/UFS, Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos. Av. Marechal Rondon, s/n Nucleo de Engenharia de Produção. Jardim Rosa Elze - CEP 49100-000 - São Cristóvão/SE.

⁵-TPQB/EQ/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo, 2030, Escola de Química – EQ, Edifício do Centro de Tecnologia, Bloco E / sala 200, Cidade Universitária - CEP: 21941-909 – Rio de Janeiro/RJ.

⁶-RENORBIO/UFS, Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos. Av. Marechal Rondon, s/n. Jardim Rosa Elze - CEP 49100-000 - São Cristóvão/SE.

Resumo: A manipueira, líquido tóxico extraído da mandioca no processamento da farinha, rica em potássio, fósforo, nitrogênio e outros nutrientes, quando não tratada, pode trazer alguns danos à saúde provocados pelo seu forte odor, além de contribuir para a proliferação de insetos e outros vetores prejudiciais à saúde. Em grande quantidade, a manipueira torna-se um efluente poluente, devido à elevada carga de matéria orgânica e de ácido cianídrico, podendo intoxicar os animais e contaminar as águas de cisternas. O objetivo deste trabalho é avaliar a cinética de remoção do ácido cianídrico (HCN) presente na manipueira, coletada de casas de farinhas do estado de Sergipe, utilizando como meio de remoção do mesmo um sistema solar, conhecido como concentrador solar do tipo linear, de seção parabólica, cilíndrico e articulado em apenas um eixo. Foram utilizadas amostras de manipueira de duas diferentes casas de farinhas do estado de Sergipe, com concentrações de ácido cianídrico de 100 mg/L e 400 mg/L. Para cada amostra de manipueira utilizada no concentrador solar em função da vazão de entrada no sistema solar foram estabelecidos tempos de processo de três e seis horas. Os experimentos foram conduzidos em concentrador solar, desenvolvido e em processo de patenteamento. Ao final dos experimentos no concentrador solar foi constatado que houve redução da concentração inicial em torno de 85,7% para o processo com seis horas e 50% de redução para o processo com três horas, independente da concentração da manipueira estudada.

Palavras-chave: Concentrador Solar; Manipueira; Ácido Cianídrico.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), da família das Euforbiáceas, é uma espécie de origem latino-americana e sua produção está voltada principalmente para o consumo humano. Mais de 80 países produzem mandioca, sendo que o Brasil participa com mais de 75% da produção da América Latina, com cerca de 15 milhões de toneladas de raízes. De fácil adaptação, a mandioca é cultivada em todos os estados brasileiros, situando-se entre os nove primeiros produtos agrícolas do País, em termos de área cultivada com 1,9 milhões de hectares, e o sexto em valor de produção com 26,1 milhões de toneladas (IBGE, 2012).

A cultura da mandioca é considerada a principal fonte de carboidrato para mais de 925 milhões de pessoas, sobretudo nos países em desenvolvimento; tendo a Nigéria como o maior produtor mundial de mandioca no ano de

2011, com 52.403 milhões de toneladas, seguida pelo Brasil e Indonésia cujas produções foram iguais a 25.441 e 24.010 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2011). Das regiões fisiográficas brasileiras, a região Nordeste foi a que mais produziu mandioca, aproximadamente oito milhões de toneladas no ano de 2011; dentre os estados da referida região brasileira, os três maiores produtores foram: Bahia, que produziu 2.966.230 toneladas de mandioca; Ceará e Pernambuco cujas respectivas produções foram de 836.606 e 520.330 toneladas (IBGE, 2011).

Do beneficiamento das raízes de mandioca para fabricação de farinha de mesa e fécula são gerados dois tipos de resíduo: a) sólidos, compostos pelas partes lenhosas das raízes, pelas porções fibrosas retidas em peneiras e pelos bagaços da mandioca e b) líquidos, constituídos da água de lavagem das raízes e da água de prensagem da mandioca, esta última comumente denominada manipueira (Inoue *et al.*, 2010). As águas de lavagem são produzidas em maior quantidade sendo obtidos, em média, 2 m³ por tonelada de mandioca processada e a manipueira; para esta mesma quantidade de raízes (1 tonelada) é gerado um volume médio igual a 0,25 L (Nasu *et al.*, 2010).

