ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO pH E DA TEMPERATURA NA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO POR FIBRA DO PSEUDOCAULE DE BANANEIRA

ANALYSIS OF INFLUENCE OF PH AND TEMPERATURE IN ADSORPTION METHYLENE BLUE FOR PSEUDOSTEM FIBER BANANA

CASTANHETTI, Caroline^{1*}; FIGUEIREDO, Ana Paula¹; DOMINGUINI, Lucas^{1*}

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Câmpus Criciúma, Rod. SC 443, 845, CEP 88813-600, Criciúma – SC, Brasil.

(fone: +55 48 3462-5000)

* Autor correspondente

e-mail: lucas.dominguini@ifsc.edu.br

Received 18 November 2013; received in revised form 16 December 2013; accepted 20 December 2013

RESUMO

O presente trabalho analisou o potencial de adsorção de azul de metileno, em solução de 50 mg.L⁻¹, por fibra de bananeira pulverizada, a 2 g por litro de solução. Foram efetuadas variações na temperatura e no pH da solução. A análise dos resultados indica que é possível o uso da fibra de bananeira como adsorvente do corante azul de metileno a temperatura ambiente e a valores de pH alcalinos com elevada eficiência. O espectro de FT-IR mostrou a presença dos grupos hidroxila e ácido carboxílico na fibra. Tais grupos são capazes de formar ligações de hidrogênio com o azul de metileno, removendo-o da solução aquosa. Concluiu-se que, para as condições ensaiadas, a melhor temperatura para adsorção foi de 25 °C e o pH de melhor eficiência para a melhor temperatura foi 11.

Palavras-chave: Fibra de Bananeira. Adsorção. Azul de Metileno.

ABSTRACT

This study examined the potential for adsorption of methylene blue, in solution of 50 mg.L⁻¹, by banana fiber spray, to 2 g/L of solution. We carried out variations in temperature and pH of the solution. The results indicate that it is possible to use the banana fiber as adsorbent methylene blue in ambient temperature and alkaline pH values with high efficiency. The FT-IR spectrum showed the presence of carboxylic acid and hydroxyl groups on the fiber. Such groups are capable of forming hydrogen bonds with methylene blue and removing it from the aqueous solution. It was concluded that for the conditions tested, the best temperature for adsorption was 25 °C and pH to better efficiency of better temperature was 11.

Keywords: Banana Fiber. Adsorption. Methylene Blue.

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, soluções aquosas de azul de metileno (Figura 1) ministradas em ratos mostraram-se capazes de provocar mutações em células intestinais e pancreáticas (AUERBACH *et al.*, 2010). Por isso, é importante a remoção destes da água, pois, além de poluir, causam perturbação para a vida (PAVAN *et al.*, 2008).

Figura 1. Estrutura química do azul de metileno

Aliado a isso, o crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial, os problemas ambientais vêm se tornando cada vez mais frequentes o que contribui para a poluição das

águas superficiais e subterrâneas (ROCHA *et al.*, 2012; MOHMOODI *et al.*, 2010).

Dentro deste contexto, a indústria têxtil apresenta um destaque especial, pois origina grandes volumes de efluentes que, quando não tratados corretamente, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental (KUNZ *et al.*, 2002). Em seu processo produtivo, a indústria têxtil utiliza diversos tipos de corantes, pigmentos e auxiliares químicos que, ao serem processados, geram um efluente líquido com características específicas, necessitando tratamento adequado para atender a legislação ambiental e não causar danos ao meio ambiente (YU *et al.*, 2012).

A grande complexidade desses efluentes e as imposições da legislação que exigem tratamentos eficientes levaram ao desenvolvimento de novas tecnologias que buscam o melhor tratamento, considerando custos, tempo e eficiência dos processos existentes na reciclagem e eliminação de toxicidade (CARDOSO *et al.*, 2011). Os processos desenvolvidos consistem em descoloração por oxidação fotocatalítica, decomposição microbiológica ou enzimática e adsorção em matrizes orgânicas ou inorgânicas (PAVAN *et al.*, 2008).

Alguns desses contaminantes são pouco tóxicos. Muitos têm origem sintética, o que os faz mais estáveis, pois são projetados para serem resistentes ao desbotamento por produtos químicos, luz, altas temperaturas do processo de lavagem e degradação enzimática, tornando-os mais difíceis de biodegradar (AKSU; TEZER, 2005).

