



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS

DANIEL DE MORAIS SOBRAL

**CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS DE EFLUENTE DE
LAVANDERIA HOSPITALAR PELO EMPREGO DE
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Recife, 18 de Dezembro de 2020

DANIEL DE MORAIS SOBRAL

**CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS DE EFLUENTE DE
LAVANDERIA HOSPITALAR PELO EMPREGO DE
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Modelagem e Otimização de Processos.

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos

Coorientadora: Prof. Dra. Galba Maria de Campos-Takaki

Recife, 18 de Dezembro de 2020

Ficha Catalográfica

Sobral, D. M.

Clarificação de águas de lavanderia hospitalar pelo emprego de cinzas de carvão mineral. 2020. 92 páginas.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2020.

1. Lavanderias hospitalares. 2. Cinza de carvão mineral. 3. Microestrutura zeolítica. 4. Clarificação de águas. 5. Hidrociclones. 6. Adsorção.

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais.
Centro de Ciências e Tecnologia.

**CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS DE EFLUENTE DE
LAVANDERIA HOSPITALAR PELO EMPREGO DE
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

DANIEL DE MORAIS SOBRAL

Examinadores:

Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos (Orientador)
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Prof. Dr. Marcos Antônio Barbosa de Lima
Departamento de Biologia - Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof. Dr. Mohand Benachour
DEQ-CTG - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Defendida em: 18/12/2020.

Coordenador (a): Profa. Dra. Galba Maria de Campos Takaki

Dedico esta dissertação à minha família,
meu Pai, minha Mãe e aos meus irmãos,
aos meus grandes amigos e aos meus
professores, ao surf e à natureza.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre me deu força, serenidade e paz nos momentos mais difíceis, para vencer os grandes desafios da vida, que só estão começando.

À minha família, meu pai Marcos Péricles de Queiroz Sobral e minha mãe Francisnalva de Moraes Sobral, que sempre estiveram comigo para tudo. Aos meus irmãos Rodrigo de Moraes Sobral e Marcos Péricles de Queiroz Sobral Filho.

À FACEPE, pela oportunidade da concessão da bolsa de estudos, possibilitando desta forma o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq e à Capes pelo incentivo às pesquisas científicas.

À UNICAP, pela oportunidade de estudo para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores Dr. Valdemir Alexandre dos Santos, meu Orientador, que se dedicou a passar conhecimento e que acreditou na realização deste trabalho, e a professora Dra. Galba Maria de Campos-Takaki, minha coorientadora, pela sua dedicação, investimento e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Sérgio Mendonça de Almeida

Ao corpo docente do programa de pós-graduação do mestrado em DPA da UNICAP.

Agradeço aos funcionários que trabalham na Unicap, em especial aqueles que trabalham no NPCIAMB e no Laboratório de Química, como os Técnicos de Laboratório André Felipe e Pammelo Barros.

Agradeço a todos os meus amigos e amigas que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho, em especial a minha grande amiga Camila Freire Novaes, que é uma irmã para mim. Agradeço também às amigas Adriana Ferreira de Souza e Dayana Montero-Rodríguez pelo apoio e incentivo nas pesquisas e no desenvolvimento deste trabalho.

E, agradeço em especial ao meu terapeuta Cesar Sobreira e ao meu psicanalista Dr. Thiago Queiroz, que sempre acreditaram no meu potencial.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE QUADROS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	14
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1 Atividades Hospitalares	18
3.2 Lavanderia Hospitalar	18
3.3 Tratamento de Efluentes Hospitalares	19
3.4 Cinzas de Carvão Mineral	21
3.4.1 Origem e aplicações	22
3.4.2 Microestrutura das CCM	22
3.4.3 Uso das cinzas como clarificante	23
3.4.4 Mecanismos Zeolíticos	24
3.5 Separação Sólido-Líquido	25
3.5.1 Hidrociclones	26
3.5.2 Tanques de mistura	30
REFERÊNCIAS	33
CAPÍTULO II	37
Resumo	38
1 Introdução	38
2 Material e Métodos	40
2.1 Correlação de propriedades da mistura com a concentração de CCM	40
2.2 Componentes de um sistema de clarificação com hidrociclones	41
2.3 Teste de toxicidade	43
3 Resultados e Discussão	44
3.1 Características do efluente da lavanderia hospitalar	44
3.2 Variável resposta em função da concentração de CCM	48
3.3 Análise do teste de toxicidade	50

3.4 Estratégias de controle e automação do processo de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM.....	55
3.5 Sistema de clarificação de efluente hospitalar	55
4 Conclusões e Sugestões	59
REFERÊNCIAS	60
CAPÍTULO III	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
APÊNDICE 1	64
APÊNDICE 2	66
ANEXO.....	83

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – MEV do adsorvente.	24
Figura 2 – FT-IR do adsorvente.	25
Figura 3 – Separador hidrociclone.	27
Figura 4 – (a) Escala Laboratorial (b) Escala Comercial	32
Figura 5 – Layout de um processo de separação sólido-líquido utilizando um Hidrociclone.	32

CAPÍTULO II

Figura 1 – Fluxograma para concepção de um sistema de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM.....	42
Figura 2 – Comportamento do pH e da Eficiência de clarificação em função da concentração de CCM do experimento 1.....	49
Figura 3 – Valores de concentração de CCM com respectivos valores de eficiência de remoção da cor e pH do efluente testado no experimento 2.....	50
Figura 4 – Relação da concentração da solução A1 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h.....	51
Figura 5 – Relação da concentração da solução A2 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h.....	51
Figura 6 – Relação da concentração da solução A3 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h.....	52
Figura 7 – Relação da concentração da solução A4 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h.....	52
Figura 8 – Relação da toxicidade do dodecil sulfato de sódio (100 mg.L^{-1}).....	53
Figura 9 – Relação da toxicidade da solução controle (C^+).....	53
Figura 10 – Relação da toxicidade da solução A1 (5 g.L^{-1} de CCM).....	54
Figura 11 – Relação da toxicidade da solução A4 (20 g.L^{-1} de CCM).....	54
Figura 12 – Diagrama de blocos para as estratégias de controle e automação do processo de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM.....	55

Figura 13 – Fluxograma do processo de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM.....	57
---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Parâmetros construtivos e operacionais de um hidrociclone.....	28
---	----

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Valores de concentração de CCM com respectivos valores de eficiência de remoção da cor e pH do efluente testado no experimento 1.....	48
Tabela 2 – Valores de concentração de CCM com respectivos valores de eficiência de remoção da cor e pH do efluente testado no experimento 2.....	49

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I

Quadro 1a – Análise bacteriológica do efluente do ponto de entrada da estação de tratamento de efluentes (ETE).....	44
Quadro 1b – Análise físico-química do ponto de entrada da ETE.....	45
Quadro 2a – Análise bacteriológica do ponto de saída da ETE.....	46
Quadro 2b – Análise físico-química do ponto de saída da ETE.....	47

RESUMO

A escassez de água na região Agreste de Pernambuco é um fato preocupante para as comunidades e indústrias instaladas neste local. Uma das atividades desenvolvidas nessa área envolvem as centrais de processamento de roupas hospitalares, que são importantes setores de serviços, e o segmento de saúde, sendo ambos responsáveis por uma parcela significativa no consumo de água, principal matéria-prima. Neste último seguimento, os efluentes gerados pelo processamento de roupas em lavanderias hospitalares representam uma mistura complexa, resultante dos produtos inseridos durante a lavagem e da carga orgânica e inorgânica proveniente de sujidades das roupas processadas. Dessa forma, além da escassez de mananciais aquáticos a região necessita de estratégias sustentáveis para uso dos recursos aquáticos existentes, como por exemplo, a redução do consumo de produtos químicos na dosagem de águas encaminhadas para processos de tratamento visando reuso. Neste contexto, as cinzas geradas na combustão do carvão mineral (CCM), consideradas um grande passivo ambiental das termelétricas instaladas em regiões próximas de Pernambuco, apresentaram-se como substância adsorvente e com potencial de utilização na clarificação de efluentes hospitalares. As cinzas (CCM) são constituídas de sílica e alumina, sendo possível convertê-las em material zeolítico. Material zeolítico comercial já é utilizado com sucesso na etapa de clarificação de lavanderias hospitalares. Avaliou-se a eficiência desse material de microestrutura zeolítica na remoção de poluentes que conferem cor aos efluentes gerados pelos processos de higienização da lavanderia hospitalar localizada em um hospital privado da cidade de Caruaru, região Agreste de Pernambuco. A realização de testes experimentais de clarificação demonstrou eficiência acima de 98% para um teor de CCM de 20 g.L⁻¹. Também ficou demonstrado que quando convenientemente submetida a tratamento para redução do teor de enxofre na saída dos fornos de combustão, conforme solicitação de empresas cimenteiras (Fabricante de Cimento Portland), as CCM dispensam processos de síntese para ativar sua estrutura zeolítica. Além disto, a forte correlação entre o teor de CCM no efluente em tratamento e o pH na saída do tanque de mistura (efluente + CCM), permitiu a elaboração de um sistema de clarificação de efluentes de lavanderias hospitalares, associando a etapa de adsorção a baterias de hidrociclones – caracterizando o referido processo pela baixa complexidade, em virtude de equipamentos simples (tanque de mistura e hidrociclones) e alta eficiência de clarificação e recuperação da água para reuso.

Palavras-chave: Lavanderias hospitalares. Cinza de carvão mineral. Microestrutura zeolítica. Clarificação de águas. Hidrociclones. Adsorção.