Dentre os diversos subprodutos gerados no processamento da mandioca tem-se a manipueira, líquido leitoso amarelo-claro resultante da prensagem da massa ralada das raízes de mandioca utilizadas para a produção de farinha e do processo de extração e purificação da fécula. A manipueira é um resíduo líquido rico em açúcares, amidos, proteínas, linamarina, sais e outras substâncias. De todos os resíduos advindos do processamento da mandioca, este é o mais poluente e tóxico, pois possui elevada carga orgânica e a linamarina, que é um glicosídeo cianogênico, do qual provém o ácido cianídrico (HCN), os quais podem trazer sérios problemas ambientais, como: redução do oxigênio dissolvido e eutrofização dos corpos d'água, morte da fauna aquática e dos animais que consomem a água com excesso de gás cianídrico (Campos *et al.*, 2006; Fioreto, 1987). Embora a manipueira seja um resíduo que apresenta riscos quando descartado "in natura" no meio ambiente, a presença de nutrientes, sobretudo do potássio, do magnésio, do nitrogênio e do fósforo, sustenta a possibilidade de seu uso como fertilizante na atividade agrícola (Cardoso *et al.*, 2009).

O objetivo deste trabalho é avaliar a cinética de remoção do ácido cianídrico (HCN) presente na manipueira, coletada de casas de farinhas do estado de Sergipe, utilizando como meio de remoção do mesmo um sistema solar, conhecido como concentrador solar do tipo linear, de seção parabólica, cilíndrico e articulado em apenas um eixo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Matéria Prima

As amostras de manipueira utilizadas nos ensaios foram coletadas em duas casas de farinha, localizadas no município de Itaporanga d'Ajuda, povoado Sapé, no período compreendido entre Agosto e Dezembro de 2012. A parte experimental foi realizada no Laboratório de Tecnologia Alternativas (LTA) da Universidade Federal de Sergipe, onde foram conduzidas as análises de redução do ácido cianídrico. O resíduo líquido coletado, a jusante das prensas da massa ralada de mandioca nas casas de farinha, foram acondicionados em recipientes de 60 litros e transportados para o laboratório (LTA), sendo armazenado a 5°C em câmara fria.

2.2. Concentrador Solar

O concentrador solar utilizado é do tipo linear, de seção parabólica e articulado em apenas um eixo. O sistema piloto construído funciona apenas com energia solar e foi construído para ser utilizado em plataforma fixa, possui roldanas para facilitar o transporte, a movimentação e adequação no ângulo correto para a captação da luz solar, conforme apresentado na Figura 1.

O desenho esquemático do concentrador solar é apresentado na Fig. 2 com as seguintes partes: parte interna do concentrador solar, onde ocorre a troca térmica (1); tubo trocador de calor, denominado canaleta, montado no interior do sistema, seccionado em dois terços do diâmetro sendo que a secção de um terço foi soldada com concavidade para cima na secção de dois terços e acoplado um tubo no seu interior axialmente (2), tampos inclinados de vidro transparente (3), superfície espelhada refletora de luz solar (4), superfície preta ou fosca absorvedora (5), tubo conector para saída dos gases oriundos da canaleta (6); tubo pré-aquecedor (7); saída de manipueira concentrada (8); tubo de entrada da manipueira (9); e tubo de saída de água condensada no vidro (10).



Figura 1. Foto concentrador solar.