Os corantes catiônicos, assim como os corantes ácidos se ligam através de ligações iônicas com grupos de carga oposta presentes nas fibras, sendo hidrossolúveis (GUPTA *et al.*, 2009).

O tingimento com corante catiônico polui o ar com as emissões atmosféricas, através das trocas de calor durante o processo, polui a água porque gera efluentes líquidos, provenientes do banho residual de tingimentos e águas de lavagem de materiais têxteis e polui o solo com a geração de resíduos (KUNZ *et al.*, 2002).

Um método de tratamento desse efluente muito utilizado por parte das indústrias é a adsorção. Esta se caracteriza pela adesão de

partículas de um fluido a uma superfície sólida. A adsorção pode ser influenciada por variações de temperatura, de pressão, natureza do adsorvente, área de superfície, velocidade de agitação, pH, tempo de residência, entre outros. Este método permite a remoção de substâncias polares hidrossolúveis. A adsorção permite o reuso de água, redução dos custos de tratamento por outros processos químicos, flexibilidade e simplicidade em termos de plantas de estações de tratamento, facilidade de operação, não resulta na formação de substâncias nocivas e os adsorventes orgânicos podem ser utilizados como combustível para geração de energia (ACHAK *et al.*, 2009).

Por ser uma fonte alternativa e de baixo custo, os adsorventes alternativos vêm ocupando o espaço do cartão ativo, que é um ótimo adsorvente, mas possui um alto custo industrial. Vários materiais adsorventes estão sendo utilizados para a remoção de contaminantes dos efluentes têxteis (AKSU; TEZER, 2005). Por exemplo, fibra de coco verde na forma natural (CRISTÓVÃO *et al.*, 2011) ou na forma de carvão ativo (PHAN *et al.*, 2006), fibra de bagaço de cana de açúcar (LIU *et al.*, 2012; ALBERTINI, *et al.*, 2007), por biomassa de maracujá-amarelo (PAVAN *et al.*, 2008), folhas de palmeiras (GOUAMID *et al.*, 2013), casca de banana (ACHAK *et al.*, 2009; AMEL *et al.*, 2012; ANWAR *et al.*, 2010), casca de nozes (OLIVEIRA BRITO *et al.*, 2010), entre diversos outros trabalhos de pesquisa (RAFATULLAH *et al.*, 2010).

A bananeira apresenta um pseudocaule rico em fibras com bom potencial como adsorvente de azul de metileno dissolvido em água (AMEL *et al.*, 2012; HAMEED *et al.*, 2008). Vale considerar também que as fibras naturais são biodegradáveis e, portanto, não agredem o meio ambiente. Por outro lado, estudos demonstram ainda que fibras vegetais podem vir a ter sua capacidade adsorptiva aumentada com tratamento químico prévio (YU *et al.*, 2010). Nesse contexto, o presente trabalho visa investigar a influência da temperatura e do pH no processo de adsorção de azul de metileno utilizando fibra de bananeira como adsorvente.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Coleta do Biossorvente

A fibra de bananeira foi obtida de um

pseudocaule de bananeira adulta após colheita do fruto, em uma plantação na região sul catarinense, da espécie *Musa cavendish* L.. O material foi seco em estufa a 70°C e fragmentado em um multiprocessador. O material fibroso foi peneirado, sendo utilizado o material com tamanhos inferiores a 2 mm.

2.2. Caracterização da Fibra de Bananeira

A fibra de bananeira foi caracterizada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) (Shimadzu, IR Prestige-21), com leitura na região de 4.000 a 500 cm⁻¹. Com isso, identificaram-se possíveis grupos orgânicos presentes nas periferias da cadeia polimérica da fibra de bananeira, que possam vir a interagir com o azul de metileno e explicar os resultados obtidos.

2.3. Ensaios de Adsorção

Para a análise da influência da temperatura e do pH na adsorção do corante azul de metileno por fibra do pseudocaule de bananeira, colocou-se, em um reator encamisado, 200 mL de uma solução de azul de metileno 50 mg.L⁻¹ e 0,40 g de fibra de bananeira. O sistema foi posto em agitação mecânica constante, por 10 minutos. Na sequência, promoveu-se a filtração para remoção das fibras. A adsorção foi monitorada por UV-Vis, no comprimento de onda 665 nm.

