

I-335 – DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA A REGIÃO AMAZÔNICA UTILIZANDO MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO

Danilo Cunha de Oliveira⁽¹⁾

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Luiza Carla Girard Mendes Teixeira⁽²⁾

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (1993), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1999), doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pela Universidade Federal do Pará (2003) e pós-doutorado em Tratamento Avançado de Esgotos Domésticos no Departamento de Engenharia Química e Tecnologia de Meio Ambiente da Universidade de Valladolid-Espanha (2010). Atualmente, professora associada da Universidade Federal do Pará.

Cláudio José Cavalcante Blanco⁽³⁾

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (1995), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1998) e doutorado em *Sciences de l'Eau - Institut National de la Recherche Scientifique - Eau, Terre et Environnement* (2005). Atualmente, Professor Associado I da Universidade Federal do Pará.

Gabriel Borba Ferreira⁽⁴⁾

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Endereço⁽¹⁾: Av. Nazaré, 969, apto. 1201 - Nazaré - Belém - Pará - CEP: 66035-145 - Brasil - Tel: +55 (91) 98158-1940 - danilocunhadeoliveira@hotmail.com

RESUMO

A gravidade do problema da saúde na região amazônica, especificamente nas populações ribeirinhas, isoladas ou não, é resultante, em parte, da falta de água potável, principalmente no aspecto microbiológico, causando assim, diversas doenças de veiculação hídrica. Neste sentido, uma opção que tem sido considerada para atender este desafio é o processo de separação por membranas. Este trabalho objetiva desenvolver um protótipo em escala de bancada compacto, de baixo custo, fácil operação e manutenção, utilizando membranas poliméricas de microfiltração, bem como sustentável pela utilização de módulos de adsorção por carvão ativado oriundos de caroços de açaí. Além disso, foi realizada a caracterização físico-química da água bruta e tratada para avaliar a eficiência do processo de filtração pelo uso do filtro de carvão ativado de caroço de açaí e de uma membrana. Os resultados obtidos indicam que o sistema desenvolvido é eficiente para ajuste de pH, neutralizado de 6,3 para 7, redução de cor aparente, de 168,2 para 3,2 uC, e turbidez, de 131 da água bruta para 0,7 uT no tratamento de filtro e membrana, sendo o uso do conjunto “filtro + membrana” o mais eficiente e recomendado.

PALAVRAS-CHAVE: Membrana, Carvão Ativado, Tratamento de Água.

INTRODUÇÃO

A água é uma necessidade humana, todavia, diversas são as ocasiões que a mesma é desperdiçada ou usada de forma inadequada. O mau uso está muitas vezes ligado ao fato de possuí-la em maior quantidade, como é o caso da região Norte do Brasil, possuidora de grandes mananciais, entretanto, a maior parte deste recurso não é adequado ao consumo humano, necessitando de um tratamento adequado para ingestão.

Para um abastecimento de qualidade é essencial o desenvolvimento de tecnologias eficientes para o abastecimento ou tratamento dos mais diversos tipos de água, sejam eles pluviais, fluviais ou, talvez, o aproveitamento de águas provenientes de esgotos tratados para fins potáveis. Contudo, muitas são as áreas que não são abrangidas por tecnologias satisfatórias (Barcellos *et al.*, 1998), ocasionando usos indevidos, um fator alarmante para a saúde, uma vez que os esgotos e resíduos gerados são direcionados aos meios fluviais ou ao meio superficial podendo contaminar o solo e os aquíferos freáticos, possibilitando uma deterioração da água proveniente de poços. Um exemplo consiste nas populações que residem às margens dos rios em zonas

marginalizadas. Elas não detêm água de qualidade adequada para consumo, dessa forma, são adotadas maneiras rudimentares de tratamento, como é o caso de armazenamento de água em garrafas plásticas ou de vidro postas ao sol, visando um aquecimento da água e eliminação de agentes patogênicos. Outra forma de tratamento consiste na fervura da água em uma panela ou mesmo na filtração em tecidos, sendo que esses métodos podem não produzir água na qualidade desejada. Outro problema consiste na higiene dos habitantes que não é feita de forma correta, neutralizando as vantagens de suas vertentes de tratamento.