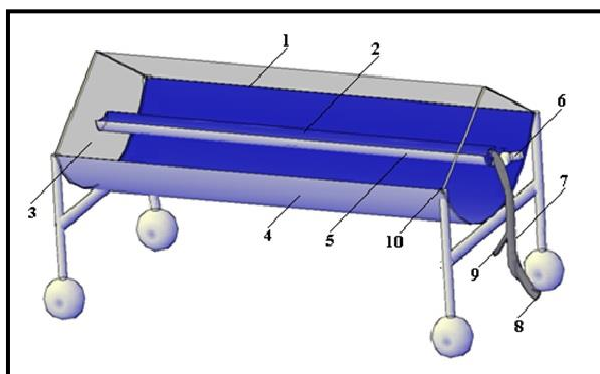


Figura 2. Desenho esquemático do concentrador

Para a realização dos experimentos no concentrador solar, foram utilizadas concentrações diferentes de ácido cianídrico e foram estabelecidas as alturas (m) em relação ao ponto de entrada da manípueira, de 1,50 m e 0,75 m. Estas influenciam diretamente na vazão de entrada do fluido no equipamento, conforme mostram as Figura 3 e Figura 4. Durante os experimentos as vazões foram mantidas constantes controlando-se a abertura da válvula de saída do tanque utilizado para o armazenamento da manípueira. O tanque utilizado como reservatório possui uma abertura para o meio externo necessária para que a pressão atmosférica também possa influenciar na vazão de saída da manípueira.

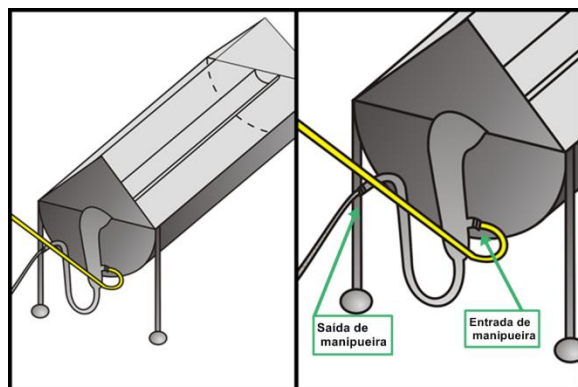


Figura 3. Entrada e saída da manípueira no concentrador solar.

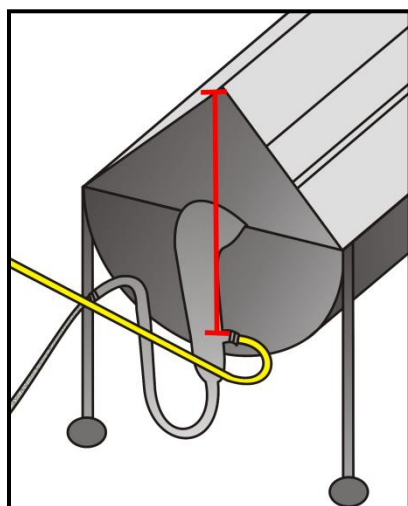


Figura 4. Altura em relação à entrada de alimentação.

Com a saída da mangueira, estocada no tanque elevado, para o concentrador solar através de uma tubulação flexível inicia-se o processo de alimentação da mangueira na canaleta de escoamento em sua parte inferior, conforme mostra a Figura 5. Quando o resíduo líquido recebe o calor provindo da reflexão do concentrador solar, o fluido escoar na parte superior trocando calor com o ambiente interno do concentrador solar, calor oriundo da irradiação solar e da reflexão da superfície espelhada.

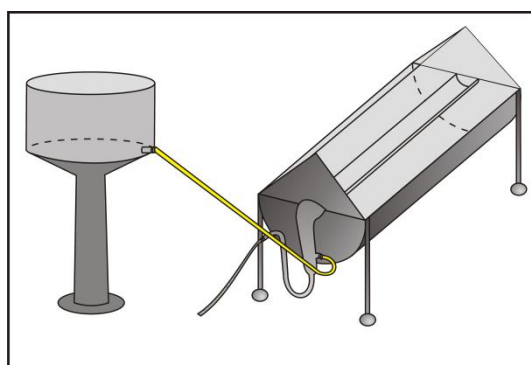


Figura 5. Esquema de alimentação e saída da mangueira no concentrador solar.

