

Avaliação da eficiência da casca de arroz como coagulante no pós-tratamento de efluente industrial

RESUMO

No Brasil, o coagulante mais utilizado no tratamento de efluentes é o sulfato de alumínio, o qual gera lodo de baixa biodegradabilidade, difícil disposição final e alto impacto ambiental. A presente pesquisa avaliou a eficiência da utilização da casca de arroz como coagulante natural no pós-tratamento de efluente de indústria de tingimento de redes. Foi realizado planejamento fatorial para a otimização dos experimentos, variando três fatores: massa do coagulante, pH e velocidade de agitação. Para todos os experimentos, a remoção de turbidez manteve-se acima de 61,0%, com eficiência ótima de 86,7%. Já para remoção de cor, o percentual variou de 4,0 a 60,5%. Quanto aos valores de carbono orgânico total (COT), obteve-se remoção de 35,4% em meio alcalino. Observou-se aumento da condutividade elétrica após tratamento. Conclui-se que utilização do coagulante natural foi eficiente na remoção de turbidez, parcialmente eficiente na remoção de cor e COT.

PALAVRAS-CHAVE: Casca de arroz. Coagulantes naturais. Tratamento de efluente. Efluente têxtil. Coagulação.

Diana Coláres Nóbrega

nobrega.c.d@gmail.com

Centro Universitário UniFanor,
Fortaleza, Ceará, Brasil

Giuliana Buzelli Santana

giu.buzelli@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná

Juliene Tomé Oliveira

julienetoliveira@gmail.com

Universidade Federal do Ceará,
Fortaleza, Ceará Brasil

Igor Alves Martins

ialves178@gmail.com

Universidade Federal do Ceará,
Fortaleza, Ceará Brasil

Ronaldo Ferreira do Nascimento

ronaldo@ufc.edu.br

Universidade Federal do Ceará,
Fortaleza, Ceará Brasil

Diego de Quadros Melo

diegodqm@gmail.com

Instituto Federal do Sertão
Pernambucano, Petrolina,
Pernambuco

Carla Bastos Vidal

cvidal@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná

INTRODUÇÃO

A água é um bem natural necessário para a manutenção da vida na terra, sendo considerado um recurso natural inesgotável, devido ao seu ciclo hidrológico, entretanto, a qualidade da água para fins de potabilidade está cada vez mais escassa, devido as atividades antropogênicas poluidoras.

Tais atividades estão relacionadas, principalmente, com o crescimento populacional e, logo, uma maior demanda para o abastecimento humano, agrícola e industrial, verificando-se que o uso inapropriado desse recurso tem agravado a escassez hídrica, principalmente a respeito da qualidade e disponibilidade das águas doces (REINEHR, 2017). Diante deste cenário, segundo a Agência Nacional de Águas- ANA “[...] na estimativa nacional de usos consuntivos da água, a indústria de transformação representa o terceiro maior uso, atrás do abastecimento urbano e da agricultura irrigada” (BRASIL, 2017).

Já no tocante ao uso da água na indústria, por exemplo, os principais usos são para fabricação direta dos produtos, limpeza, resfriamento dos maquinários e para a diluição dos efluentes (REINEHR, 2017). Esses efluentes, em sua grande maioria, são despejados em rios mais próximos, o que se torna cada vez mais preocupante.

Desta forma, a poluição de corpos hídricos é decorrente do lançamento incorreto dos esgotos sanitários domésticos e industriais em duas formas de descarte: a direta e a indireta. O lançamento direto ocorre quando efluentes não tratados ou pós tratados que ainda possuem matéria orgânica são despejados em um corpo hídrico. Já o indireto decorre da disposição desses resíduos nos solos e que posteriormente poderão ser carreados, lixiviados ou solubilizados pela água da chuva podendo alcançar os rios ou riachos (CALIJURI; CUNHA, 2013).

É comum que as indústrias possuam em suas sedes uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) com intuito de viabilizar o lançamento de seus efluentes nos corpos receptores ou até mesmo para realizarem o reuso do efluente já tratado em seus processos. Nas ETEs, os efluentes sofrem vários processos de tratamento, dentre eles a Coagulação e a Floculação.

No Brasil, o coagulante mais utilizado é sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$ por apresentar grande potencial de desestabilização das partículas coloidais favorecendo a formação de flocos em tamanhos condizentes para a sua extração, além do baixo valor comercial. Porém, de acordo com Richter (2001), o lodo formado após a utilização desse coagulante apresenta baixa proporção de biodegradabilidade.