A capital do Pará, Belém, apresenta baixo índice de coleta de esgoto, 7%, mas o seu tratamento não é realizado na íntegra, não atingindo a faixa dos 3% (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2014). As cidades componentes da Região Metropolitana de Belém (RMB) também apresentam a mesma situação, com destaque para a cidade de Ananindeua, posta em último lugar da pesquisa realizada, abrangendo as 100 maiores cidades do país. O esgoto, quando coletado, é comumente lançado no leito do rio, como é o caso de Belém, e o despejo de esgoto não tratado neste meio produz uma degradação, uma vez que são encontradas altas concentrações de fósforo e de nitrogênio em suas diversas formas, além de outros poluentes. Os poluentes do esgotamento dispersam-se ao longo do rio, todavia, no decorrer de seu percurso, outros despejos são feitos e as concentrações mantêm-se por mais tempo no rio, atingindo áreas maiores. Por conseguinte, este fato colabora com doenças em regiões ribeirinhas e até mesmo em zonas urbanizadas.

O estudo realizado com membranas está se tornando mais viável nos últimos anos devido a diminuição do seu custo, o que torna mais competitivo no mercado. Dacanal (2006) aponta a utilização de microfiltração associada à reatores anaeróbicos, a qual demonstrou alta redução de turbidez e remoção de DQO, além da diminuição da variação da eficiência do reator quando atrelado à membrana de microfiltração. Giacobbo (2010) também obteve dados convincentes para DQO, sólidos totais e nitrogênio amoniacal, com reduções de 40%, 16% e 33%, respectivamente.

Filtros à base de carvão ativado são amplamente utilizados para tratamento de água, Islam *et al.* (2015) estudou a ativação do carvão com hidróxido de sódio em altas temperaturas. Pereira & Rodrigues (2013) elaboraram um filtro de carvão ativado de caroço de açaí, o qual apresentou resultados satisfatórios ao longo da carreira de filtração. Outros trabalhos fizeram uso do autor, contudo, implementaram pequenas alterações e a aplicação de análises diferenciadas, visando melhor caracterização do meio filtrante e aprofundamento na análise da água filtrada pelo filtro de carvão ativado, tal qual Cunha, Sousa & Alves (2014).

A pesquisa visa avaliar o tratamento de água superficial por processo de filtração, fazendo uso de um filtro de carvão ativado de caroço de açaí, seguido por uma segunda filtração realizada por uma membrana de microfiltração. O projeto tem como intuito fornecer água de qualidade para a população ribeirinha, cujo abastecimento não é suficiente para suprir suas necessidades. Para tal, foram feitos testes em uma membrana e em um filtro com meio filtrante a base de caroço de açaí, recurso regional e de fácil acesso. Os testes visavam conhecer a eficiência da membrana e do filtro para tratamento de água fluvial.

MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas de água bruta foram realizadas no rio Guamá - às margens da UFPA, após a foz do canal do Tucunduba - e em momento de enchente (primeira e terceira coletas) bem como de vazante (segunda coleta). Ressalta-se que o rio Guamá é um manancial utilizado por várias comunidades ribeirinhas que se desenvolvem em seu entorno.

A coleta da água do rio foi realizada por meio frascos autoclaváveis de 1L transportados em isopores, preservando sua temperatura entre $0 \pm 4^{\circ}\text{C}$ até o laboratório de bioprocessos. O laboratório de bioprocessos realizou a filtragem da água bruta pelo filtro de carvão ativado durante 5 e 20 minutos de funcionamento, foi realizado também no laboratório a filtragem com uso da membrana. Após as filtrações, as amostras de água foram armazenadas em frascos autoclaváveis de 1L e transportados em isopores para o Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de água (LAMAG), gerenciado pelo Grupo de Estudos em Gerenciamento de Águas e Reúso de Efluentes (GESA), localizado no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA) na Universidade Federal do Pará (UFPA), para a realização das análises físico-químicas.

Com base na adaptação da metodologia de ativação do caroço de açaí de Pereira & Rodrigues (2013), o carvão ativado de caroço de açaí foi limpo com o auxílio de uma pinça, visando à retirada das fibras dos caroços. Após a limpeza dos caroços, 100 gramas do material foram pesados em cápsulas de porcelana, permanecendo em uma estufa por 3 horas a 100°C. Após a etapa de secagem em estufa, os caroços foram impregnados com solução de hidróxido de sódio por um tempo de contato de 24 horas. A solução de hidróxido de sódio visa a ativação do caroço, ela foi preparada com 4g de NaOH e 50ml de água destilada. Após o intervalo de 24 horas, a cápsula de porcelana, contendo os caroços impregnados, foi levada para estufa por um período de 3 horas. Ao fim desse período, o material foi posto na mufla a 400°C por mais 3 horas. Posteriormente a ativação, o meio filtrante foi alojado em uma estrutura de PVC com tubo de 20 mm e granulometria de 28 mm (Figura 1).