Para a realização dos experimentos no concentrador solar foi utilizado um termopar com o intuito de medir a temperatura em diferentes pontos do concentrador solar. Foram escolhidos cinco pontos do concentrador, conforme mostra a Fig. 6, para o monitoramento de temperatura em função do tempo durante o escoamento da mangueira.

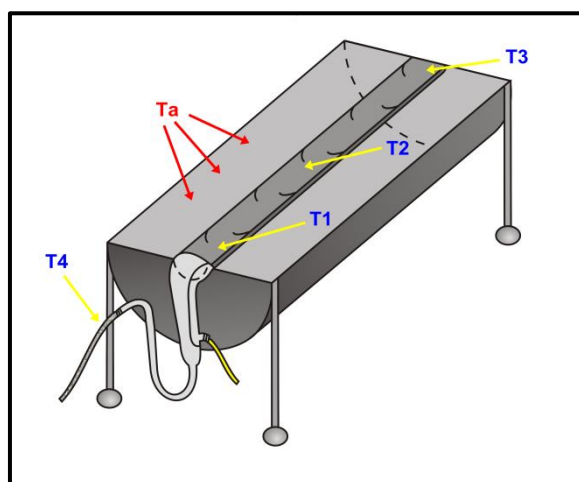


Figura 6. Pontos de medida de temperatura no concentrador solar.

Os pontos representam sequencialmente, a temperatura de entrada da manipueira na canaleta (T1), a temperatura central na canaleta (T2), a temperatura de saída da canaleta (T3), a temperatura de saída do concentrador solar (T4) e a temperatura ambiente (interna) do concentrador solar (Ta).

A metodologia empregada foi desenvolvida por (Bradbury, M. G., Egan, S. V., & Bradbury, J. H. (1999)) para a determinação do Cianeto Total da Manipueira, chamada de método do papel picrato, aplicada para determinação da concentração total de cianetos em raízes de mandioca, folhas cianogênicas e seus subprodutos, desenvolvido como um método simples de campo que utiliza uma cartela de cores com dez níveis de coloração para a determinação da concentração total de ácido cianídrico, como também é um método quantitativo de laboratório quando se utiliza em conjunto com um espectrofotômetro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que concerne aos resultados dos experimentos realizados no concentrador solar relacionados à variação de temperatura em função do tempo de processo, foram plotados gráficos tomando como base a vazão de alimentação do concentrador solar e a concentração de manipueira utilizada no processo. Para a vazão de 7,5 L/h e manipueira provinda da casa de farinha 02, os perfis de temperatura em processos de duração de três e seis horas encontram-se, respectivamente, nas Figuras 7 e 8.

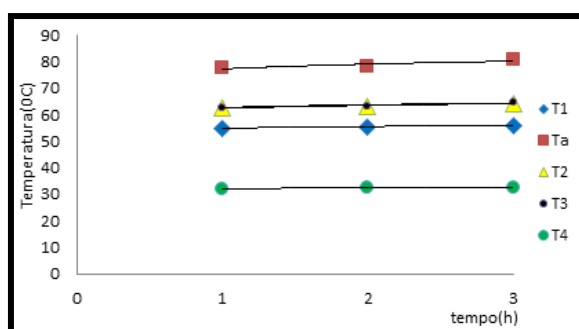


Figura 7. Variação da temperatura durante as três horas de processo, com vazão de 7,5 L/h e manipueira da casa de farinha 02.

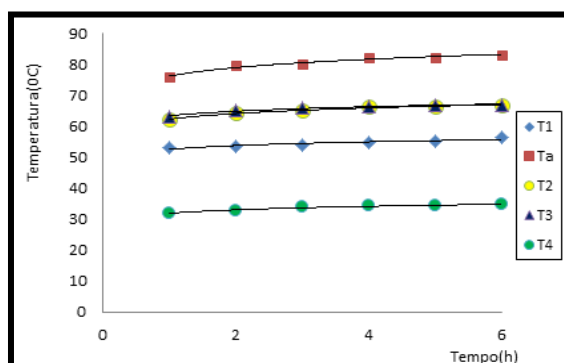


Figura 8. Variação da temperatura durante as seis horas de processo, com vazão de 7,5 L/h e manipueira da casa de farinha 02.