Por isso, a busca de novas alternativas é importante, logo, o presente trabalho visa avaliar a eficiência da casca do arroz, como um coagulante natural, no processo de coagulação de efluente industrial.

METODOLOGIA

O efluente utilizado é proveniente de uma indústria de redes de dormir localizada no município de Jaguaruana no estado do Ceará. O mesmo passou por um processo de tratamento eletrolítico realizado no Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará. O efluente foi

coletado em galão plástico de 5 L e ficou armazenado em temperatura ambiente no Laboratório de Processos Químicos do Centro Universitário UniFanor (Figura 1).

Figura 1. Efluente bruto antes do tratamento com o coagulante natural.



Fonte: Os autores, 2020.

A casca do arroz foi obtida pela EMBRAPA em sua forma *in natura*, e depois triturada em um miniprocessador modelo HC31 BlackDecker® e armazenada em frascos plásticos. O processador garantiu que a casca fosse triturada uniformemente a fim de não interferir nos resultados dos diferentes experimentos

A quantidade processada foi suficiente para que fossem realizados todos os testes em laboratório. O pó resultante foi peneirado na granulometria de 60 a 100 mesh e submetidos a tratamento alcalino, utilizando para isso, solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 5% (m/v) por 3 horas sob agitação para pré-tratamento do coagulante. O material foi então lavado com água destilada até o pH neutro e seco em estufa a 60 °C. Esse procedimento é bastante difundido na literatura, conhecido como mercerização, o processo favorece a modificação de materiais lignocelulósicos com outras substâncias (MELO *et al.* 2014).

Para o planejamento fatorial, foi utilizado um software (STATGRAPHICS Centurion, StatPoint technologies, Inc, VA 20186, USA) para a realização e otimização dos experimentos, constituindo de 8 + 2 pontos centrais, sendo os experimentos realizados em monoplicata e os pontos centrais em duplicata. O planejamento fatorial completo foi definido para esta pesquisa com intuito de precisar os fatores que influenciaram nos testes de coagulação e investigar a variação dos parâmetros (SANTANA *et al.* 2020). No experimento foram variados 3 fatores, sendo eles: massa do coagulante, pH e velocidade de agitação na etapa de floculação em 3 níveis, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Faixa experimental e níveis dos fatores estudados no planejamento fatorial.

Fatores	Símbolos	Níveis		
		-1	0	+1
Agitação	A	3	5	7
Conc. do coagulante (g.L ⁻¹)	B	5	10	15
pH	C	3	6	9

Fonte: Os autores, 2020.

O experimento seguiu as seguintes etapas: o coagulante foi pesado em uma balança analítica de bancada, M214Ai BEL Engineering® e, com o auxílio de uma espátula, adicionado ao becker contendo 200 mL do efluente industrial, como neste experimento era solicitado testes com diferentes níveis de pH, o mesmo era ajustado utilizando soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl). Em seguida, os beckers foram transportados até os agitadores magnéticos de modelo 752a Fisatom e submetido a 2 minutos de mistura rápida (coagulação), 15 minutos de mistura lenta (floculação) e 30 minutos de repouso (sedimentação). O agitador magnético citado acima possui 11 níveis de velocidade que correspondem, segundo o manual do equipamento, aos valores de 100 a 1800 rpm (rotações por minuto) e foram ajustados manualmente de acordo com o que foi pré-determinado no planejamento fatorial

Após o processo de coagulação/floculação/sedimentação, utilizou-se o papel filtro a fim de separar o produto sedimentado e realizou-se as seguintes análises de parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica, cor, turbidez e COT do efluente filtrado.

As condições geradas pelo programa estatístico para os testes em laboratório podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2. Condições geradas pelo planejamento fatorial.

Experimento	Agitação	Conc. de coag. (g. L ⁻¹)	pH inicial
1	7,0	5,0	9,0
2	7,0	15,0	3,0
3	3,0	15,0	3,0
4	5,0	10,0	6,0
5	5,0	10,0	6,0
6	3,0	5,0	9,0
7	3,0	5,0	3,0
8	7,0	5,0	3,0
9	7,0	15,0	9,0
10	3,0	15,0	9,0

Fonte: Os autores, 2020.

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos das análises físico-químicas do efluente bruto antes do tratamento.