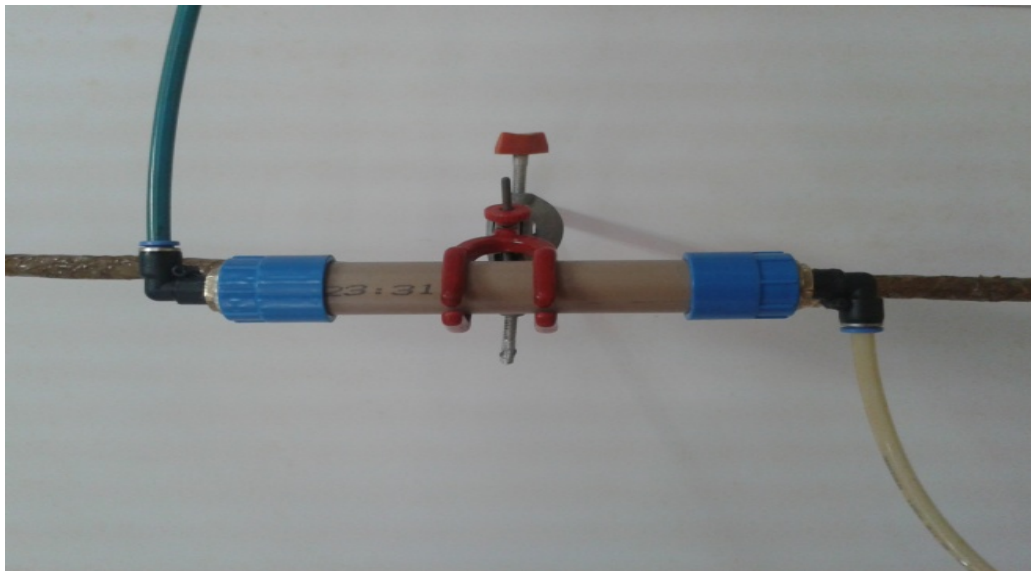


Figura 1: Vista externa do filtro de carvão ativado de caroço de açaí utilizado na pesquisa.

Além da filtração por meio de um filtro de carvão ativado de açaí, também foi utilizado um módulo experimental para filtração de água por membrana para microfiltração/ultrafiltração/nanofiltração fornecido pela marca PAM Membranas Ltda. Este módulo possui uma bomba e suporte onde está instalada a membrana de modelo 0025 de microfiltração (figura 2). Este módulo é construído em PVC soldável, com diâmetro externo de 20 mm e comprimento relevante de 270 mm. A área de permeação do módulo é de 0,015m² com densidade de empacotamento de 300 m²/m³. Os valores máximos de operação são de pressão de 4,0 bar e temperatura de 50,0°C, o pH de operação é de 2,0 a 13,0. Na Figura 2 são apresentados o módulo da membrana e o sistema de bancada utilizado.