Observa-se nas Figuras 7 e 8 que a temperatura ambiente foi a maior temperatura medida durante esses experimentos no concentrador solar, seguidas das temperaturas medidas nos pontos, central e de saída da canaleta que são iguais. A temperatura de entrada da manipueira na canaleta foi a menor temperatura obtida durante o processamento. Podemos observar durante os experimentos realizados que a temperatura no ponto saída do concentrador solar nunca adquire maior valor que nos pontos central e de saída da canaleta. Devido a troca térmica eficiente com a temperatura ambiente (interno) do concentrador solar.

Os perfis de temperatura para a vazão de 7,5 L/h e manipueira provinda da casa de farinha 01 estão descritos nas Figuras 9 e 10, nas quais percebe-se o mesmo perfil térmico durante o período de processo quando comparadas as Figuras 7 e 8, que são: temperatura ambiente é a maior, devido ao efeito estufa que ocorre dentro do concentrador solar seguida das temperaturas medidas nos pontos do central e saída da canaleta.

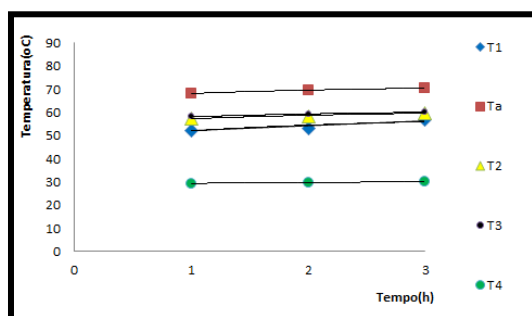


Figura 9. Variação da temperatura durante as três horas de processo, com vazão de 7,5 L/h e manipueira da casa de farinha 01.

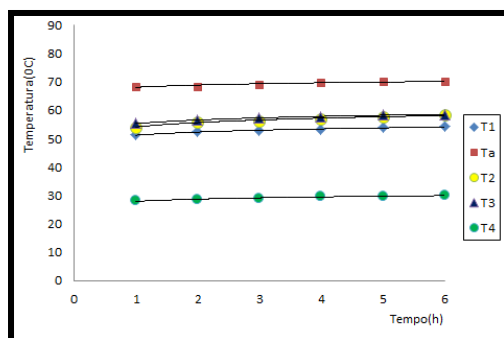


Figura 10. Variação da temperatura durante as seis horas de processo, com vazão de 7,5 L/h e manipueira da casa de farinha 01.

Para a vazão de 6,9 L/h e manipueira provinda da casa de farinha 02, os perfis de temperatura podem ser visualizados pelas Figuras 11 e 12.

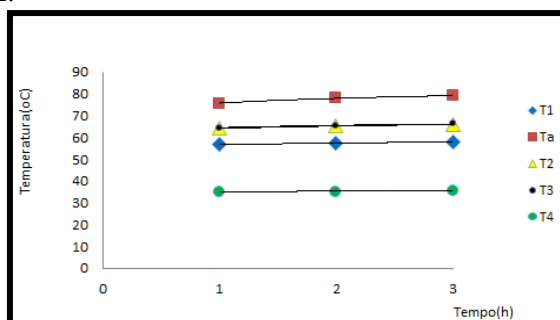


Figura 11. Variação da temperatura durante as três horas de processo, com vazão de 6,9 L/h e manipueira da casa de farinha 02.

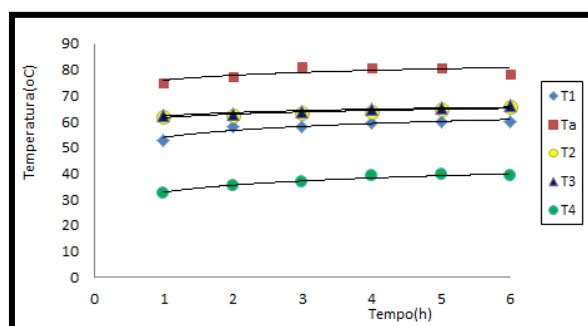


Figura 12. Variação da temperatura durante as seis horas de processo, com vazão de 6,9 L/h e manipueira da casa de farinha 02.