Tabela 3. Resultados dos parâmetros estudados para o efluente industrial antes dos testes

Parâmetro	Unidade	Resultado
pH	-	8,25
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	4,23
Cor	mgPt-Co.L^{-1}	154
Turbidez	uT	16,58
COT	mg.L^{-1}	113

Fonte: Os autores, 2020.

O efluente em questão já havia passado por processo de tratamento eletrolítico. Essa água residuária, antes do tratamento eletrolítico, era proveniente da etapa de tingimento da indústria de redes e possuía uma cor azulada causada pelo corante Reactive Blue 19, entretanto após o tratamento eletrolítico houve uma remoção de cor de 87%, deixando a cor com valor residual de 154 mgPt-Co/L ainda com valores elevado, e, portanto, necessitando, de pós-tratamento. O motivo pelo qual o efluente apresenta essa cor amarelada após o tratamento com eletrodos, está baseada na formação de íons Fe^{3+} que foram gerados durante o tratamento eletrolítico (RIBEIRO, 2017).

Durante o processo de eletrocoagulação, os níveis de turbidez sofrem um aumento causado pela formação de flocos, resultado do processo de agregação dos colóides pela espécie coagulante formada no processo eletrolítico. Após o tempo de sedimentação (45 minutos, neste caso) a redução da turbidez foi significativa, passou de, aproximadamente, 50 uT para 16,58 uT.

As águas residuárias provenientes das indústrias têxteis apresentam valores de pH bastante diversificados. Porém, na indústria em estudo, o processo de tingimento emprega grandes quantidades de NaOH (hidróxido de sódio) o que torna esperado que o pH do efluente esteja situado em faixa alcalina (RIBEIRO, 2017).

O COT (Carbono Orgânico Total) representa tanto a matéria orgânica biodegradável como também a não biodegradável. É comum utilizar os parâmetros de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) para representar essas frações orgânicas, entretanto a análise de COT torna-se mais completa, pois representa também a carga orgânica do efluente como carboidratos, óleos, gorduras, proteínas, entre outros, descrevendo uma forma mais exata de interpretação da matéria orgânica total na amostra (SANTANA *et al.* 2020).

Na presente pesquisa, os níveis de COT do efluente tratado pela eletrocoagulação são baixos, pois de acordo com Crespilho *et al.* (2004), os agentes coaguladores formados pelas placas possuem grande afinidade com as substâncias orgânicas, e assim favorecem as interações que contribuem para que os colóides

umentem e sejam facilmente removidos, ou seja, a COT é significativamente reduzida.

Os resultados observados na Tabela 3 revelam a real necessidade de pós tratamento, uma vez que mesmo o efluente passando por unidade de tratamento eletroquímico da empresa não houve remoção eficiente de cor, turbidez e matéria orgânica.

O pré-tratamento de coagulantes naturais lignocelulósicos com NaOH se torna uma etapa importante do preparo do material, uma vez que é comum a liberação da fração solúvel pré-existentes nesses materiais, aumentando, assim, o teor de matéria orgânica no efluente. Dessa maneira, faz-se necessário que esses resíduos vegetais antes de serem utilizados como adsorventes ou coagulantes passem por pré-tratamento. Além disso, o pré-tratamento melhora as condições de coagulação do resíduo por conta do aumento da porosidade e da área superficial (RAULINO *et al.* 2018).

Raulino *et al.* (2018) relatam que a utilização de solução alcalina altera tanto a estrutura fina e morfologia da fibra, como também a conformação de cadeias de celulose, produzindo mudanças na resistência, no brilho da fibra e na capacidade de coagulação. Há um aumento do teor de material menos ordenado nas fibras, ao mesmo tempo que a parte cristalina diminui. Devido a essas alterações, a capacidade de coagulação do material é melhorada, uma vez que há o aumento da área superficial da fibra e exposição dos grupos hidroxila das macromoléculas de celulose.

Na Tabela 4, podemos observar os resultados dos parâmetros analisados nos testes realizados nas diferentes condições geradas pelo programa estatístico.

Tabela 4. Resultados dos parâmetros estudados nos testes de coagulação.