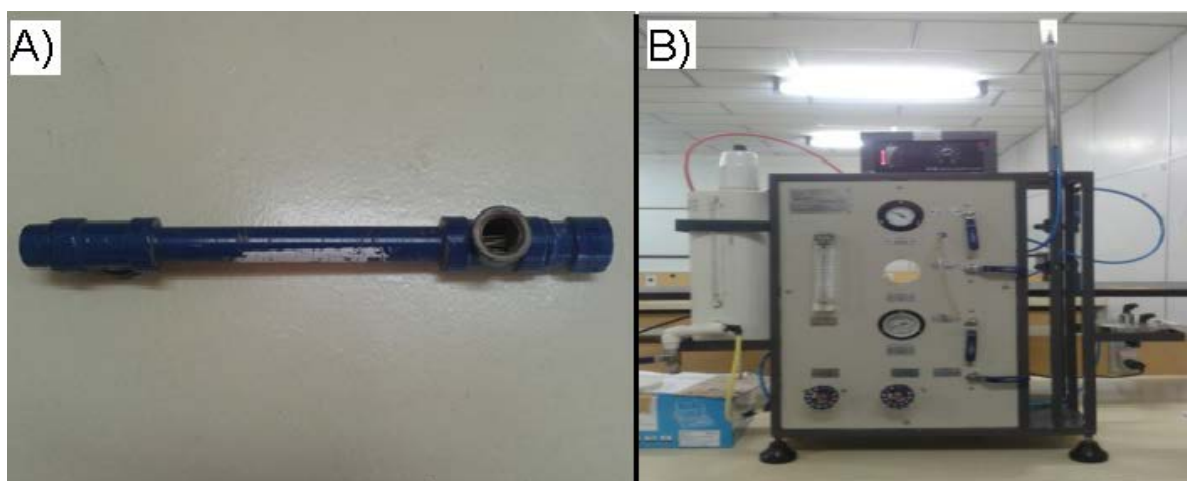


Figura 2: A) Vista frontal da membrana de microfiltração. B) Módulo experimental para microfiltração/ultrafiltração/nanofiltração.

Foram realizados 3 ensaios: o primeiro consistiu na comparação da água bruta com a filtrada pelo filtro de carvão ativado de caroço de açaí em 5 e 20 minutos de filtração e suas campanhas. O segundo ensaio abordou a comparação da água bruta com a água filtrada pela membrana de microfiltração, enquanto que o terceiro ensaio foi composto pela água bruta, água filtrada após 5 minutos e água filtrada pelo filtro após cinco minutos e a membrana, formando o conjunto "filtro + membrana" e sendo relevante para uma comparação do sistema como um todo.

O tratamento foi feito por meio de três configurações distintas. A primeira consistia no uso de uma pequena bomba hidráulica para elevar a água do frasco de coleta até a entrada superior do filtro de carvão ativado. Depois de filtrada, a água foi depositada por meio da gravidade em um frasco autoclavado de 1L. Na segunda configuração testada utilizou-se apenas o módulo experimental de membrana, onde a água era bombeada do frasco de coleta até o filtro de membrana. A água filtrada foi armazenada em um frasco de 1L para as análises de qualidade da água. A terceira forma de tratamento unia o procedimento do primeiro tratamento com a segunda forma - a água, filtrada pelo filtro de carvão, era levada até a membrana por meio de um frasco autoclavado de 1L, visto que não foi possível compor um sistema linear.

Foram realizadas determinações de dureza total, sólidos totais, DQO, pH, condutividade, cor aparente e turbidez. As análises de turbidez, DQO, cor aparente, condutividade elétrica, dureza total e sólidos totais seguiram o Standard Methods (APHA/AWWA/WEF, 1998), de acordo com os procedimentos, 2130 B para turbidez, 2120 C para cor aparente, 2510 B para condutividade elétrica, 2540 B para sólidos totais, 5220 C para demanda química de oxigênio e 2340 C para dureza total. Os equipamentos utilizados foram o espectrofotômetro Hach 3900, pHmetro de bancada PG 1800, turbidímetro AP2000 e o AquaColor.

Os resultados obtidos foram comparados entre si e com a norma de potabilidade brasileira fornecidas pelo Ministério da Saúde segundo a Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios estão expostos nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Resultados, apresentados em intervalo de incerteza (média ± desvio), obtidos para água bruta e filtração em caroço de açaí com 5 e 20 minutos.

Parâmetros	Unidade	Água Bruta	Água filtrada após 5 minutos	Água filtrada após 20 minutos
Condutividade	µS/cm	77,3±12,6	185,1±75,9	229,4±135,2
pH	-	6,6±0,1	8,4±1,2	8,9±1,3
Cor aparente	uC	195,4±35,1	115,2±2,6	122,1±30
Turbidez	uT	193,7±65,1	37,2±3,1	34,1±4,9
DQO	mg O ₂ /L *	41,7±34,4	7,3±4	3,0±5,2
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L **	6,4±4	2,9±0,5	3,2±0,6
Sólidos Totais	mg/L	407,7±132,9	158,7±30	173,7±32,6

* Quantidade de oxigênio em miligramas por litro de amostra

** Quantidade de carbonato de cálcio em miligramas por litro de amostra

Os resultados, expostos na Tabela 1, apontam para um acréscimo da condutividade elétrica quando comparada à água bruta e água filtrada nos primeiros cinco minutos sendo posteriormente elevada após 20 minutos de filtração. Nota-se que a variação dos dados aumenta na mesma proporção, sendo o desvio apresentado na água bruta de 12,6 µS/cm enquanto na filtrada após 20 minutos um valor quase 11 vezes maior, alcançando 135,2 µS/cm.