Foi observado que não houve mudanças no comportamento geral dos perfis representados pelas Figuras 11 e 12, com relação aos das Figuras 7 a 10, apenas que a temperatura ambiente (interna) e a temperatura de saída do

concentrador foram maiores nestes experimentos, devido principalmente a alta incidência de irradiação solar no decorrer dos experimentos realizados. As temperaturas medidas no centro e na saída da canaleta que são coincidentes.

Para a vazão de 6,9 L/h e manipueira provida da casa de farinha 01, apresenta-se as Figuras 13 e 14.

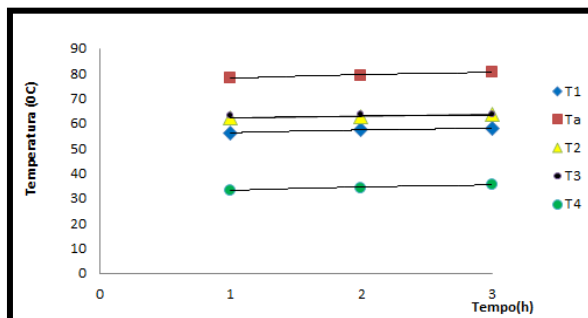


Figura 13. Variação da temperatura durante as três horas de processo, com vazão de 6,9 L/h e manipueira da casa de farinha 01.

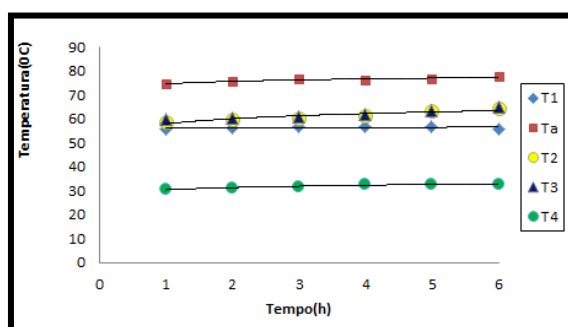


Figura 14. Variação da temperatura durante as seis horas de processo, com vazão de 6,9 L/h e manipueira da casa de farinha 01.

Observa-se as figuras acima, que somente houve acréscimos ainda que pequenos de temperatura entre o ponto de entrada da manipueira na canaleta e o ponto central, devido a manipueira entrar na canaleta com uma temperatura abaixo da manipueira que se encontra no ponto central. Quando a manipueira que adentrou na canaleta atinge o ponto central, o sistema não fornece calor suficiente para elevar a temperatura, durante o escoamento entre o ponto central e a saída da canaleta.

Nota-se pela Figura 15 que na primeira hora de processo de remoção na qual a manipueira estava submetida às temperaturas constantes de 50, 60, 70 e 80°C que houve uma redução expressiva nas duas primeiras horas e que nas restantes foi de menor proporção tendendo a uma mínima redução. O comportamento exponencial foi observado como também um rápido decaimento da concentração de cianeto.

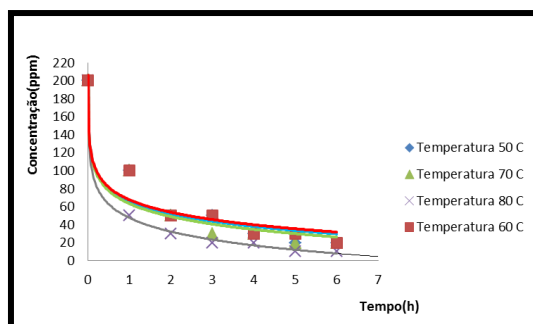


Figura 15. Remoção de cianeto total em função do tempo (h) em temperaturas constantes.