O percentual de corante removido pelo adsorvente foi calculado conforme Equação 1, onde q é a capacidade de adsorção, em miligramas por grama de adsorvente, C_0 é a concentração inicial do corante, em mg.L⁻¹, C é a concentração final após a biossorção com palha de bananeira, em mg.L⁻¹, V é o volume da solução utilizada, em L, e m é a massa do biossorvente, em gramas:

$$q = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{m} \quad (\text{Eq. 1})$$

2.4. Influência da Temperatura

Para a análise da influência da temperatura da remoção do corante azul de metileno pelo biossorvente em questão, variou-se a temperatura do sistema entre 5 e 50 °C, em intervalos de 5

± 1 °C, em triplicata. Todos os experimentos de adsorção foram realizados em batelada.

2.5. Influência do pH

Para análise da influência do pH na adsorção, utilizou-se o mesmo procedimento, na temperatura em que se obteve o melhor resultado de adsorção, na faixa de pH de 3 a 11, em intervalos de pH de 2 ± 0,1. As correções de pH foram feitas com ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Caracterização da Fibra

Em termos físicos, a fibra apresentou coloração parda, característica de material celulósico, conforme Figura 2 (em anexo), sendo que após a adsorção a mesma apresentou coloração verde escuro.

A análise de FT-IR da fibra de bananeira aponta a presença de alguns grupos funcionais esperados para uma fibra celulósica, como pode ser observado na Figura 3 (em anexo). A banda larga situada em torno de 3430 cm⁻¹ refere-se ao estiramento dos grupos –OH, existente na cadeia da celulose. As bandas de 2920 e 2850 cm⁻¹ são devido ao estiramento das ligações –CH, para carbono alifático (MATOS *et al.*, 2013).

A vibração em torno de 1635 cm⁻¹ decorre das ligações duplas C=C presente nos anéis aromáticos da celulose ou lignina (AMEL *et al.*, 2012). A banda em 1740 cm⁻¹ é referente ao estiramento da ligação C=O dos grupos éster. A banda em torno de 1030 cm⁻¹ é característica da deformação axial da ligação C-O e um pequeno ombro, em 1250 cm⁻¹, de estiramento da mesma ligação (PAVAN *et al.*, 2008). As bandas em 1630 e 1510 cm⁻¹ referem-se a estiramentos de grupos aromáticos (MATOS *et al.*, 2013). As vibrações em torno de 1420 e 1370 cm⁻¹ referem-se as ligações C-O-H. Além disso, o ombro existente em 1157 cm⁻¹ é oriundo das ligações C-O-C presentes na cadeia da fibra (MERLINI *et al.*, 2011).

Com isso, evidencia-se a presença de hidroxilas, carbonilas e ácido carboxílicos nas áreas periféricas da cadeia polimérica da celulose oriunda da fibra de bananeira.

3.2. Influência da Temperatura

Analisando a adsorção em função da temperatura observou-se que na temperatura ambiente (25 °C) a adsorção se dá de forma mais eficaz. A Figura 4 mostra a variação dos valores de capacidade de adsorção de azul de metileno por biomassa fibrosa do pseudocaule de bananeira (q), em função da temperatura.

Figura 4. Absorbância da solução após adsorção em função da temperatura

Um estudo sobre a dependência da temperatura da reação de adsorção fornece informações sobre a variação de entalpia durante adsorção. A mudança de temperatura vai mudar a capacidade de equilíbrio do adsorvente para um determinado corante (MERLINI *et al.*, 2011).

Segundo Hassan *et al.* (2013) que utilizaram como corante o azul de metileno e como adsorvente o *Haloxylon recurvum*, que é um gênero de arbustos, que cresce nas regiões da Ásia Central, Egito e China, a adsorção do corante diminuiu com o aumento da temperatura da solução. O melhor resultado foi a 25 °C.

De acordo com Silva *et al.* (2005) que utilizaram como adsorvente serragem e como corante azul de metileno, à medida que a temperatura aumenta a quantidade máxima adsorvida diminuiu. O melhor resultado foi a 25 °C.

Em ambos os trabalhos a adsorção diminuiu quando a temperatura aumentou, comparando com os resultados do gráfico, a adsorção diminuiu em certo ponto, e com o aumento da temperatura, ela cresceu novamente. No caso da fibra de bananeira, os

experimentos indicaram que a temperatura ambiente o biossorvente apresenta melhor resultado.