Exp	pH _i	Agitação	Coag.	pH _f	Cor	Turb.	Cond.	COT
1	9,0	7,0	5,0	8,9	144	2,21	4,19	72,95
2	3,0	7,0	15,0	3,88	60,9	3,75	4,83	93,73
3	3,0	3,0	15,0	3,72	68,7	4,06	4,94	93,05
4	6,0	5,0	10,0	6,44	112	6,39	4,30	142,25
5	6,0	5,0	10,0	6,93	82	3,00	4,25	117,25
6	9,0	3,0	5,0	8,7	124	3,31	4,19	208,20
7	3,0	3,0	5,0	3,5	152	5,54	4,59	98,68
8	3,0	7,0	5,0	4,64	110	6,81	4,61	99,68
9	9,0	7,0	15,0	8,38	122	3,04	4,24	223,95
10	9,0	3,0	15,0	8,48	160	2,69	4,22	217,98

Fonte: Os autores, 2020.

Com intenção de minimizar custo, tempo e de estudar melhor as interações entre as variáveis do processo coagulação/floculação/decantação, evitando o tradicional teste que consiste em estudar uma variável por vez, foi definido para esta pesquisa a utilização do planejamento fatorial (VIDAL, 2015).

Os fatores que mais alteram os resultados de clarificação do efluente, são: pH, concentração inicial do coagulante e agitação (PIVELI; KATO, 2005). Esses três fatores, como mencionado anteriormente, foram variados pelo software de

planejamento fatorial com intuito de definir as melhores condições para tratamento do efluente industrial com o uso do coagulante natural.

É possível observar pelos dados da Tabela 4, que dependendo das condições iniciais definidas no planejamento, em relação ao pH, concentração do coagulante e agitação, os resultados finais dos parâmetros estudados são diferentes.

As mudanças das condições iniciais do tratamento podem acabar favorecendo ou desfavorecendo um experimento em relação ao outro. O pH, por exemplo, é um dos parâmetros que necessita maior controle no tratamento de águas residuárias industriais, pois ele afeta diretamente na precipitação química de metais pesados, que neste caso, para que ocorra tal processo, é necessário que o pH esteja em faixa alcalina. Dessa forma o coagulante reage com a alcalinidade do meio formando hidróxidos metálicos polimerizados, insolúveis, que deslocam os colóides em seu percurso de sedimentação (PIVELI; KATO, 2005).

Ao analisar o parâmetro turbidez é possível verificar que nos experimentos 1, 6, 9 e 10 os valores finais assumem níveis mais baixos, o que difere dos experimentos 2, 3, 7 e 8, que por sua vez, são os níveis mais altos para este parâmetro. Piveli e Kato (2005) explicam que em faixas alcalinas ocorre o fenômeno de floculação por varredura e que muitas vezes esse fenômeno chega a ser predominante durante o processo. Por esse motivo, os experimentos que tiveram o pH mais elevado, obtiveram resultados mais satisfatórios.

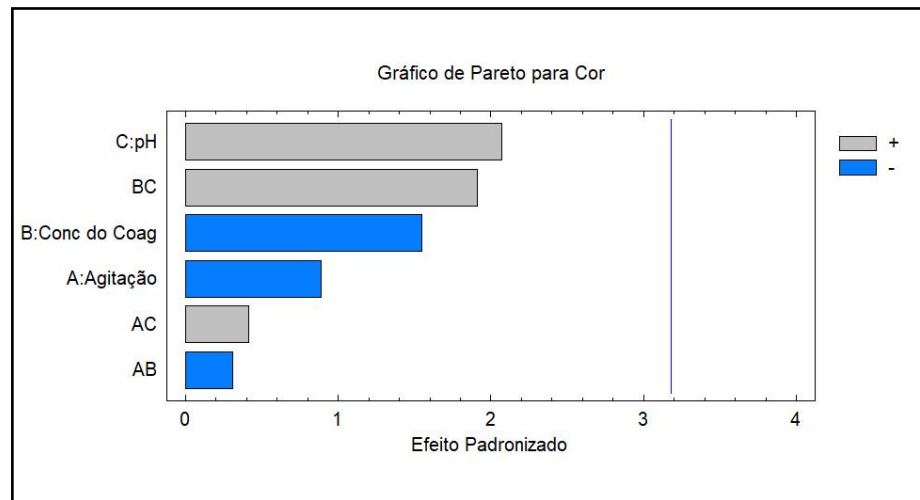
O experimento realizado por Santana *et al.* (2020) utilizou a semente da *Moringa oleífera* para o tratamento de um efluente da indústria de tintas, o mesmo processo ocorreu com relação a turbidez em experimentos com pH elevado, ou seja, a remoção de partículas em suspensão foi mais satisfatória.