ABSTRACT

The scarcity of water in the Agreste region of Pernambuco is a matter of concern for the communities and industries installed in this location. One of the activities developed in this area involves the central processing centers for hospital clothes, which are important service sectors, and the health segment, both of which are responsible for a significant share in the consumption of water, the main raw material. In this last segment, the effluents generated by the processing of clothes in hospital laundries represent a complex mixture, resulting from the products inserted during the washing and from the organic and inorganic load coming from the dirtiness of the processed clothes. Thus, in addition to the scarcity of aquatic springs, the region needs sustainable strategies for the use of existing aquatic resources, such as, for example, reducing the consumption of chemicals in the dosage of water sent to treatment processes aimed at reuse. In this context, the ashes generated in the combustion of mineral coal (CCM), considered a great environmental liability of the thermoelectric plants installed in regions close to Pernambuco, presented themselves as an adsorbent substance and with potential use in the clarification of hospital effluents. Ashes (CCM) are made up of silica and alumina, making it possible to convert them into zeolitic material. Commercial zeolitic material is already used successfully in the clarification stage of hospital laundries. The efficiency of this zeolitic microstructure material in the removal of pollutants that give color to the effluents generated by the hygiene processes of the hospital laundry located in a private hospital in the city of Caruaru, in the Agreste region of Pernambuco, was evaluated. Experimental clarification tests demonstrated efficiency above 98% for a CCM content of 20 g.L⁻¹. It was also demonstrated that when conveniently subjected to treatment to reduce the sulfur content at the exit of the combustion furnaces, as requested by cement companies (Portland Cement Manufacturer), the CCMs do not require synthesis processes to activate their zeolitic structure. In addition, the strong correlation between the CCM content in the treatment effluent and the pH at the outlet of the mixing tank (effluent + CCM), allowed the elaboration of a system for clarifying hospital laundry effluents, associating the adsorption step to hydrocyclone batteries - this process is characterized by its low complexity, due to simple equipment (mixing tank and hydrocyclones) and high efficiency of clarification and recovery of water for reuse.

Keywords: Hospital laundries. Coal fly ash. Zeolitic microstructure. Waters clarification. Hydrocyclones. Adsorption.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água potável no Nordeste semiárido brasileiro é uma realidade enfrentada pela população dessa região. Essa localidade é caracterizada pela baixa umidade e pelo pouco volume pluviométrico. Outra questão que favorece esse cenário é a estrutura geológica, como um escudo cristalino, que não permite acumulações suficientes de água no subsolo. Estima-se um volume de apenas 80 km³ de água nesta região do escudo cristalino, fato que interfere na temporariedade dos rios. Ao se explorar a água na estrutura cristalina, apresenta-se na maioria das vezes com salinidade elevada, alcançando teores de cloreto acima de 1000 mg.L⁻¹. Característica que torna a água imprópria ao consumo humano. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda 250 mg.L⁻¹ de cloreto nas águas para o abastecimento das populações (FUNDAJ, 2019). O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6 da Agenda 2030 da ONU também visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água para todos até 2030 (ONU Brasil, 2020).

Uma atividade que merece destaque nesse contexto é a hospitalar, tendo como um dos seus principais insumos a água. Os hospitais são relevantes fontes de poluentes resultantes de atividades como diagnóstico, funcionamento de laboratório de pesquisa, além da excreção de medicamentos pelos pacientes, que podem incluir componente ativo de drogas e metabolitos, produtos químicos, resíduo de produtos farmacêuticos, marcadores radioativos e meios de contraste isolados. O descarte de águas residuais, sem tratamento adequado, apresenta riscos de infecção ao público e ao meio ambiente. Diante do contexto da pandemia de Coronavírus 2019 (Covid-19) é de grande importância a redução desses riscos (WANG et al., 2020).

Nesse cenário, a importância de executar ações seguras com a finalidade de garantir qualidade da assistência ao cliente de saúde torna-se imprescindível, como a qualidade e economia com a água utilizada. Investir em ações e tecnologias para tratar e reutilizar águas e efluentes nas unidades de saúde, não apenas é uma questão de saúde, mas também uma questão socioeconômica e ambiental. Deste modo, um dos grandes geradores para o consumo de água são as unidades de processamento de roupas – lavanderias hospitalares (SRIKAR; SHARMA; GHOSH, 2015).

O tratamento de água e efluentes ainda é um desafio a ser encarado em muitas unidades hospitalares. Conforme a RDC (Nº 6, de 30 de janeiro de 2012) apenas o serviço de saúde com unidade de processamento de roupas e a unidade terceirizada devem garantir a qualidade da água utilizada no processamento das roupas. Os efluentes gerados pelo processamento de roupas em lavanderias hospitalares representam uma mistura complexa,

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

resultante dos produtos inseridos durante a lavagem e da carga orgânica e inorgânica proveniente da sujidade das roupas processadas (ANVISA, 2012).

Outra atividade de grande impacto ambiental pode ser vista na cadeia produtiva de energia elétrica a partir do carvão mineral, como a extração, transporte e combustão. Faz-se necessário soluções para mitigar a geração de resíduos provenientes deste tipo de atividade. As cinzas geradas no processo de combustão do carvão mineral é um passivo ambiental que necessita de alternativas sustentáveis. Com o objetivo de encontrar alternativas para mitigar o impacto ambiental gerado pelo processo de combustão, alguns métodos de reaproveitamento e reuso das cinzas geradas nesse processo estão sendo estudados em variados setores da indústria e em pesquisas. Uma questão que merece destaque é o uso de material sólido com microestrutura zeolítica com boa capacidade de troca iônica, grande área superficial e características porosas (ASL et al., 2019; KOSHY; SINGH, 2016; YAO et al., 2015), que possam conferir uma capacidade de adsorção de poluentes presentes em efluentes de lavanderia hospitalar. Com as características deste material foram identificadas as cinzas de carvão mineral, fato que é de grande interesse por se tratar de material identificado como passivo ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Definir um conjunto de condições operacionais/equipamentos para utilização de cinzas de carvão mineral (CCM) na clarificação de efluentes de lavanderia hospitalar, dando uma maior sustentabilidade ao processo, ao substituir o consumo de clarificantes comerciais por um passivo ambiental em forma de resíduo sólido.

2.2 Objetivos Específicos

- Montar um arranjo experimental de laboratório para testes de cinzas de carvão mineral como clarificante de águas residuais;
- Identificar propriedades que possam ser utilizadas para o controle da dosagem de CCM como clarificante eficiente de efluente de lavanderia hospitalar;
- Propor estratégias de controle e automação para aplicação da CCM como clarificante;
- Propor uma estratégia de separação da mistura CCM-efluente líquido após a etapa de clarificação do efluente hospitalar.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Atividades Hospitalares

As atividades hospitalares incluem entre outras, serviços médicos, vacinações, exames médicos para diagnósticos, exames de laboratório. Porém, apesar do caráter humanitário, essas ações requerem a mobilização de recursos naturais, ou seja, são ações com o objetivo de preservar a saúde e a vida dos seres humanos. Quando tratamos da saúde humana, deixamos de lado o conceito hospital e passamos a tratar como a indústria da saúde um setor terciário, por ter dentro de uma unidade hospitalar a indústria da construção civil, a indústria alimentícia, a indústria do vestuário, entre outros. Os hospitais consomem grande volume de água, que varia de acordo com as atividades desempenhadas e serviços oferecidos pelo estabelecimento. Conseqüentemente, o volume de efluente gerado também é bem variável, sendo diariamente de 200 a 1200 L por leito (VERLICCHI et al., 2010).

Os conhecimentos e as ferramentas em química hospitalar permitem que se realize uma análise diferenciada do contexto socioeconômico do setor, a sistematização e a percepção dos fatores e atores que induzem ou retardam o crescimento tecnológico do setor. Acredita-se que a atuação da Química permite propor uma abordagem desenvolvimentista para o setor diferente daquelas de cunho estritamente economicista, tecnológica ou sanitária (MACHADO; PINHATI, 2014).

A saúde configura um complexo de atividades produtivas de bens e serviços que avança segmentos importantes da sociedade contemporânea. Além de sua dimensão social vinculada à própria cidadania, a saúde possui uma dimensão econômica própria, articulando entidades públicas e privadas em uma ampla rede de assistência à saúde – pelo Sistema Único de Saúde (SUS) e Sistema Nacional de Saúde Suplementar (NORONHA; PEREIRA, 2013). Segundo, ainda, os referidos autores, os avanços tecnológicos e tecnologias disponíveis nem sempre são criações de uma nova tecnologia e, sim, a junção das tecnologias existentes formando algo que ainda não existe e solucionando problemas.

3.2 Lavanderia Hospitalar

Rani et al., (2017) desenvolveram estudos que tratam sobre uma abordagem abrangente quanto ao planejamento e as operações econômicas do sistema de lavanderia hospitalar. Esse trabalho ressalta a importância dos serviços de hotelaria hospitalar, que são considerados um dos serviços de apoio mais importantes em um hospital.

Um ponto importante em relação à atividade de lavanderia hospitalar é o cumprimento da Norma Regulamentadora nº 32 do Ministério do Trabalho. Essa norma tem por finalidade estabelecer as diretrizes básicas para a implementação de medidas de proteção à segurança e à saúde dos trabalhadores dos serviços de saúde, bem como daqueles que exercem atividades de promoção e assistência à saúde em geral (BRASIL, 2020a).