3.3. Influência do pH

Ao analisar a adsorção do azul de metileno em função do pH da solução, observou-se que quanto maior o pH mais eficaz foi a adsorção. A Figura 5 representa o gráfico da absorbância da solução após adsorção com fibra de bananeira, em função do pH.

Figura 5. Capacidade adsorptiva da fibra de bananeira em função do pH

Os resultados mostram que para remoção de azul de metileno, com fibra de bananeira, valores de pH alcalinos apresentam melhor eficiência, atingindo a capacidade de adsorção de cerca de 0,8 mg/g de adsorvente em pH igual a 11.

Cabe ressaltar que o próprio azul de metileno, em solução aquosa, apresenta pH básico devido à sua estrutura catiônica, apresentada na Figura 4. No caso, a presença dos grupos $-OH$ e $-COOH$ na cadeia celulósica auxiliam na formação de ligações de hidrogênio capazes de prender o corante à fibra. Porém, em valores alcalinos de pH, ocorre a desprotonação do grupo ácido carboxílico, levando à formação do íon $-COO^-$. Esse íon passa a interagir com o cátion existente na molécula do azul de metileno de forma mais intensa, aumentando a capacidade de retenção do corante pela fibra de bananeira, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6. Mecanismos de adsorção do azul de metileno por uma fibra celulósica (YU *et al.*, 2010)

Comparando os resultados com outros trabalhos, percebe-se similaridades nos resultados obtidos. Cardoso (2010) utilizou como adsorvente casca de pinhão para remoção de azul de metileno e obteve melhor adsorção com pH acima de 8. Segundo Gregório *et al.* (2012), que usou como adsorvente babaçu in natura para remoção de corante azul de metileno, a adsorção também foi melhor em pH mais altos, obtendo 91 % de remoção para pH igual a 7.

Por outro lado, quando se utiliza como biossorvente mesocarpo de coco verde para remoção de corante cinza reativo BF-2R, Rocha *et al.* (2012) obtiveram melhores resultados para pH igual a 2.

Isso indica que o melhor pH depende do tipo de corante a ser utilizado e não da natureza fibrosa do biossorvente. Isso pode ser explicado considerando as interações eletrostáticas entre a carga superficial negativa do biossorvente com a carga positiva do corante azul de metileno (DOGAN *et al.*, 2009).

CONCLUSÕES:

Os dados demonstram a possibilidade do uso da fibra de bananeira na remoção do corante azul de metileno em soluções aquosas. Os melhores resultados foram obtidos inicialmente para a temperatura ambiente (25 °C) e a valores de pH acima de 9.

O comportamento obtido para o pH foi similar ao comportamento obtido por outros trabalhos que utilizaram o mesmo corante e outros biossorventes. Isso se deve as

propriedades catiônicas do adsorvato, que facilita sua ligação com adsorvente em pH maiores.

Por outro lado, o comportamento da adsorção em função da temperatura foi inesperado. A capacidade de adsorção q é influenciada pela temperatura. Porém, o comportamento apresentado não foi linear. Por outro lado, experimentos de adsorção comumente apresentam uma melhor temperatura de operação, que neste caso ficou em 25 °C.

AGRADECIMENTOS:

A Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), pelo financiamento da pesquisa. Ao Instituto de Engenharia e Tecnologia da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc).

REFERÊNCIAS:

1. ACHAK, M. *et al.* Low cost biosorbent "banana peel" for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: Kinetic and equilibrium studies. **Journal of Hazardous Materials**, n. 166, v. 1, p. 117-125, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.036>
2. AKSU, Z.; TEZER, S. Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*, **Process Biochemistry**, n. 40, v. 3-4, p. 1347-1361, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2004.06.007>
3. ALBERTINI, S.; CARMO, L. F. do; PRADO FILHO, L. G. do. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, 27(1): 113-118, jan-mar. 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000100020>
4. AMEL, K.; HASSENA, M. A.; KERROUM, D. Isotherm and kinetics study of biosorption of cationic dye onto banana peel. **Energy Procedia**, v. 19, p. 286-295, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.208>