Já em relação a concentração do coagulante, no experimento 6 o nível de turbidez foi o mais alto dentre os testes realizados em faixa alcalina, desta forma, houve uma menor remoção de sólidos dissolvidos. Contudo, no experimento 1 também houve baixa concentração do coagulante, mas o que difere os resultados finais de turbidez, é a velocidade de agitação. No experimento 1, o qual foi mais eficaz, a agitação foi máxima, o que promoveu melhor interação entre coagulante e sólidos dissolvidos.

Ainda analisando a concentração do coagulante, agora em faixa ácida do pH, o mesmo acontece para os experimentos 7 e 8. Possuem o pior resultado para o parâmetro da turbidez, uma vez que a concentração utilizada foi a mínima descrita pelo planejamento.

Apesar de identificar as diferenças entre os experimentos realizados, a Figura 2, ilustra gráfico de Pareto para a turbidez, não considera estatisticamente significativa a variação de nenhum dos fatores estudados, ainda que o pH tenha ficado mais próximo da linha de referência.

Figura 2. Gráfico de Pareto para Cor.



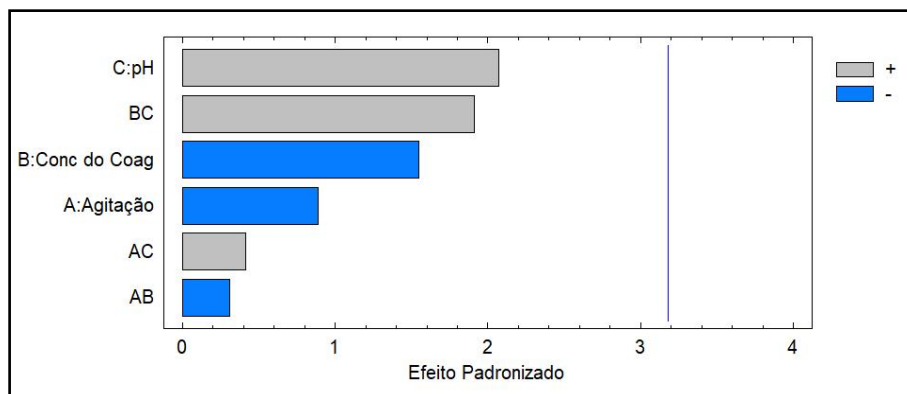
Fonte: Os autores, 2020.

Em águas naturais, a turbidez presente no meio causa a redução na incidência dos raios luminosos, provocando mudanças na dinâmica do ecossistema aquático. Após a ação do coagulante natural, a turbidez passou de 16,58 uT para, no máximo, 6,81 uT.

Já em relação a cor do efluente o valor máximo permitido é de 75mg Pt/L para águas de classe 2 ou 3, já para as águas de classe 1, essa resolução impõe: “cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L”. A cor verdadeira refere-se a amostras sem turbidez (CONAMA, 2005). Os experimentos 2 e 3 obtiveram melhores resultados e foram os únicos que se mantiveram abaixo do limite permitido.

A Figura 3 ilustra o gráfico de Pareto para a cor, pode-se observar que nenhum fator estudado foi estatisticamente significativo no tratamento para esse parâmetro. Em águas naturais a presença de cor vincula-se a problemas de estética, às dificuldades na penetração de luz e à presença de compostos não biodegradáveis (recalcitrantes), que com taxas de decomposição muito baixas, geralmente são tóxicos aos organismos aquáticos (CONAMA, 2005).

Figura 3. Gráfico de Pareto para Cor



Fonte: Os autores, 2020.

Barcellos *et al.* (2015) utilizou as cinzas da casca de arroz como coagulante no tratamento de banho residual de tingimento têxtil e obteve resultados satisfatórios para a remoção de cor do efluente. As cinzas foram lavadas em 2 ciclos, água a temperatura de 70 °C a 90 rpm por um período de 24h em cada lavagem. Os corantes presentes no banho residual de tingimento apresentavam bicromia (Amarelo remazol ultra RBG e Vermelho remazol ultra gran) ambos reativos e com concentrações 0,10% e 1,49% respectivamente. Foi utilizada uma concentração de 13g do coagulante para o volume de 100mL do efluente. A redução de cor foi de aproximadamente 91%.