Na Figura 16 apresenta a redução da concentração de manipueira nas duas primeiras horas para 200 ppm, permanecendo mais uma hora de processo com essa concentração. Na quarta hora de processo a concentração reduziu para 100 ppm, permanecendo por mais duas horas, sendo que na sexta hora de processo a manipueira reduziu para 50 ppm, totalizando-se assim, uma redução de 87,5 %.

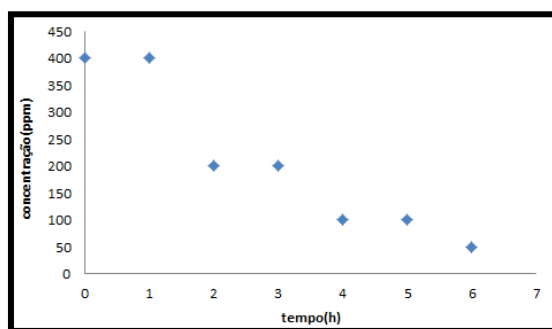


Figura 16. Redução da concentração do ácido cianídrico.

4. CONCLUSÃO

- A concentração da manipueira ao final do processo no concentrador solar estudado reduziu em até 87,5 % em relação à concentração inicial, porém o valor de 30 mg/L ou 50 mg/L ainda são elevados para serem despejados nos rios e riachos, pois o CONAMA 357 (BRASIL, 2005), permite um valor máximo de cianeto de 0,022 mg/L de CN;
- O tipo de manipueira com maior concentração de ácido cianídrico, da casa de farinha 02, possui maior facilidade de remoção deste ácido nas primeiras horas, até chegar numa determinada concentração em que se faz necessário utilizar um maior tempo de residência, obtendo ao final uma maior percentagem de remoção do HCN;
- Os resultados dos experimentos em escala de laboratório principalmente nas faixas de temperatura de 40°C a 60°C demonstraram possuírem variações de concentrações pequenas quando comparados com os experimentos realizados no concentrador solar;
- O concentrador solar utilizado no presente estudo possui perfil isotérmico de temperatura e opera na sua maioria do tempo em regime estacionário.
- Como sugestões para trabalhos futuros, poderá ser utilizado dois diferentes tipos de materiais condutores na canaleta e na superfície de reflexão, não apenas um único tipo de material e também de outras formas de deslocamento do eixo, para melhor captação da energia solar, como o vidro inclinado aplicado neste trabalho, para tentar elevar a temperatura da última metade da canaleta. E também utilizar energias providas de caldeiras, resistência elétrica, se tornará assim um concentrador misto de energia solar e outras formas de energia.

5. REFERÊNCIAS

- Campos, A. T.; Daga, J.; Rodrigues, E. E.; Franzener, G.; Suguy, M. M.; Syperrecker, V. I. G., 2006. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.235-242.
- Cardoso, E.; Cardoso, D.; Cristiano, M.; Silva, L.; Back, A. J.; Bernadim, A. M.; Paula, M. M. S., 2009. Use of manihot esculenta, crantz processing residue as biofertilizer in corn crops. *Research Journal of Agronomy*, v.3, p.1-8.
- BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> > Acesso em 27 de março de 2012.
- FAO - Food and Agriculture Organization, 2011. Produção mundial de mandioca. <http://www.fao.org>. 07 Fev. 2014.
- Fioretto, R. A., 1987. Manipueira Na Fertirrigação: Efeito Sobre A Germinação E A Produção De Algodão (*Gossypium hirsutum*, L.) e milho (*Zea mays*, L.). *Semina: Ciências Agrárias*, v.8, p.17-20.
- IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA, Database 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 07 Fev. 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatística da produção de mandioca: estimativa para o ano de 2011. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201012.pdf>. Acesso em 07 Fev. 2014.
- Inoue, K. R. A.; Souza, C. F.; Matos, A. T.; Santos, N. T.; Alves, E. E. N., 2010. Características Do Solo Submetido a tratamentos com biofertilizantes obtidos na digestão da manipueira. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.4, p.47-52.
- Nasu, E. G. C.; Pires, E.; Fermentini, H. N.; Furlanetto, C., 2010. Efeito De Manipueira Sobre Meloidogyne incognita em ensaios in vitro e em tomateiros em casa de vegetação. *Tropical Plants Pathology*, v.35, p.32-36.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores, Cyrus Santos Rebouças, Antônio Martins de Oliveira Junior, Gabriel Francisco da Silva, Isabelly Pereira da Silva, Andrea Gonçalves Bueno de Freitas, Carla Crislan de Souza Bery, Dian Souza de Oliveira, Carla Corina dos Santos Porto, são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