Uma lavanderia hospitalar, unidade de processamento de roupas, tem como objetivo principal fornecer ao serviço de saúde uma roupa limpa e pronta para o uso. Para tanto é necessário o uso de diversos produtos saneantes, com diferentes funções, combinados e em concentrações equilibradas que atuarão eliminando a sujidade fixada na roupa. Esses produtos saneantes utilizados no processamento de roupas são detergentes, alvejantes, amaciantes de tecidos, desinfetantes dentre outros. Produtos destinados à eliminação ou redução de micro-organismos em roupas utilizadas em hospitais e estabelecimentos relacionados à saúde, podendo ser utilizado para pré-tratamento ou para o emprego durante o ciclo de lavagem (ANVISA, 2009).

3.3 Tratamento de Efluentes Hospitalares

Dada a importância das lavanderias hospitalares, diversos estudos têm sido realizados em busca de alternativas de tratamento para esses efluentes colocando como desafiador a permanência desse tipo de atividade no âmbito hospitalar, inclusive para fins de reuso no próprio processo de lavagem. No Brasil, é permitido que efluentes hospitalares sejam lançados diretamente na rede coletora de esgotos. Contudo, apenas nos casos em que a unidade hospitalar está localizada em uma região onde não há rede coletora de esgoto, os efluentes devem receber tratamento antes de serem lançados nos cursos d'água, de acordo com a Resolução Nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011), que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, como as condições e parâmetros de gestão do lançamento de efluentes em corpos d'água.

Entretanto, apesar de englobar diversos parâmetros físico-químicos, esse material não apresenta valores de referência para a demanda química de oxigênio (DQO), parâmetro comumente utilizado para estimar a carga poluidora em efluentes e águas naturais. Todavia, Neckel, Goellner e Bertoldi (2016), em seus estudos sobre tratamento de águas utilizadas em lavanderias comerciais, recomendaram que o parâmetro DQO não exceda 100 mg.L⁻¹.

A qualidade da água utilizada no processo de lavagem da roupa interfere no produto final, sendo assim, a sua análise é fundamental para o planejamento desse serviço. A qualidade da água fornecida pelos serviços públicos ou de fontes alternativas deverá atender

também aos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos pré-estabelecidos pela Portaria/MS n. 518, de 25 de março de 2004. Dependendo das condições da água podem ser necessários processos de pré-tratamento, tais como filtração, coagulação e floculação, desinfecção, entre outros que possam adequar a água às condições mínimas necessárias. Um desses parâmetros é a coloração da água, que pode ocorrer devido à presença de vários tipos de substâncias. De acordo com a Portaria/MS n. 518/2004, o valor máximo permitido é de 15 Unidades de Cor (UC) na rede pública de distribuição de água tratada (ANVISA, 2009).

O regime de outorga para o uso dos recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e efetivo exercício dos direitos de acesso à água segundo a Lei nº 9.433 de 1997. O lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final está sujeito a outorga pelo Poder Público (BRASIL, 2020b).

O CONAMA determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos (CONAMA, 2011). Uma das barreiras é que para reuso de água no Brasil, ainda não existe uma regulamentação que aborde o reuso de água em lavanderias. No entanto, o “Guia de Conservação e Reuso da Água em Edificações” estabelece parâmetros físico-químicos e microbiológicos para água de reuso classe 1, que engloba as águas tratadas destinadas ao uso em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos, roupas e veículos, bem como aquelas destinadas a fins ornamentais (FIESP, 2005).

Os efluentes hospitalares transportam uma carga considerável de produtos químicos que podem ter efeito mutagênico ou citotóxico para o ambiente aquático. O trabalho elaborado por Civik et al. (2020) teve como objetivo determinar os possíveis efeitos mutagênicos e tóxicos dos efluentes hospitalares e a eficácia das funções das estações de tratamento de águas residuais de três hospitais em Istanbul, onde efeitos mutagênicos foram detectados na saída das estações mesmo após as águas residuais terem passado pelo sistema de tratamento biológico das estações. De acordo com os resultados, foi observado que mesmo dispondo de uma tecnologia avançada (tratamento primário, secundário e terciário) para o tratamento de efluentes, os efeitos mutagênicos e citotóxicos ainda permaneceram, sendo, portanto, necessário o aprimoramento das tecnologias já existentes.

No estudo de Wang *et al.* (2020), os autores listaram tecnologias de diferentes tipos para o tratamento de águas residuais provenientes de hospitais. Como desinfecção por cloro líquido, hipoclorito de sódio, dióxido de cloro, ozônio e irradiação ultravioleta que são normalmente usadas para a desinfecção de águas residuais hospitalares. Dessa forma, o

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

estudo fornece sugestões científicas para o gerenciamento, seleção de tecnologia e operação de resíduos hospitalares e desinfecção de águas residuais na China, o que é de grande importância para o desenvolvimento da estratégia nacional de desinfecção de resíduos hospitalares e águas residuais no contexto da pandemia de Covid-19.

Segundo Rozman *et al.* (2020), as águas residuais de hospitais se destacam pela sua alta complexidade, atuando como um ponto de acesso para bactérias resistentes a antibióticos. Como o caso de bactérias Gram-negativas com múltiplos genes resistentes a antibióticos que são cada vez mais encontradas em efluentes hospitalares. Esses servem como reservatório para quase todas as resistências a antibióticos clinicamente relevantes. Então é importante considerar e avaliar esses potenciais reservatórios ambientais quando os casos de surtos não podem ser vinculados a uma fonte epidemiológica.

3.4 Cinzas de Carvão Mineral

Além dos impactos da mineração, a queima de carvão mineral em indústrias e termelétricas causa graves impactos socioambientais, em face da emissão de material particulado e de gases poluentes, dentre os quais se destacam o dióxido de enxofre (SO₂) e os óxidos de nitrogênio (NO_x). A produção de energia elétrica por carvão mineral gera a emissão desses poluentes, e, conseqüentemente, acarreta efeitos adversos sobre a flora e fauna, edificações e sobre a saúde humana. Em geral, os menores fatores de emissão de poluentes são encontrados para o gás natural e os maiores para o carvão mineral.

Visando assegurar a utilização do carvão mineral na matriz energética mundial, levando em consideração, principalmente, as exigências ambientais, têm-se utilizado e desenvolvido tecnologias de remoção de impurezas, redução de emissões e combustão eficiente do carvão, as chamadas Tecnologias Limpas (Clean Coal Technologies - CCT). Além disso, têm-se aprimorado as tecnologias já existentes, conforme suas atribuições e vantagens. Entre as tecnologias de redução de emissões a dessulfurização dos gases (Flue Gas Desulphurization – FGD) emprega um reagente (sorbente), geralmente cal ou calcário, para remover SO₂ a partir do conduto de gás. O sistema FGD está atualmente instalado em 27 países (entre estes o Brasil – Pecém/CE) e tem contribuído com enormes reduções nas emissões desses gases podendo alcançar eficiência de remoção acima de 99%. Este tipo de tratamento é geralmente requerido por fabricantes de Cimento Portland que limita o teor de SO₂ (LUIZ da SILVA *et al.*, 2020). Entre as características finais deste tipo de tratamento encontra-se a elevação do pH das cinzas e a formação de estruturas zeolíticas.

3.4.1 Origem e aplicações

As cinzas de carvão mineral (CCM) compreendem um resíduo sólido da combustão desse combustível. A utilização da CCM como material alternativo tem sido uma das estratégias de destaque para o gerenciamento de resíduos industriais. Pois é esperado que os combustíveis fósseis, como o carvão mineral, continuem ainda sendo uma importante fonte de suprimento global de eletricidade nos próximos anos (DINDI et al., 2019). As CCM, são consideradas um passivo ambiental e, por isso, devem ser tomadas medidas quanto ao seu descarte atendendo à legislação ambiental, de forma a reduzir os impactos negativos ao meio ambiente.

As CCM vêm sendo usadas como matéria prima para a síntese de minerais aluminossilicatos, conhecidos como zeólitas. Por ter uma boa capacidade de troca iônica, grande área superficial e características porosas distintas, as zeólitas vêm sendo aplicadas na remoção de metais pesados, como (As, Cd, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sr e Zn) e espécies iônicas como (amônia, cloreto, fluoreto, nitrato, fosfato e sulfato) provenientes de lodos industriais e águas residuais de fontes domésticas e industriais (KOSHY e SINGH, 2016). Os autores ainda destacam que a utilização das CCM para síntese de zeólitos e determinação do potencial de captação de metais pesados são importantes no atual consumo de cinzas que normalmente seriam destinadas à aterros controlados, como também são de relevância para o desenvolvimento de soluções para o tratamento de água em regiões que enfrentam cenários de escassez de água.

No estudo desenvolvido por Pant *et al.* (2019), uma técnica de eletrofiliação foi empregada para incorporar partículas de CCM em nanofibras de óxido de zinco (ZnO NFs), e o produto (composto de CCM/ZnO) foi usado para a remoção do azul de metileno da água. Observou-se que as nanofibras de ZnO podem servir como bons fotocatalisadores semicondutores e fornecer área de superfície suficiente para a cinza, enquanto as partículas desse material servem como um bom adsorvente.

3.4.2 Microestrutura das CCM

Segundo Koshy e Singh (2016), as CCM, como, por exemplo, as cinzas provenientes da combustão do carvão mineral, têm o potencial de remoção de substâncias como os metais pesados, corantes e substâncias aniônicas. Os zeólitos sintetizados das cinzas aumentam suas características de imobilização devido à sua estrutura.