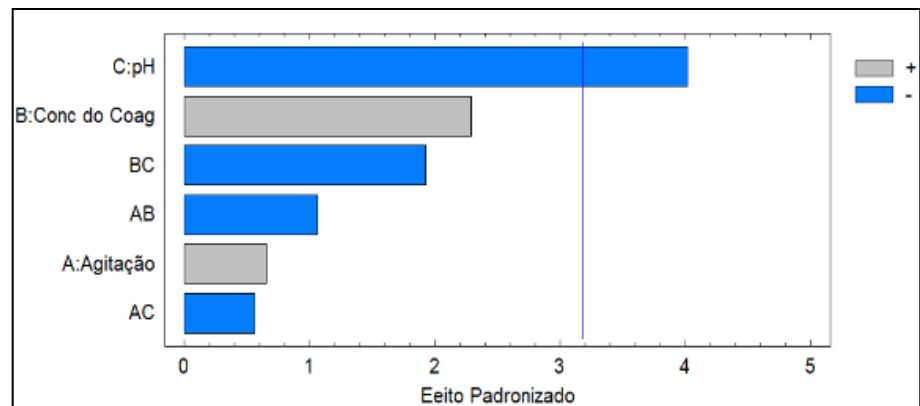
O que difere a eficiência dos dois resultados é a composição química adquirida pela casca de arroz após ser carbonizada. Segundo Nascimento *et al.* (2015), as cinzas da casca de arroz são compostas, majoritariamente, por sílica. Fangmeier e Hoehne (2012), explicam que a sílica em sua forma amorfa pode ser utilizada, de modo eficiente, como adsorvente/coagulante.

O pH em condições ácidas pode vir a solubilizar algumas substâncias metálicas presente no meio, os quais ionizam-se na água de diversas maneiras. Os íons metálicos possuem diferentes faixas de pH ótimo para precipitação, e quando o efluente possui mistura de diversos metais, é necessário que se trabalhe em distintas faixas de pH (PIVELI; KATO, 2005).

A discussão acima corrobora com os resultados obtidos nos testes. Em pH ácido, experimentos 2, 3, 7 e 8, ocorreu o aumento da condutividade decorrente da solubilização de metais pesados presentes no meio.

A Figura 4 apresenta o gráfico de Pareto para condutividade e podemos analisar que o fator pH foi estatisticamente significativo de forma negativa, ou seja, quanto mais alcalina for a solução, menor será o nível de solubilização de metais pesados e conseqüentemente menor será a condutividade do meio.

Figura 4. Gráfico de Pareto para condutividade



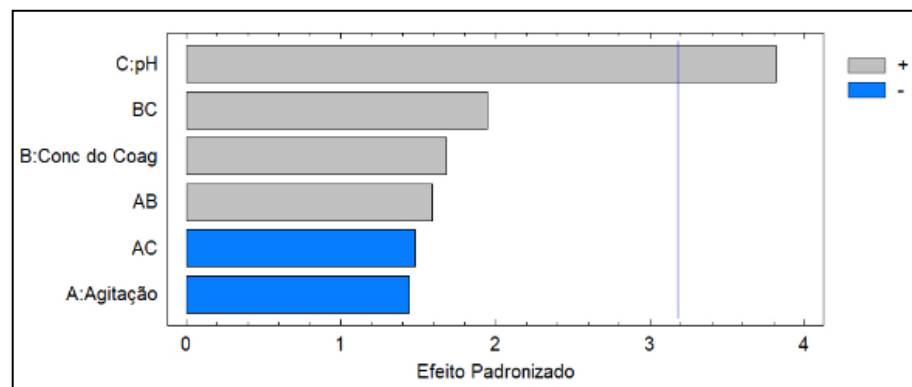
Fonte: Os autores, 2020.

O CONAMA não delimita valores para a condutividade. Porém algumas legislações estaduais impõem limite $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ no lançamento dos efluentes tratados para disposição no solo. No presente trabalho, todos os experimentos estão com valores abaixo do limite máximo, por tanto, esse parâmetro está de acordo com a legislação vigente.

De acordo com Di Bernardo *et al.* (2017), o COT é apontado como parâmetro mais decisivo para determinar a quantidade de carbono orgânico presente nas águas, pois não depende do estado de oxidação da matéria orgânica e não quantifica outras substâncias ligadas a cadeia dos compostos orgânicos (nitrogênio e hidrogênio) além de compostos inorgânicos. A presença desses contaminantes na água pode desempenhar o papel de nutriente e contribuir para o surgimento indesejável de microrganismos, favorecer a formação de compostos orgânicos halogenados ou até mesmo impossibilitar o processo de tratamento. A diminuição de COT do efluente está indiretamente ligada a redução de micro contaminantes orgânicos.