SOLAR SYSTEM DEVELOPMENT TO THE EMILINATION OF HYDROCYANIC ACID FROM EFLUENTS OF FLOUR'S HOUSES.

Cyrus Santos Rebouças¹, cyrus_reboucas@yahoo.com.br.

Antônio Martins de Oliveira Junior², amartins.junior@gmail.com.

Gabriel Francisco da Silva³, gabriel@ufs.br.

Isabelly Pereira da Silva⁴, isabelly@ufs.br.

Andréa Gonçalves Bueno de Freitas⁵, andreafreitas@eq.ufrj.br.

Carla Crislan de Souza Bery⁶, crisbery@ig.com.br.

Dian Souza de Oliveira³, dian.souza@hotmail.com.

Carla Corina dos Santos Porto³, carlacorina@hotmail.com.br.

¹-PEQ/UFS, Federal University of Sergipe, University City of Professor Jose Aloisio de Campos, Marechal Rondon avenue, Program in Chemical Engineering, Jardim Rosa Elze – Zip Code 49100-000 - Sao Cristovao/SE.

²-DTA/UFS, Federal University of Sergipe, University City of Professor Jose Aloisio de Campos, Marechal Rondon avenue, Department of Food Technology, Jardim Rosa Elze – Zip Code 49100-000 - Sao Cristovao/SE.

³-NUPETRO/UFS, Federal University of Sergipe, Petroleum Engineering Core, University City of Professor Jose Aloisio de Campos, Marechal Rondon avenue, Jardim Rosa Elze – Zip Code 49100-000 - Sao Cristovao/SE.

⁴- NPR/UFS, Federal University of Sergipe, University City of Professor Jose Aloisio de Campos, Marechal Rondon avenue, Production Engineering Core, Jardim Rosa Elze – Zip Code 49100-000 - Sao Cristovao/SE.

⁵-TPQB/EQ/UFRJ, Federal University of Rio de Janeiro, Horacio Macedo Avenue, 2030, Chemistry School, Technology Center Building, Block E / Room 200, University city – Zip Code: 21941-909 – Rio de Janeiro/RJ.

⁶-RENORBIO/UFS, Federal University of Sergipe, University City of Professor Jose Aloisio de Campos, Marechal Rondon avenue, Jardim Rosa Elze – Zip Code 49100-000 - Sao Cristovao/SE.

Abstract. *The manipueira is a toxic liquid extracted from cassava during the flour processing, rich in potassium, phosphorus, nitrogen and other nutrients. When left untreated it can bring some health damage caused by their strong odor, besides contributing to the proliferation of insects and other harmful vectors to health. In large quantities, the manipueira becomes a pollutant effluent, due to high organic matter content and of hydrocyanic acid that can intoxicate animals and contaminate the waters of cisterns. The aim of this study is to evaluate the kinetics of removal of hydrocyanic acid (HCN) contained in manipueira, collected from flour's houses in the state of Sergipe, using as a means of removing a solar system, known as solar concentrator in linear type, cylindrical, parabolic section and hinged on only one axis. For this study were used two samples of manipueira from two different flour's houses from State of Sergipe, at concentrations of hydrocyanic acid of 100 mg/L and 400 mg/L. For each sample of manipueira used in solar concentrator in function of input flow in the solar system were established process times of three and six hours. At the end of the experiments in solar concentrator was found that there was a reduction from initial concentration around 85.7% for the process with six hours and 50% reduction for the three-hour process, independent of the concentration of manipueira studied.*

Keywords: solar concentrator, Manipueira, hydrocyanic acid.