Observa-se também que ocorreu o aumento do pH da água, atingindo um valor máximo de 9,2 para a água filtrada após 5 minutos e 9,8 para a água filtrada após 20 minutos, ambos os valores encontram-se acima do permitido pela Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011).

O aumento da condutividade, verificado na Tabela 1, pode estar relacionado à presença do íon Na⁺ presente na ativação do carvão. Quanto ao aumento do pH, também apresentado na primeira tabela, é possível que haja uma interferência de resíduos do material de ativação do carvão, uma vez que foi composto de hidróxido de sódio (NaOH), material caracterizado como uma base forte.

Por fim, a cor aparente e a turbidez apresentaram reduções consideráveis entre a água bruta e o filtro em funcionamento por 20 minutos, todavia, são superiores aos valores máximos permitidos pela Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011), os quais são de 15 uC e 5 uT para águas sem tratamento e 1 uT para águas tratadas com filtração lenta, respectivamente. O desvio obtido a partir dos dados resultantes demonstrou também a redução da variação da água filtrada após 5 minutos quando comparada à água bruta. A dureza em todos os pontos está satisfatória para com o padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

Tabela 2: Resultados da água bruta e da água pós membrana de microfiltração.

Parâmetros	Unidade	Água Bruta	Água pós membrana
Condutividade	µS/cm	63,1	68,8
pH	-	6,7	8,1
Cor aparente	uC	168,2	11,1
Turbidez	uT	131	2,1
DQO	mg O ₂ /L*	17	0
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L**	6,4	3,3
Sólidos Totais	mg/L	281	40

* Quantidade de oxigênio em miligramas por litro de amostra

** Quantidade de carbonato de cálcio em miligramas por litro de amostra

De acordo com a Tabela 2, a condutividade elétrica apresentou um sutil aumento após o uso da membrana, 63,1 µS/cm para a água bruta e 68,8 µS/cm para a água filtrada, alarmando uma ineficiência para a redução da variável condutividade elétrica. Os dados obtidos para o pH estão adequados aos valores exigidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), uma vez que seu padrão está entre os valores de 6 e 9, porém observa-se uma elevação no potencial hidrogeniônico de 6,7, na água bruta, para 8,1, na água tratada.

A membrana demonstrou alta eficiência na redução de cor aparente ao analisá-la em relação a água proveniente do rio Guamá, haja vista que sua redução foi de 93,4%, apresentando qualidade de potabilidade. A variável turbidez sofreu decréscimo ao passar pela membrana, uma vez que a água bruta possuía 131 uT e água pós membrana apresentou o valor de 2,1 uT, quantificando redução de aproximadamente 98,4%.

Os sólidos totais estão relacionados aos sólidos suspensos e dissolvidos - estes, por sua vez, estão associados a turbidez e cor aparente, respectivamente. Tendo em vista estas relações, foi obtida uma redução significativa de 281 mg/L para 40 mg/L.

Tabela 3: Resultados da água bruta, água filtrada por 5 minutos antes da filtração por membrana e resultados da água pós filtração por filtro de carvão ativado de membrana.

Parâmetros	Unidade	Água Bruta	Água filtrada após 5 minutos	Filtro + Membrana
Condutividade	µS/cm	63,1	178,8	162,7
pH	-	6,7	9,2	7,5
Cor aparente	uC	168,2	114,5	3,2
Turbidez	uT	131	40,1	0,7
DQO	mg O ₂ /L*	17	3	<LMD**
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L***	6,4	2,4	1,4
Sólidos Totais	mg/L	281	128	<LMD

* Quantidade de oxigênio em miligramas por litro de amostra

** Limite médio de detecção

*** Quantidade de carbonato de cálcio em miligramas por litro de amostra

Com base na Tabela 3, os dados alcançados para dureza total apresentaram redução ao longo da filtração, de 6,4 para 1,4 no final do sistema. Apesar desta redução, todos os pontos foram considerados satisfatórios de acordo com a Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011). A condutividade sofreu um aumento considerável quando a água foi filtrada por 5 minutos, enquanto que a membrana apresentou pequena redução quando comparada à água filtrada pela membrana, 178,8 µS/cm para 162,7 µS/cm. Em contrapartida, o sistema não apresentou eficiência para redução de íons presentes na água, visto que o seu aumento foi superior ao dobro do valor original, 63,1 µS/cm.