O fator pH foi estatisticamente significativo de forma positiva, ou seja, quanto mais ácido for o pH, maior será a remoção de COT do efluente. A Figura 5, gráfico de Pareto para COT, retrata a significância estatística do pH de forma clara.

Figura 5. Gráfico de Pareto para COT



Fonte: Os autores, 2020.

Em termos de eficiência de remoção, os parâmetros turbidez e cor obtiveram o maior percentual satisfatório, sendo de 86,67% (experimento 1) e 60,45% (experimento 2), respectivamente. Na avaliação de melhor eficiência de remoção da turbidez, as condições que obtiveram melhor resultado foram fixadas no experimento 1; pH 9, agitação 7 e concentração de 5g.L⁻¹ do coagulante.

Entretanto, ao analisar o maior percentual de remoção da cor, o experimento 2 deteve maior eficiência em comparação aos demais; pH 3, agitação 7 e concentração de 15g.L⁻¹ do coagulante.

Para a cor e a turbidez, os fatores estudados não atingiram significância estatística, ou seja, não houve influência positiva ou negativa para pH, agitação ou concentração do coagulante.

Os parâmetros de condutividade e COT alcançaram os respectivos percentuais de melhor remoção: 1% e 35,44%. Para a condutividade, o melhor resultado foi obtido nos experimentos 1 e 6. Ambos com o pH 9 e concentração do coagulante de 5g.L⁻¹, diferindo a agitação apenas. Para o COT a melhor eficiência ocorreu no experimento 1 sob as seguintes condições: pH 9, agitação 7 e concentração de 5g.L⁻¹ do coagulante.

Contudo, apesar do parâmetro condutividade ter tido baixo percentual de remoção, houve significância estatística para o fator pH, como afirma o gráfico de Pareto. Em concordância com o que já mencionado anteriormente, o fator pH interfere negativamente no processo, o que significa dizer que em soluções alcalinas a remoção da condutividade torna-se mais eficaz. Porém, com o COT a significância do pH interfere estatisticamente de forma positiva no processo de remoção do parâmetro, ou seja, quanto mais ácido o meio, mais alta a eficiência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da casca de arroz tratada com NaOH, como agente coagulante, foi eficiente na remoção de turbidez, parcialmente eficiente na remoção de cor e COT e ineficiente na redução da condutividade elétrica, mostrando que pode ser utilizada como parte do processo de tratamento em efluentes têxteis. Em todos os experimentos realizados, a eficiência de remoção da turbidez ficou acima de 61% e apresentou como melhor resultado uma remoção de 86,67% sob as condições do experimento 1; pH 9, agitação 7 e concentração do coagulante de 5g.L⁻¹. Já na remoção da cor, esse percentual variou de 4% a 60,45%, exceto nos experimentos 7 e 10, os quais apresentaram um acréscimo de cor no efluente. O melhor resultado foi constatado no experimento 2 sob as seguintes condições: pH 3, agitação 7 e concentração do coagulante de 15g.L⁻¹.

A redução no parâmetro COT não foi expressiva, tendo como melhor resultado uma remoção de apenas 35,44% quando em meio alcalino. Dos dez experimentos realizados, cinco causaram aumento de carga orgânica no efluente, sugerindo dessa forma, que a casca de arroz liberou substâncias orgânicas no meio. De acordo com os gráficos de Pareto, dos fatores estudados, somente o pH obteve significância estatística em dois parâmetros, condutividade elétrica e COT, mostrando que para a melhor remoção do COT o pH deve está situado em faixa ácida, enquanto para o COT o pH deve se manter em faixa alcalina. Desta forma, a utilização da casca de arroz como coagulante exige que seja feita a correção do pH de acordo com finalidade do processo.

O software de planejamento fatorial utilizado foi importante para analisar a interferência de cada nível variado em relação aos fatores, podendo assim definir as melhores condições de desempenho do coagulante natural perante os parâmetros analisados. Essas interações poderiam não ser detectadas facilmente, o que faz com que essa ferramenta seja eficaz para a otimização dos resultados.