A CCM é um subproduto industrial gerado durante o processo de combustão do carvão em usinas termelétricas. Asl et al. (2019) destacam que devido à sua composição química e mineralógica, a CCM é considerada uma fonte abundante e barata de aluminossilicato para produzir materiais avançados valiosos, como zeólitos, catalisadores, fotocatalisadores e geopolímeros, com alta capacidade de adsorção de poluentes.

Segundo Mushtaq *et al.* (2019), pesquisadores afirmam que uma alternativa para o gerenciamento desse tipo de resíduo seria seu uso sustentável. A remediação de águas residuais usando CCM é uma dessas tentativas para resolver problemas de gerenciamento de resíduos e qualidade da água. Suas características como morfologia, área superficial, porosidade e composição química (sílica, alumina, óxido de ferro, titânia, etc.) fazem desse um material acessível para possível aplicação no tratamento de águas residuais.

3.4.3 Uso das cinzas como clarificante

O estudo realizado por Can e Yildiz (2006) utilizou um planejamento fatorial experimental 2^3 para avaliar a interação de três variáveis (concentração de fosfato, pH inicial e a dosagem de cinza de carvão mineral) na eficiência de remoção de fosfato (% E) e no pH de equilíbrio da solução (pH_{eq}) utilizando a CCM. Para tanto, os parâmetros das variáveis utilizadas no experimento foram definidos como x_1 , x_2 e x_3 . Os parâmetros foram avaliados em dois níveis (-1 e 1). Os efeitos dos fatores sobre as variáveis dependentes, que foram definidas por % E e pH_{eq} , foram investigados. Para determinar os efeitos significativos, foi usado o limite de confiança de 95% para as análises de variância. Os resultados dessa pesquisa mostraram que a dosagem de CCM teve efeito significativo sobre a eficiência de remoção de fosfato (% E) e pH_{eq} . A eficiência máxima de remoção de fosfato (% E) e o pH_{eq} obtido neste estudo foi de 99,6% e 11,16, correspondendo à condição operacional de 25 mg.L⁻¹, 2 g.L⁻¹ e 5,5 para a concentração de fosfato, dosagem de CCM e pH_0 , respectivamente.

Liu, Yang e Zhao (2019), em seus estudos, utilizaram a CCM para a obtenção de zeólitas, um adsorvente que foi preparado a partir do método hidrotermal assistido por micro-ondas, com o objetivo de remover o azul de metileno de águas residuais. A melhor condição para a reação foi obtida na proporção de álcalis e cinza de 15 para 1, temperatura de reação de 100°C e tempo de reação de 30 minutos. A taxa de remoção do azul de metileno foi de 97,6%.

No trabalho desenvolvido por Novais et al. (2019), esferas de geopolímero à base de cinzas de carvão mineral foram utilizadas para extrair o corante azul de metileno de águas residuais sintéticas. A influência do tempo de sorção, concentração inicial do corante,

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

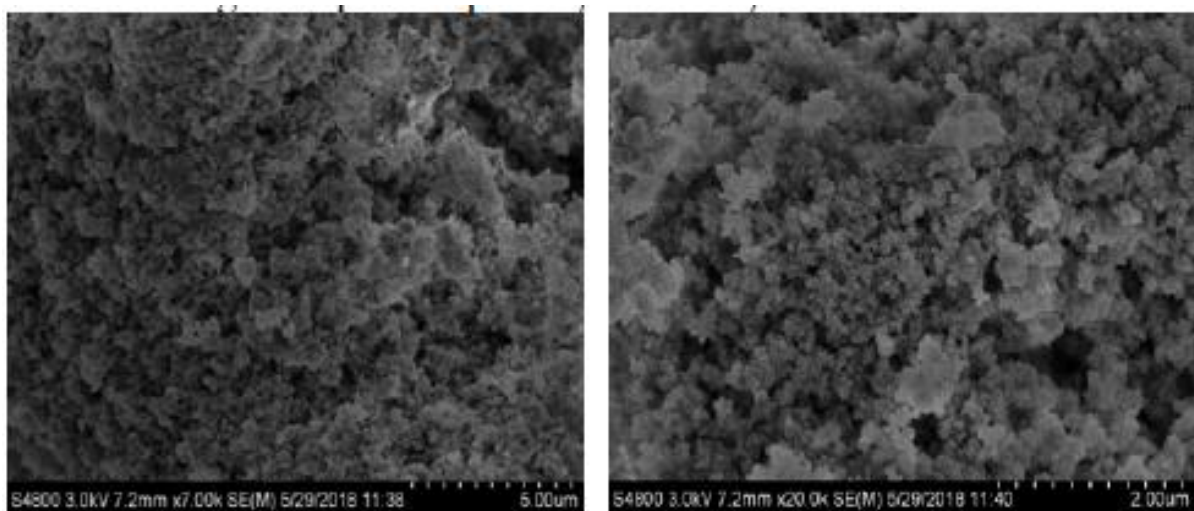
quantidade de adsorvente e adsorção pelas esferas porosas foram avaliados. A quantidade de vezes que o adsorvente pôde ser reutilizado e a eficiência de fixação dos corantes também foram consideradas. A captação e remoção pelos corpos porosos aumentou de 1,1 para 30 mg.g⁻¹ quando a concentração inicial do corante variou de 10 para 250 mg.L⁻¹. Esse efeito ocorreu muito mais rápido no tempo de 24 h. O azul de metileno cumulativo na adsorção apresentada por essas esferas foi de 79,7 mg.g⁻¹. O adsorvente foi reutilizado oito vezes no processo e ainda foi mantida uma eficiência de remoção de 83%.

3.4.4 Mecanismos Zeolíticos

Segundo Cheng *et al.* (2019) as zeólitas classificadas como aluminossilicatos cristalinos microporosos possuem uma gama de aplicações. São utilizados como trocadores de íons em indústria de detergentes, catalisadores em petroquímicas e indústria química e adsorventes na separação do O₂/N₂. Podem ser obtidos através de processos de aquecimento das misturas dos materiais de origem, como método de tratamento hidrotérmico para a obtenção de zeólitas (ÖZKAN; AYDIN; ÖZKAN, 2018).

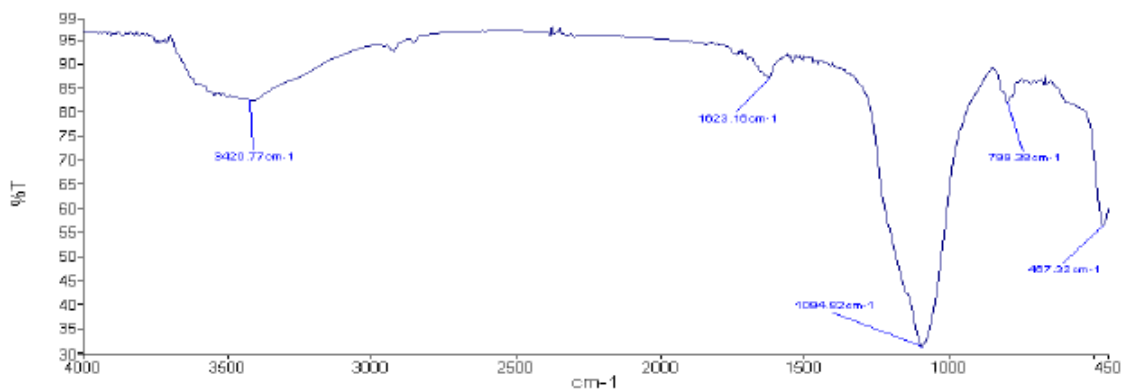
No estudo de Liu, Yang, e Zhao (2019), foram utilizadas as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Figura 1, e a Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR), Figura 2, para a caracterização do adsorvente. Assim foi possível identificar que o grande número de oxigênio em alumínio, tetraedros e estrutura porosa da rede do composto contribuem com o alto desempenho de adsorção do adsorvente.

Figura 1 – MEV do adsorvente.



Fonte: Liu, Yang e Zhao (2019).

Figura 2 – FT-IR do adsorvente.



Fonte: Liu, Yang e Zhao (2019).

3.5 Separação Sólido-Líquido

Lei et al. (2020) desenvolveram um sistema de filtração por membrana dinâmica eletroquímica para a separação simultânea de sólido-líquido e desinfecção de esgoto. Os resultados desse estudo destacam o potencial do sistema de filtração para ser usado no tratamento e desinfecção de águas residuais.

A sedimentação é uma alternativa de tecnologia de separação à filtração para separação líquido-sólido. O campo centrífugo permite a deposição de sólidos na parede do sedimentador e uma remoção contínua do líquido clarificado. Uma configuração em várias camadas, dentro dos limites de viabilidade, aumenta a eficácia da separação (DI PRETORO e MANENTI, 2020).