O pH da água bruta esteve dentro do padrão permitido pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), entretanto, a água filtrada após 5 minutos atingiu o valor de 9,2, estando superior ao recomendado. Por outro lado, a água ao passar pela membrana sofreu neutralização do pH, qualificando o sistema como um todo.

O filtro de carvão ativado de caroço de açaí ocasionou redução de cor aparente em relação a água bruta na ordem de 53,7 uC. A água filtrada pelo conjunto “filtro+membrana” adequou-se a Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011), uma vez que apresentou redução de 168,2 uC para 3,2 uC. A membrana, por sua vez, demonstrou decréscimo de 114,5 uC para 3,2 uC quando comparamos somente o conjunto “filtro+membrana” e a água filtrada após 5 minutos.

A turbidez sofreu redução acentuada de 69,4% ao analisarmos a água bruta e o filtro de carvão ativado, demonstrando o potencial do filtro para com a variável. Quando comparamos a água do filtro de carvão com a água pós membrana, temos redução de 39,4 uT, atingindo o valor mínimo de 0,7 uT para o conjunto “filtro+membrana”. A variável sólidos totais sofreu diminuição considerável de 281 mg/L para um valor menor que o limite de detecção do aparelho, o que evidencia a eficiência do sistema para com a remoção de sólidos suspensos e dissolvidos.

CONCLUSÃO

O uso exclusivo do filtro de carvão ativado de caroço de açaí não demonstrou resultados satisfatórios para os parâmetros analisados, necessitando de uma possível mudança de granulometria ou de ativação. A membrana individualmente foi satisfatória para todos os pontos, minimizando todas as variáveis em questão, adequando-as para os padrões de potabilidade. Apesar da autossuficiência do uso particular da membrana, o conjunto “filtro+membrana” apontou uma melhor qualidade dos dados obtidos. A utilização deste conjunto ocasionou um maior distanciamento dos dados obtidos em relação aos máximos permitidos, além de neutralizar com maior eficácia o pH. Logo, é necessário verificar se o melhor tratamento encontra-se na filtração pelo carvão ativado e posterior limpeza pela membrana ou se a membrana deve ser usada como primeira filtragem. Por

consequente, mais campanhas devem ser efetuadas para melhor verificação do tratamento da água do rio Guamá, utilizando a membrana, o filtro de carvão ativado de caroço de açaí e o conjunto filtro e membrana, além de mais parâmetros químicos e verificação bacteriológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WEF. *American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC: APHA. 1998.
2. BARCELLOS, C.; COUTINHO, K.; PINA, M.; MAGALHÃES, M.; PAOLA, J.; SANTOS, S. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas. 1998.
3. BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humanos seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.
4. CUNHA, B.; SOUSA, M.; ALVES, R. Utilização do caroço do açaí (*Euterpe oleracea*) como leito filtrante no tratamento de águas de abastecimento e residuárias. XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2014.
5. DACANAL, M. Tratamento de lixiviado através de filtro anaeróbio associado a membrana de microfiltração. Dissertação de Mestrado Universidade de Caxias do Sul – UCS. 2006.
6. GHIGGI, F. Tratamento de águas para consumo doméstico com membranas de ultrafiltração. Porto Alegre, 2011.
7. GIACOBBO, A.; RODRIGUES, M. A. S.; BERNARDES, A. M.; FERREIRA, J. Z.; MENEGUZZI, A.; Microfiltração aplicada ao tratamento de efluentes de curtume. VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, BR. 2010.
8. ISLAM, A.; TAN, I. A. W.; BENHOURIA, A.; ASIF, M.; HAMEED, B. H. *Mesoporous and adsorptive properties of palm date seed activated carbon prepared via sequential hydrothermal carbonization and sodium hydroxide activation*. *Chemical engineering journal*, V 270, p. 187-195, 2015.
9. ITB. Instituto Trata Brasil. Ranking do Saneamento 2014. Agosto de 2014. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento>>. Acesso: 20 jan 2016.
10. PEREIRA, E., RODRIGUES, V. Carvão do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo. Relatório do Projeto de Pesquisa apresentado à Comissão Avaliadora do Prêmio Jovem Cientista. 2013.