Evaluation of the efficiency of rice husk as a coagulant in the post-treatment of industrial effluent

ABSTRACT

In Brazil, the most used coagulant in wastewater treatment is aluminum sulfate, which generates low biodegradability sludge, which difficult final disposal and increase the environmental impact. This research evaluated the efficiency of rice husk as a natural coagulant in the post-treatment of textile effluent. Factorial planning was carried out to optimize the experiments, varying three factors: mass of the coagulant, pH and agitation speed. For all experiments, the removal of turbidity remained above 61.0%, with an optimal efficiency of 86.7%. As for color removal, the percentage ranged from 4.0 to 60.5%. As for the values of total organic carbon (TOC), removal of 35.4% in alkaline medium was obtained. An increase in electrical conductivity was observed after treatment. It was concluded that the use of the natural coagulant was efficient in removing turbidity, partially efficient in removing color and TOC.

KEYWORDS: Rice husk. Natural coagulant. Wastewater treatment. Textile effluent. Coagulation.

REFERÊNCIAS

BARCELLOS, I.O; LIMA, T; BLOSFELD, A.M. Determinação do número de ciclos de reuso do adsorvente cinza de casca de arroz no tratamento de um banho residual de tingimento têxtil. *Eclética Química*, v. 40, 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Água na indústria: uso e coeficientes técnicos, 2017. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial/agua-na-industria-uso-e-coeficientes-tecnicos-versao-final.pdf/view>. Acesso: 16 out. 2018

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em: 31 out. 2018.

CALIJURI, M.C; CUNHA, D.G.F. Engenharia Ambiental – Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro: Editora ELSEVIER, 2013.

DI BERNARDO, L; DANTAS, D.B; VOLTAN, P.E.N; KOYAMA, M. H; Eficiência de remoção de carbono orgânico total em ETA de ciclo completo no tratamento de água superficial contaminada – estudo de caso. Congresso ABES, FENASAN, 2017. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/remocao-carbono-ciclo-agua>. Acesso: 20 fev. 2019.

FANGMEIER, Michele; HOEHNE, Lucélia. Avaliação de carvão ativado e de sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio. *Revista destaques acadêmicos*, v.4, 2012 - CETEC/UNIVATES. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/issue/view/23/showToc>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. *Química Nova*, v. 27, 387-392, 2004.

MELO, D.Q.; VIDAL, C. B.; da SILVA, A. L.; TEIXEIRA, R.N.P.; RAULINO, G.S.C.; MEDEIROS, T.C.; FECHINE, P.B.A. ; MAZZETO, S.E.; DE KEUKELEIRE, D.; NASCIMENTO, R.F. Removal of Cd 2+, Cu 2+, Ni 2+ and Pb 2+ ions from aqueous solutions using tururi fibers as an adsorbent. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 131, p. n/a-n/a, 2014.

NASCIMENTO, G.C; DOMINGUINI, L; MELLO, J.M.M; MAGRO, J.D; RIELLA, H.G; FIORI, M.A. Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do Sul de Santa Catarina – Brasil. *Ciência e Natura*, v. 37, p. 634-640, 2015.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo: Abes, 2005. 285 p.

RAULINO, G. S. C.; SILVA, L. S.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; DO NASCIMENTO, R. F. Role of surface chemistry and morphology in the reactive adsorption of metal ions on acid modified dry bean pods (.) organic polymers. *Journal of applied polymer science*, v. 135, p. 45879, 2018.

REINEHR, R. C. R. Otimização da técnica de eletrofloculação via análise de superfície de resposta aplicada ao efluente de uma indústria cosmética. Monografia (Bacharel) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, Rio Grande do Sul. 2017.

RIBEIRO, J. P. Tratamento de efluentes têxteis por processo eletrolítico com corrente direta pulsada em escala laboratorial e piloto visando o reuso no processo produtivo. 2017. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

RICHTER, C.A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.

SANTANA, G. B.; NOBREGA, D. C.; OLIVEIRA, J. T.; ALVES, I. R.; VIDAL, C.B. Aplicação da semente de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante natural no tratamento de efluente de indústria de tintas no Ceará, Brasil. *Revista Tecnologia*, v. 41, p. 1-17, 2020.

VIDAL, C. B. Desreguladores Endócrinos presentes em matrizes ambientais: Análise por SPE-HPLC e remoção com argila pilarizada. 2015. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil - Área Saneamento Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

Recebido: 10/08/2020

Aprovado: 14/05/2021

DOI: 10.3895/rts.v17n48.12964

Como citar: NÓBREGA, D. C. et al. Avaliação da eficiência da casca de arroz como coagulante no pós-tratamento de efluente industrial. *Rev. Technol. Soc.*, Curitiba, v. 17, n. 48, p. 132-146, jul./set. 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/12964>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