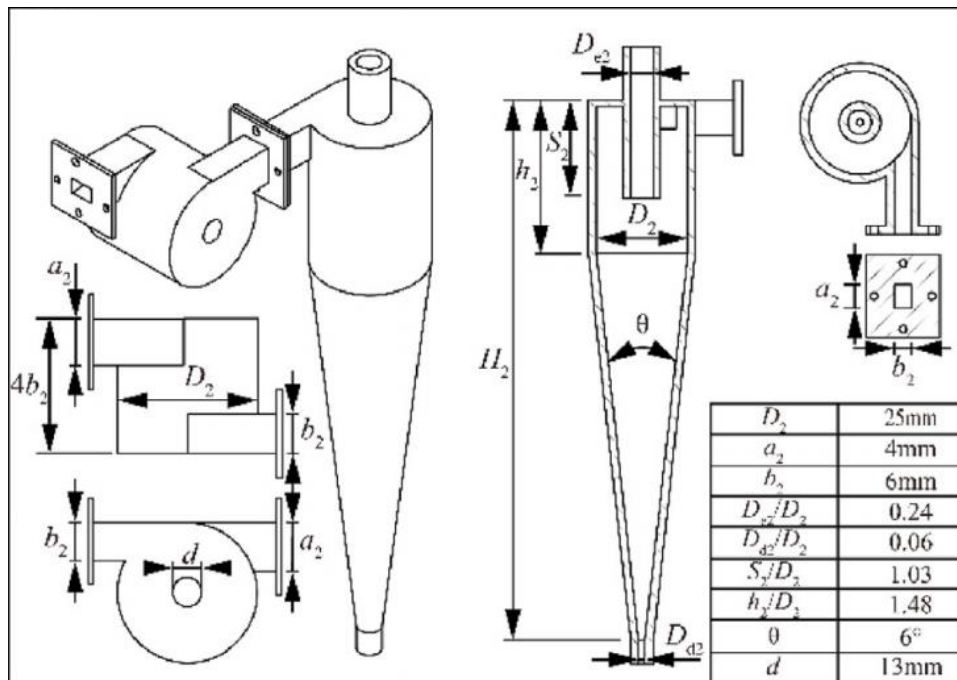
Na literatura, é possível encontrar muitos trabalhos sobre a otimização da geometria de hidrociclones para obtenção de separadores de alto desempenho (GARCIA, LOBATO e VIEIRA, 2020). O estudo de resíduos industriais vem se tornando bastante presente no meio científico, devido ao fato desses materiais comumente serem descartados de forma inadequada, causando danos ao meio ambiente. No estudo de Nascimento Menezes, Dutra e Campos (2020), foi analisado a potencialidade da reutilização dos resíduos de caulim e do granito após passarem por uma etapa de beneficiamento, a hidrociclonação, com a finalidade de promover a separação entre grãos mais grossos e grãos mais finos presentes nos resíduos, na incorporação da massa padrão de fabricação de cerâmicas, visando reduzir custos e manter ou até mesmo melhorar as propriedades da peça cerâmica.

3.5.1 Hidrociclones

Um ponto importante no processo de alguns tipos de sistemas é o uso de Hidrociclones. Esses são equipamentos de processamento muito utilizado na indústria mineral para separação por tamanho das partículas sólidas existentes em polpas de minério. Esses equipamentos ainda recebem pouca atenção quanto ao seu controle visando uma operação otimizada. Normalmente, o monitoramento e controle automático de hidrociclones é feito com base em variáveis operacionais, como a vazão Q , a densidade ρ e a pressão P do fluxo de polpa de entrada. Entretanto, a principal variável de interesse em um hidrociclone é o seu “tamanho de corte”, d_{50} , que é o tamanho em que 50% das partículas sólidas, em média, que seguem para a saída grossa (underflow) do hidrociclone, enquanto os 50% restantes de partículas, em média, seguem para a saída fina (overflow). Através da separação feita pelo hidrociclone, a água limpa é obtida no topo do hidrociclone e o adsorvente usado é descarregado no fundo para regeneração (VIANA, 2018; LV, 2020).

Como consequência, hidrociclones são geralmente operados em malha aberta, em relação à variável de saída d_{50} , mesmo que existam controles em malha fechada para as demais variáveis operacionais que afetam o d_{50} , como a vazão Q e a densidade ρ da polpa de entrada. Mesmo assim, muitas instalações de hidrociclones apresentam desempenho fraco devido à falta de conhecimento sobre o impacto quantitativo das variáveis operacionais sobre a variável principal de saída, o tamanho de corte d_{50} . Sendo assim, o estudo desenvolvido por Viana (2018) teve como objetivo quantificar o impacto relativo da vazão de entrada Q e da densidade de entrada ρ sobre o tamanho de corte d_{50} , usando Simulação de Monte Carlo sobre um modelo matemático de hidrociclone. Os resultados obtidos através desse estudo são informações úteis para otimizar o controle do desempenho de hidrociclones. Uma ilustração de um separador hidrociclone é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Separador hidrociclone.



Fonte: LV et al. (2020).

O tamanho de corte de um hidrociclone depende de duas classes de parâmetros que são resumidos na Tabela 1. Um dos parâmetros são os construtivos ou de projeto, que são parâmetros relacionados aos aspectos físicos do hidrociclone, principalmente sua geometria. Isso inclui diâmetro de entrada, diâmetro do corpo, diâmetro do ápice, diâmetro da saída de transbordamento e altura livre do vórtice. Esses parâmetros fixos, porém, têm uma exceção, que é o ápice pneumático com diâmetro variável. Outros parâmetros são os operacionais, parâmetros relacionados a variável de processo que definem a condição operacional do hidrociclone. Normalmente, esses são parâmetros variáveis relacionados às propriedades da corrente de lama processada pelo hidrociclone, tais como distribuição do tamanho de partícula e densidade (ou concentração de sólidos) da lama de alimentação, vazão, pressão de alimentação e densidade de sólidos (VIANA, 2018).

Tabela 1 – Parâmetros construtivos e operacionais de um hidrociclone

Parâmetro	Notação
Parâmetros Construtivos	
Diâmetro do corpo cilíndrico	D_C
Diâmetro de entrada	D_F
Diâmetro de Overflow	D_O
Diâmetro de Underflow	D_U
Altura livre do vórtice	H
Parâmetros operacionais	
Densidade do líquido	ρ_L
Densidade de sólidos	ρ_S
Densidade de lama de alimentação	ρ_F
Concentração de sólidos de alimentação por volume	Cv_F
Concentração de sólidos de alimentação por massa	Cm_F
Taxa de fluxo de alimentação	Q_F
Pressão de alimentação	P
Fração de desvio	α
Variável de resultado	
Tamanho de corte corrigido	d_{50c}
Tamanho de corte	d_{50}

Fonte: VIANA (2018).

Ultimamente, alguns modelos empíricos de hidrociclones foram desenvolvidos utilizando dados experimentais e conhecimentos teóricos em mecânica de fluidos. A alta complexidade envolvendo a modelagem dos fluxos rotacionais em um hidrociclone e as interações entre as partículas sólidas e o líquido, impõem limitações para o desenvolvimento de um modelo matemático exato do hidrociclone. Entre os modelos atualmente disponíveis de hidrociclone, os modelos de Lynch e Rao (1968), Plitt (1976), e Mullar e Jull (1976) apud Viana (2018), foram os mais utilizados no projeto e análise de hidrociclones.

Nos anos 70 do século passado, Plitt (1976) apud Viana (2018) desenvolveu um modelo matemático de hidrociclone usando um conjunto de dados experimentais de 300 experiências com hidrociclones, alguns dos quais realizada pelo autor, e algumas foram realizadas por outros pesquisadores e publicados anteriormente na literatura. O modelo de Plitt assume que a curva de partição corrigida de um hidrociclone tem a forma de uma equação de Rosin-Rammler (1933 e 1980) apud Viana (2018), conforme apresenta a Equação 1.

$$Y_c(d) = 1 - e^{-0.6931\left(\frac{d}{d_{50c}}\right)^m} \quad (1)$$

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

Sendo d (μm) é a fração de tamanho de interesse, d_{50c} (μm) é o tamanho de corte corrigido, e m é a inclinação ou nitidez da curva de partição dada pela Equação 2:

$$m = 1,93e^{-1,58R_v\left(\frac{D_c^2 H}{Q}\right)^{0,15}} \quad (2)$$

O tamanho de corte corrigido d_{50c} (μm) é definido como Equação 3:

$$d_{50c} = 52,5 \frac{D_c^{0,46} D_I^{0,6} D_O^{1,21} e^{0,0063Cv_s}}{D_U^{0,71} H^{0,38} Q^{0,45} (\rho_S - \rho_L)^{0,5}} \quad (3)$$

A queda de pressão P (kPa) e a vazão de alimentação Q (L/min^{-1}) são definidos pelas Equações 4 e Equação 5:

$$P = 1,88 \frac{e^{0,0055Cv_s}}{D_c^{0,37} D_I^{0,94} H^{0,28} (D_U^2 + D_O^2)^{0,87}} Q^{1,78} \quad (4)$$

$$Q = 0,3251 \frac{D_c^{0,208} D_I^{0,528} H^{0,157} (D_U^2 + D_O^2)^{0,489}}{e^{0,0031Cv_s}} P^{0,562} \quad (5)$$

No estudo de Wenjie et al. (2020) o Cr (III) foi selecionado para estudar a termodinâmica e a cinética de adsorção. No estudo termodinâmico de adsorção, foi utilizado um adsorvente caseiro EMAH adicionado a um frasco selado contendo 10 mL de Cr(III) solução aquosa. A concentração inicial da solução de Cr(III) foi definida em um intervalo de 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 550 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Os frascos foram colocados em um banho de água a 25 °C por 24 h. No estudo da cinética de adsorção 10 mg de EMAH, adsorvente caseiro, foram adicionados a um frasco contendo 10 mL da solução aquosa de Cr (III) com a concentração de 3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Depois da adsorção, a solução da amostra foi centrifugada e filtrada através de um filtro de membrana de 0,22 mm. A concentração de Cr (III) foi detectada pelo ICP. A quantidade de adsorção (q_t) no tempo foi calculada pela Equação 6.

$$q_t = \frac{V}{m} (C_0 - C_t) \quad (6)$$

Sendo V é o volume de águas residuais (mL), m é a massa do adsorvente (mg), C_0 e C_t são as concentrações de Cr (III) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) inicial e no tempo t , respectivamente. Os modelos

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

de adsorção de Langmuir e a pseudo-segunda-ordem modelo cinético foram descritos pelas Equações 7 e Equação 8.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (7)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (8)$$

Sendo na Equação 7, C_e (mg.L⁻¹) é a concentração de equilíbrio de adsorção dos íons de metais pesados, q_e (mg.g⁻¹) e q_m (mg.g⁻¹) são a capacidade de adsorção de equilíbrio e a capacidade de adsorção máxima dos íons de metais pesados, respectivamente. K_L (L/mg) é a constante de equilíbrio de adsorção de Langmuir. Na Equação 8, t é o tempo de adsorção, q_t (mg.g⁻¹) e q_e (mg.g⁻¹) são a adsorção da quantidade de íons de metais pesados no tempo t , respectivamente. K_2 é a taxa constante para a cinética de pseudo-segunda-ordem.