5. ANWAR, J. *et al.* Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana. **Bioresource Technology**, 101, 1752-1755, Mar, 2010. <http://10.1016/j.biortech.2009.10.021>
6. AUERBACH, S. S. *et al.* Toxicity and carcinogenicity studies of methylene blue trihydrate in F344N rats and B6C3F1 mice. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 1, p. 169-177, 2010. <http://10.1016/j.fct.2009.09.034>
7. CARDOSO, N. F. *et al.* Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1237-1247, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.010>
8. CARDOSO, N. **Remoção do corante azul de metileno de efluente aquosos utilizando casca de pinhão in natura e carbonizada como adsorvente**. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
9. CRISTÓVÃO, R. O. *et al.* Immobilization of commercial laccase onto green coconut fiber by adsorption and its application for reactive textile dyes degradation. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 72, n. 1-2, p. 6-12, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molcatb.2011.04.014>
10. DOGAN, M., ABAK, H., ALKAN, M. Adsorption of methylene blue onto hazelnut shell: kinetics, mechanism and activation parameters. **Journal of Hazardous Materials**, 164, 172-181, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.155>
11. GOUAMID, M.; OUAHRANI, M. R.; BENSACI, M. B. Adsorption equilibrium, kinetics and thermodynamics of methylene blue from aqueous solutions using date palm leaves. **Energy Procedia**, v. 36, p. 898-907, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.103>
12. GREGÓRIO, A. M.; Da SILVA, P.R.; De FARIA, E. O.; KRAUSER, M. O. ; Leal, P. V. B. Influência do pH na adsorção de azul de metileno em Babaçu in natura. **52º Congresso Brasileiro de Química**. Recife, 2012.
13. GUPTA, V. K. Application of low-cost adsorbents for dye removal: a review. **Journal of Environmental Management**, 90, p. 2313-2342, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
14. HAMEED, B. H.; MOHMOUD, D. K.; AHMAD, A. L. Sorption equilibrium and kinetics of basic dye from aqueous solution using banana stalk waste. **Journal of Hazardous Materials**, v. 158, n. 2-3, p. 499-506, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.098>
15. HASSAN, W.; FAROOQ, U.; AHMAD, M.; ATHAR, M.; AIN KHAN. Potential biosorbent, Haloxylon recurvum plant stems, for the removal of methylene blue dye. **Arabian Journal of Chemistry**. Arabian, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.05.002>
16. KUNZ, A. *et al.* Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 25, p. 78-82, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000100014>
17. LIU, C. *et al.* Optimal conditions for preparation of banana peels, sugarcane bagasse and watermelon rind in removing copper from water. **Bioresource Technology**, v. 119, p. 349-354, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.004>
18. MAHMOODI, N. *et al.* Novel biosorbent (Canola hull): Surface characterization and dye removal ability at different cationic dye concentrations. **Desalination**, v. 264, n. p. 134-142, 2010. <http://10.1016/j.desal.2010.07.017>
19. MATOS, T. T. S. *et al.* Aplicação de subprodutos industriais na remoção de corantes reativos têxteis. **Revista Virtual de Química**, n. 5, v. 5, p. 840-852, 2013.
20. MERLINI, C.; SOLDI, V.; BARRA, G. O. Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. **Polymer Testing**, v. 30, n. 8, p. 833-840, 2011.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2011.08.008>
21. OLIVEIRA BRITO, S. M. *et al.* Brazil nut shells as a new biosorbent to remove methylene blue and indigo carmine from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 174, n. 1-3, p. 84-92, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.020>
22. PAVAN, A. *et al.* Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste. **Journal of Hazardous Materials**, v. 50, n. 1, p. 703-712, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.023>
23. PHAN, N. H. *et al.* Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications. **Carbon**, v. 44, n. 12, p. 2569-2577, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2006.05.048>
24. RAFATULLAH, M. *et al.* Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1-3, p. 70-80, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>
25. ROCHA, O. R. S. *et al.* Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Revista Química Nova**, vol. 35 n. 7, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000700016>
26. SILVA, T.; FELIX, T.; DEBACHER, N. **Efeito da temperatura na adsorção de azul de metileno em serragem**. Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.
27. YU, J-X. *et al.* Desorption behavior of methylene blue on pyromellitic dianhydride modified biosorbent by a novel eluent: Acid TiO₂ hydrosol. **Journal of Hazardous Materials**, n. 177, v. 1-3, p. 222-227, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.021>
28. YU, J-X. *et al.* A situ co-precipitation method to prepare magnetic PMDA modified sugarcane bagasse and its application for competitive adsorption of methylene blue and basic magenta. **Bioresource Technology**, v. 110, p. 160-166, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.134>

Figura 2. Aspecto da fibra de bananeira antes e após a adsorção.

Figura 3. Espectro de FTIR para a fibra de bananeira