Para a análise da eficiência de remoção de sólidos suspensos em microescala (E_{mSS}) e íons de metais pesados hipertóxicos (E_{HMIs}), após o tratamento de águas residuais, utilizou-se as Equações 9 e Equação 10.

$$E_{mSS} = \frac{C_{imSS} - C_{omSS}}{C_{imSS}} \times 100\% \quad (9)$$

$$E_{HMIs} = \frac{C_{iHMIs} - C_{oHMIs}}{C_{iHMIs}} \times 100\% \quad (10)$$

Sendo, C_{imSS} , C_{omSS} , C_{iHMIs} e C_{oHMIs} são a concentração de sólidos suspensos em microescala e a concentração de íons de metais pesados hipertóxicos nas águas residuais de entrada e saída de água limpa (mg.L⁻¹), respectivamente.

3.5.2 Tanques de mistura

Uma mistura líquido-sólido é definida como “praticamente perfeita” quando nenhuma partícula permanece sólida no fundo do tanque por mais de 1 a 2 s. Sob esta condição, as partículas sólidas ficam suspensas no líquido e essa distribuição homogênea irá favorecer a ocorrência de fenômenos de transferência de massa (TRIWIBOWO, SAMMADIKUN; MUSFIROH, 2018).

Uma partícula sólida é levantada do fundo de um tanque perfeitamente agitado quando as forças exercidas sobre essa partícula pelo movimento turbulento do fluido tornam-se iguais ao peso aparente daquela partícula, onde o diâmetro médio das mesmas encontra-se entre $100 \mu\text{m}$ e 2 mm . Segundo Kumaresan e Joshi (2006), para operação de mistura normal, a última escala de comprimento é da ordem de $40 \mu\text{m}$, determinada pelas dimensões do rotor. Assim, pode-se supor que o tamanho dos redemoinhos que pegam as partículas está na subfaixa inercial do espectro de turbulência.

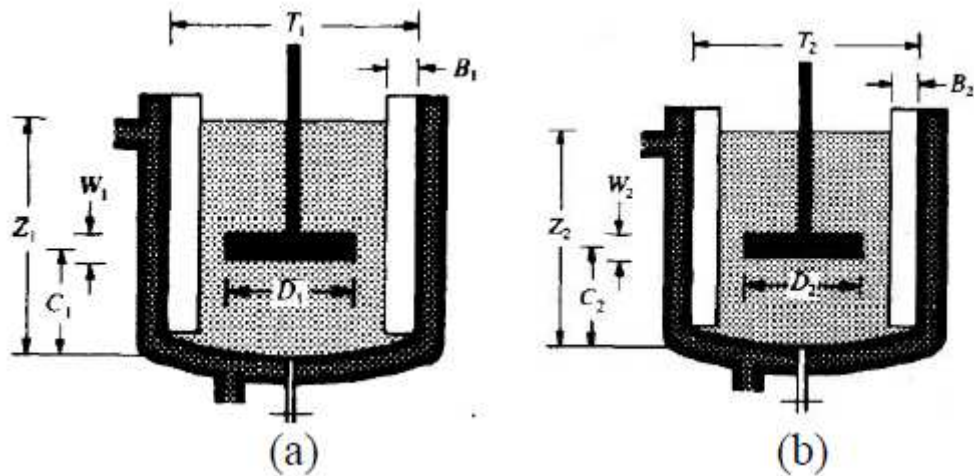
A velocidade de suspensão adequada (JSS) é a velocidade mínima do impulsor na qual nenhuma partícula sólida permanece estacionária no fundo do tanque por intervalo de tempo menor ou igual a 1-2 segundos, medidos com uma precisão de 2-3% (ZWIETERING, 1958). Apenas a velocidade da suspensão pode ser estimada pela correlação de Zwietering (1958). A correlação com base em experimentos e seu número adimensional apresentam-se conforme expresso na Equação 11.

$$N_{js} = sv^{0.1} \left(\frac{g\Delta\rho}{\rho_l} \right)^{0.45} d_p^{0.2} X^{0.13} D^{-0.85} \quad (11)$$

Em que N_{js} é apenas a velocidade da suspensão, s é a constante geométrica, v é a viscosidade cinemática, g é a aceleração da gravidade, $\Delta\rho$ é a diferença de densidade, ρ_l é a massa específica do líquido, d_p é o tamanho da partícula, X é a proporção de massa de sólido para líquido e D é diâmetro do impulsor.

No caso em que a velocidade do impulsor é superior a JSS, o aumento de escala deve ser feito com base nos critérios da relação entre potência e volume (P/V). Em outra pesquisa afirmou-se que quando P/V é mantido entre duas unidades geometricamente semelhantes, o coeficiente de transferência de massa sólido-líquido permanece semelhante. A similaridade geométrica entre tanques para regras P/V pode ser usada quando a diferença de massa específica entre sólido e líquido é pequena. Correlações para projeto de tanques de mistura em escalas de laboratório e comercial são mostradas pela Figura 4. As correlações apresentadas na Equação 12 é satisfeita para a similaridade de geometria entre as referidas escalas.

Figura 4 – (a) Escala Laboratorial (b) Escala Comercial

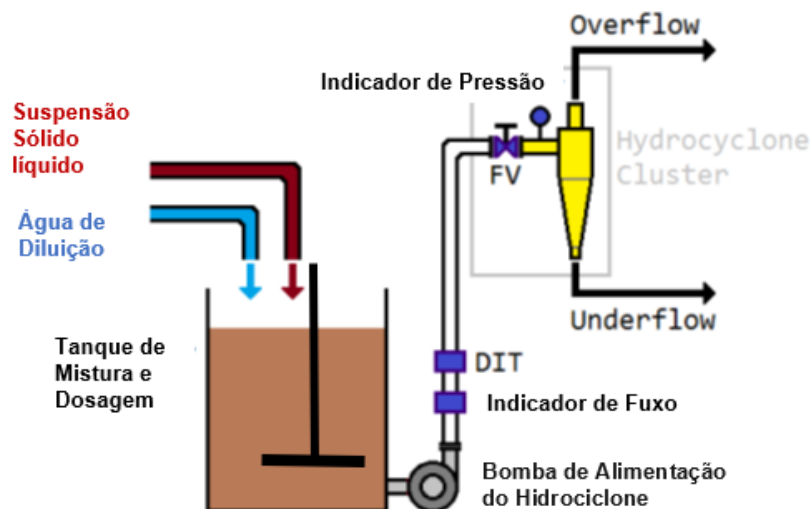


Fonte: Triwibowo, Sammadikun e Musfiroh (2018).

$$C_1/T_1 = C_2/T_2; D_1/T_1 = D_2/T_2; W_1/T_1 = W_2/T_2; Z_1/T_1 = Z_2/T_2 \quad (12)$$

A Figura 5 ilustra um arranjo experimental típico para uma separação sólido-líquido utilizando-se um hidrociclone. Observa-se nesta figura que uma suspensão concentrada de sólidos é misturada em um tanque antes de alimentar um hidrociclone. Esta operação inicial deve sempre que possível ocorrer para que haja uma concentração máxima recomendável em suspensão para uma operação correta de um hidrociclone (SVAROVSKY, 2000).

Figura 5 – Layout de um processo de separação sólido-líquido utilizando um Hidrociclone



Fonte: Adaptada de Viana (2018).

REFERÊNCIAS

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC N° 6**, de 30 de janeiro de 2012. Dispõe sobre as Boas Práticas de Funcionamento para as Unidades de Processamento de Roupas de Serviços de Saúde e dá outras providências. Disponível em: <<https://www20.anvisa.gov.br/segurancadopaciente/index.php/legislacao/item/rdc-6-de-30-de-janeiro-de-2012>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

_____. – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Processamento de roupas em serviços de saúde: prevenção e controle de riscos. Brasília, DF, 2009. p. 61. 102 p.

Asl, S. M. H., Javadian, H., Khavarpour, M., Belviso, C., Taghavi, M., Maghsudi, M. Porous adsorbents derived from coal fly ash as cost-effective and environmentally-friendly sources of aluminosilicate for sequestration of aqueous and gaseous pollutants: A review. **Journal of cleaner production**, v. 208, p. 1131-1147, 2019.

BRASIL. MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde. **Diário Oficial da União**. DF, Brasil, 2020a.

_____. Lei n° 9.433, 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 20 de junho de 2020b.

CAN, M. Y.; YILDIZ, E. Phosphate removal from water by fly ash: Factorial experimental design. **Journal of hazardous materials**, v. 135, n. 1-3, p. 165-170, 2006.

Cheng, P., Song, M., Zhang, H., Xuan, Y., Wu, C. Accelerated synthesis of zeolites via radicalized seeds. **Journal of materials science**, v. 54, n. 6, p. 4573-4578, 2019.

Cevik, M., Dartan, G., Ulker, M., Bezci, K., Deliorman, G., Cagatay, P., Lacin T., Cinel, I. H., Aksu, B., Keskin, Y., Can, Z. S., Yurdun, T., Susleyici, B. Evaluation of Cytotoxicity and Mutagenicity of Wastewater from Istanbul: Data from Hospitals and Advanced Wastewater Treatment Plant. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, p. 1-6, 2020.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 maio de 2011. Seção 2, p. 89. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 09 de março de 2015.

DO NASCIMENTO MENEZES, Raquel Rodrigues; DUTRA, Ricardo Peixoto Suassuna; CAMPOS, Lizabetha Fernanda Araújo. Formulações de resíduos industriais tratados por hidrociclonagem para obtenção de cerâmica de revestimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 54364-54383, 2020.

Dindi, A., Quang, D. V., Vega, L. F., Nashef, E., Abu-Zahra, M. R. Applications of fly ash for CO₂ capture, utilization, and storage. **Journal of CO₂ Utilization**, v. 29, p. 82-102, 2019.

Ding, K., Corma, A., Maciá-Agulló, J. A., Hu, J. G., Krämer, S., Stair, P. C., Stucky, G. D. Constructing hierarchical porous zeolites via kinetic regulation. **Journal of the American Chemical Society**, v. 137, n. 35, p. 11238-11241, 2015. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jacs.5b06791>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

DI PRETORO, Alessandro; MANENTI, Flavio. Centrifugal Sedimentation. In: **Non-conventional Unit Operations**. Springer, Cham, 2020. p. 89-93.

FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia de Conservação e Reuso de Água em Edificações**. SP, Jun. 2005. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005/>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

FUNDAJ – FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO. **Água potável no semi-árido: escassez anunciada**. 2019. Disponível em: <<https://www.fundaj.gov.br/index.php/artigos-joao-suassuna/9245-agua-potavel-no-semi-arido-escassez-anunciada>>. Acesso em 13 out. 2019.

GARCIA, Vitor Alves; LOBATO, Fran Sérgio; VIEIRA, Luiz Gustavo Martins. Design of high performance thickener hydrocyclones using robust optimization. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, p. 107144, 2020.

Ghariani, B., Hadrich, B., Louati, I., Mtibaà, R., Daâssi, D., Rodriguez-Couto, S., Nasri, M. Mechichi, T. Porous heat-treated fungal biomass: preparation, characterization and application for removal of textile dyes from aqueous solutions. **Journal of Porous Materials**, v. 26, n. 5, p. 1475-1488, 2019.

Izadi, M., Makvand, A. M., Assareh, E., Parvaz, F. Optimizing the Design and Performance of Solid-Liquid Separators. **International Journal of Thermofluids**, p. 100033, 2020.

KOSHY, N.; SINGH, D. N. Fly ash zeolites for water treatment applications. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 2, p. 1460-1472, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371630046X>>. Acesso em: 09 mai. 2019.

KUMARESAN, T.; JOSHI, J.B. Effect of impeller design on the flow pattern and mixing in stirred tanks, **Chemical Engineering Journal** (2006), Vol 115, 173-193

Lei, Q., Zheng, J., Ma, J., Wang, X., Wu, Z., Wang, Z. Simultaneous solid-liquid separation and wastewater disinfection using an electrochemical dynamic membrane filtration system. **Environmental Research**, v. 180, p. 108861, 2020.

LIU, D.; YANG, Y.; ZHAO, F. Preparation of adsorbent from fly ash for methylene blue wastewater treatment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 022040.

Lv, W., Zhao, K., Ma, S., Kong, L., Dang, Z., Chen, J., Zhang, Y., Hu, J. Process of removing heavy metal ions and solids suspended in micro-scale intensified by hydrocyclone. **Journal of Cleaner Production**, p. 121533, 2020.

MACHADO, G. R. G.; PINHATI, F. R. Tratamento de diálise em pacientes com insuficiência renal crônica. **Cadernos UniFOA**. Volta Redonda, RJ. ISSN: 1809-9475, v. 9, n. 26, p. 137-148, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unifoa.edu.br/index.php/cadernos/article/view/193/369>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

MISHRA, Abha; KUMAR, Sudhir; BHATNAGAR, Aditi. Potential of Fungal Laccase in Decolorization of Synthetic Dyes. In: **Microbial Wastewater Treatment**. Elsevier, 2019. p. 127-151.

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

Mushtaq, F., Zahid, M., Bhatti, I. A., Nasir, S., Hussain, T. Possible applications of coal fly ash in wastewater treatment. **Journal of environmental management**, v. 240, p. 27-46, 2019.

NECKEL, A.; GOELLNER, E.; BERTOLDI, T. A eficiência no tratamento de efluente em indústria de balas com a modificação do lodo em reator anaeróbio. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, ISSN: 22361170, v. 20, n. 1, p. 427-437, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/20022>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

NIDHEESH, P. V.; ZHOU, Minghua; OTURAN, Mehmet A. An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. **Chemosphere**, v. 197, p. 210-227, 2018.

NORONHA, J.C.; PEREIRA, T.R. **Princípios do sistema de saúde brasileiro**. In FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. A saúde no Brasil em 2030 - prospecção estratégica do sistema de saúde brasileiro: organização e gestão do sistema de saúde [online]. Rio de Janeiro: Fiocruz/Ipea/Ministério da Saúde/Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2013. v. 3. p. 19-32. ISBN: 978-85-8110-017-3. Disponível em: <<https://saudeamanha.fiocruz.br/wp-content/uploads/2016/07/12.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

Novais, R. M., Carvalheiras, J., Tobaldi, D. M., Seabra, M. P., Pullar, R. C., Labrincha, J. A. Synthesis of porous biomass fly ash-based geopolymer spheres for efficient removal of methylene blue from wastewaters. **Journal of cleaner production**, v. 207, p. 350-362, 2019.

ONU Brasil – Organização das Nações Unidas. **Água potável e saneamento**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/tema/ods6/>>. Acesso em: 07 set. 2020.

ÖZKAN, V.; AYDIN, Z.; ÖZKAN, A. Comparison of Hydrothermal Method and Ultrasonic Method in Zeolite Synthesis and Investigation of Catalytic Activities of Synthesized Zeolites. **Natural and Engineering Sciences**, v.3, pp.282-291, 2018.

Pant, B., Ojha, G. P., Kim, H. Y., Park, M., Park, S. J. Fly-ash-incorporated electrospun zinc oxide nanofibers: Potential material for environmental remediation. **Environmental pollution**, v. 245, p. 163-172, 2019.

PARK, Jaehyeong; HWANG, Yuhon; BAE, Sungjun. Nitrate reduction on surface of Pd/Sn catalysts supported by coal fly ash-derived zeolites. **Journal of hazardous materials**, v. 374, p. 309-318, 2019.

Rani, M. Y., Kumar, G. S., Chaturvedi, R. K., Rao, J. N. Planning, designing and maintaining Hospital laundry to reduce carbon foot prints and to make it energy efficient and cost competitive. **International Journal of Scientific Research**, ISSN: 2277-8179, v. 6, n 5, p. 98-100, 2017. Disponível em: <<https://wwwjournals.com/index.php/ijsr/article/download/12489/12408>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

Rozman, U., Duh, D., Cimerman, M., Turk, S. Š. Hospital wastewater effluent: hot spot for antibiotic resistant bacteria. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, 2020.

Saratale, R. G., Banu, J. R., Shin, H. S., Bharagava, R. N., Saratale, G. D. Textile Industry Wastewaters as Major Sources of Environmental Contamination: Bioremediation Approaches

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

for Its Degradation and Detoxification. In: **Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety**. Springer, Singapore, 2020. p. 135-167.

SVAROVSKY, L. **Solid-Liquid Separation**. 4th Edition. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP: Butterworth-Heinemann, 2000. 554 p.

Sebeia, N., Jabli, M., Ghith, A., Elghoul, Y., Alminderej, F. M. Production of cellulose from *Aegagropila Linnaei* macro-algae: Chemical modification, characterization and application for the bio-sorption of cationic and anionic dyes from water. **International journal of biological macromolecules**, v. 135, p. 152-162, 2019.

SRIKAR, K.; SHARMA, S.; GHOSH, S.S. Quality Assurance Hospital Linen and Laundry Services. **International Journal of Science and Research (IJSR)**. v. 6, n. 3, p. 593-596, 2017, ISSN: 2319-7064. <Disponível em: <https://www.ijsr.net/archive/v6i3/ART20171405.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

TOROTWA, Ian; JI, Changying. A study of the mixing performance of different impeller designs in stirred vessels using computational fluid dynamics. **Designs**, v. 2, n. 1, p. 10, 2018.

TRIWIBOWO, Bayu; SAMMADIKUN, Waliyuddin; MUSFIROH, Rofiatun. Scale-Up of Solid-Liquid Mixing Based on Constant Power/Volume and Equal Blend Time Using VisiMix Simulation. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 04002.

Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., Barceló, D. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **Journal of hydrology**, v. 389, n. 3-4, p. 416-428, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410003409>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

VIANA, Sidney A. A. Sensitivity analysis of hidrocyclone performance in mineral processing using Monte Carlo simulation. **Journal of Applied Instrumentation and Control**. ISSN: 2594-3553. p. 9-16, 2018.

Wang, J., Shen, J., Ye, D., Yan, X., Zhang, Y., Yang, W., Li, X., Wang, J., Zhang, L., Pan, L. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. **Environmental Pollution**, p. 114665, 2020.

Yao, Z. T., Ji, X. S., Sarker, P. K., Tang, J. H., Ge, L. Q., Xia, M. S., Xi, Y. Q. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. **Earth-Science Reviews**, v. 141, p. 105-121, 2015.

Zwietering, Th.N. Suspending of solid particles in liquid by agitators. **Chemical Engineering Science** Volume 8, Issues 3-4, June 1958, Pages 244-253

CAPÍTULO II

CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA HOSPITALAR

Resumo

Aproximadamente 20% das cinzas de carvão mineral (CCM) geradas mundialmente, durante a combustão desse combustível fóssil, tem sido utilizado para a produção de cimento Portland (HOSSAIN et al., 2017). Outras aplicações incluem melhoramento de solos, indústria cerâmica, catálise e, uma aplicação com especial interesse para este trabalho que é a síntese de zeólitas. Foi elaborado um sistema de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM como adsorvente de substâncias responsáveis pela cor do efluente gerado pela lavanderia. Um tanque de mistura perfeita promove o contato íntimo entre CCM e o efluente. Na saída do tanque de mistura um sensor de pH correlacionou o valor desta variável com a concentração de CCM na mistura no interior do tanque. A informação sobre o pH da mistura foi então enviada a um PLC, o qual regulou a velocidade do motor de um transportador helicoidal, com auxílio de um inversor de frequência. Uma eficiência de remoção de cor da ordem de 99,8% foi alcançada. O sistema de clarificação proposto pode operar tanto em regime batelada quanto em regime contínuo. No primeiro caso pode-se ajustar as condições operacionais ideais. A estratégia para ajuste das condições operacionais é obter uma capacidade nominal adequada para o sistema reduzindo-se ou aumentando-se o número de ciclones por bateria ou o número de baterias de ciclones.

Palavras-chave: CCM, Lavanderia hospitalar, Clarificação, Microestrutura zeolítica, Tratamento de efluente. Hidrociclones.

1 Introdução

O reuso de água de efluentes é uma forma pela qual a água tratada é retornada ao processo da qual tivera origem. Os critérios estabelecidos para a prática do reuso são baseados principalmente em itens de proteção da saúde pública e do meio ambiente. O reuso deve envolver tratamentos mínimos necessários, os padrões de qualidades exigidos pelos órgãos ambientais e de vigilância sanitária para determinados usos e a eficiência exigida para o tratamento. Para o reuso de efluentes de lavanderias hospitalares devem ser levados em consideração o acompanhamento da atividade que utilizará a água de reuso e a finalidade do

reuso (ZANETTI; DE LUCA; SACCHETTI, 2010). Quando se manuseiam esses tipos de efluentes deve-se ter cuidados especiais e se realizar um cuidadoso monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. As técnicas empregadas no programa de tratamento de efluentes de lavanderias hospitalares devem garantir que tais parâmetros não ultrapassem as concentrações máximas recomendadas.

De acordo com informações fornecidas pela ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, por meio de comunicação pessoal, para reuso de efluentes de lavanderias hospitalares deve-se observar as recomendações do Manual de Processamento de Roupas de Serviços de Saúde (ANVISA, 2009). Além do reuso na própria lavanderia hospitalar, caso os parâmetros que caracterizam a água obtida não atendam às recomendações da ANVISA, poderá ser feito um reuso menos nobre, dentro da própria instituição, como uso em descargas de vaso sanitário, lavagens de pisos e outros fins. Verifica-se ainda que são poucos os trabalhos na literatura científica que estudaram a possibilidade do reuso de efluentes de lavanderias hospitalares, que geralmente, são lançados nas redes coletoras de esgotos; prática não recomendada, uma vez que esses efluentes podem apresentar microrganismos, além de compostos provenientes dos produtos utilizados na lavagem.

A fase de clarificação no processo de tratamento de efluentes é composta basicamente de 3 (três) etapas (WANG; SERVENTI, 2019): coagulação, floculação e decantação. Quando bem conduzida a clarificação possibilita a eliminação de partículas de origem orgânica e inorgânica em suspensão na água. Essas partículas conferem cor e turbidez e são formadas por colóides e pigmentos, algas e organismos vegetais, substâncias geradoras de odor de origem química e biológica, precipitados químicos e micro-organismos patogênicos. Inicia-se pela coagulação, operação onde são adicionados produtos químicos, denominados coagulantes, que ao reagirem reduzem as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão. Como o material em suspensão não se separa facilmente da água, procura-se desestabilizar o material coloidal através de adição de íons com carga contrária à destas partículas, geralmente aniônicas. Isso faz com que elas se agreguem, formando flóculos (floculação), e sejam separadas da fase aquosa por processos físicos de sedimentação e filtração.

Para a adequação de efluentes líquidos industriais aos padrões estabelecidos pela legislação vigente, muitos programas de tratamento terciário de efluentes têm sido desenvolvidos, para novos mecanismos de remoção mais específicas de contaminantes persistentes. Entre essas tecnologias as microestruturas zeolíticas de alguns materiais têm se destacado em função das propriedades de adsorção e troca iônica de que são caracterizados. Zeólitas são alumíniossilicatos hidratados cristalinos microporosos cuja

estrutura correspondem a polímeros de arranjo tridimensional (LIU; YANG; ZHAO, 2019). São compostas por estruturas tetraédricas do tipo TO_4 (Em que T = Si, Al, Fe, P, Co, ...) unidas nos vértices por átomos de oxigênio. Esta estrutura microporosa permite a transferência de massa entre o espaço cristalino e o meio externo. Entretanto essa transferência é limitada pelos diâmetros dos poros. É, portanto, devido a essa característica que as Zeólitas recebem a denominação de peneira molecular, ou seja, são capazes de reter moléculas por adsorção.

A síntese de zeólitas é convencionalmente realizada por tratamento hidrotérmico alcalino; motivo pelo qual algumas CCM's dispensam tal procedimento para exibirem propriedades zeolíticas por já receberem esse tipo de tratamento como forma de reduzir o teor de enxofre – por solicitação de indústrias cimenteiras. Dessa forma, uma CCM com pH acima de 11,5 apresenta propriedades zeolíticas, podendo ser utilizado para clarificação de efluentes (NOVAIS et al., 2019). A utilização de CCM como substância clarificante de efluente hospitalar permite que um grande passivo ambiental sólido seja utilizado em benefício do próprio meio ambiente.

2 Material e Métodos

2.1 Correlação de propriedades da mistura com a concentração de CCM

Com o objetivo de conhecer melhor as características do efluente da lavanderia hospitalar foram realizadas análises físico-químicas e bacteriológica do efluente de entrada e saída da estação de tratamento de efluentes (ETE). A metodologia seguida para a realização dessas análises foi a seguinte: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Para identificação de alguma propriedade que correlacione a CCM com seu poder adsorvente foram realizados experimentos utilizando um efluente sintético, uma solução corante de azul de metileno na concentração de 5 mg.L^{-1} . Foram realizados dois experimentos para verificar a eficiência da CCM na remoção da cor do efluente.

No primeiro experimento foram utilizados 6 erlenmeyers de 125 mL, um contendo a solução controle, que consiste na solução corante de azul de metileno a 5 mg.L^{-1} , e os demais a solução corante adicionada as concentrações de 10 (A1), 20 (A2), 30 (A3), 40 (A4) e 50 (A5) g.L^{-1} de CCM. O volume da solução corante trabalhado foi de 25 mL. O pH das soluções foi verificado após à agitação no shaker. Todos os testes foram realizados em triplicata.

No segundo experimento foram utilizados 5 erlenmeyers de 125 mL, um contendo a solução controle, e os demais a solução corante adicionada as concentrações de 5 (A1), 10

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

(A2), 15 (A3) e 20 (A4) g.L⁻¹ de CCM. O volume trabalhado também foi de 25 mL. O pH das soluções foi verificado após a agitação no shaker, já para as condições contendo CCM, foi verificado após a agitação. Todos os testes foram realizados em triplicata.

A agitação das soluções dos experimentos foi feita em um shaker, a 250 rpm, 31°C, tempo de 10 min, previamente definido em testes de tempo de mistura. As soluções foram transferidas para tubos de Falcon para realizar a centrifugação de forma a separar a fase líquida da fase sólida, as condições foram as seguintes, 5.000 rpm, 10 min e 23°C. Foram coletadas também alíquotas de 2,0 mL das soluções para verificar a absorvância (Abs) no espectrofotômetro programado em 660 nm. Antes de realizar a leitura no equipamento as alíquotas foram centrifugadas nas seguintes condições, 9.000 rpm, 5°C, tempo de 6 min.

O cálculo para verificar o percentual de remoção da cor foi feito da seguinte forma:

$$\% \text{ remoção da cor} = \frac{(\text{Abs}) \text{ solução controle} \times (\text{Abs}) \text{ amostra}}{(\text{Abs}) \text{ solução controle}} \times 100 \quad (13)$$

2.2 Componentes de um sistema de clarificação com hidrociclones

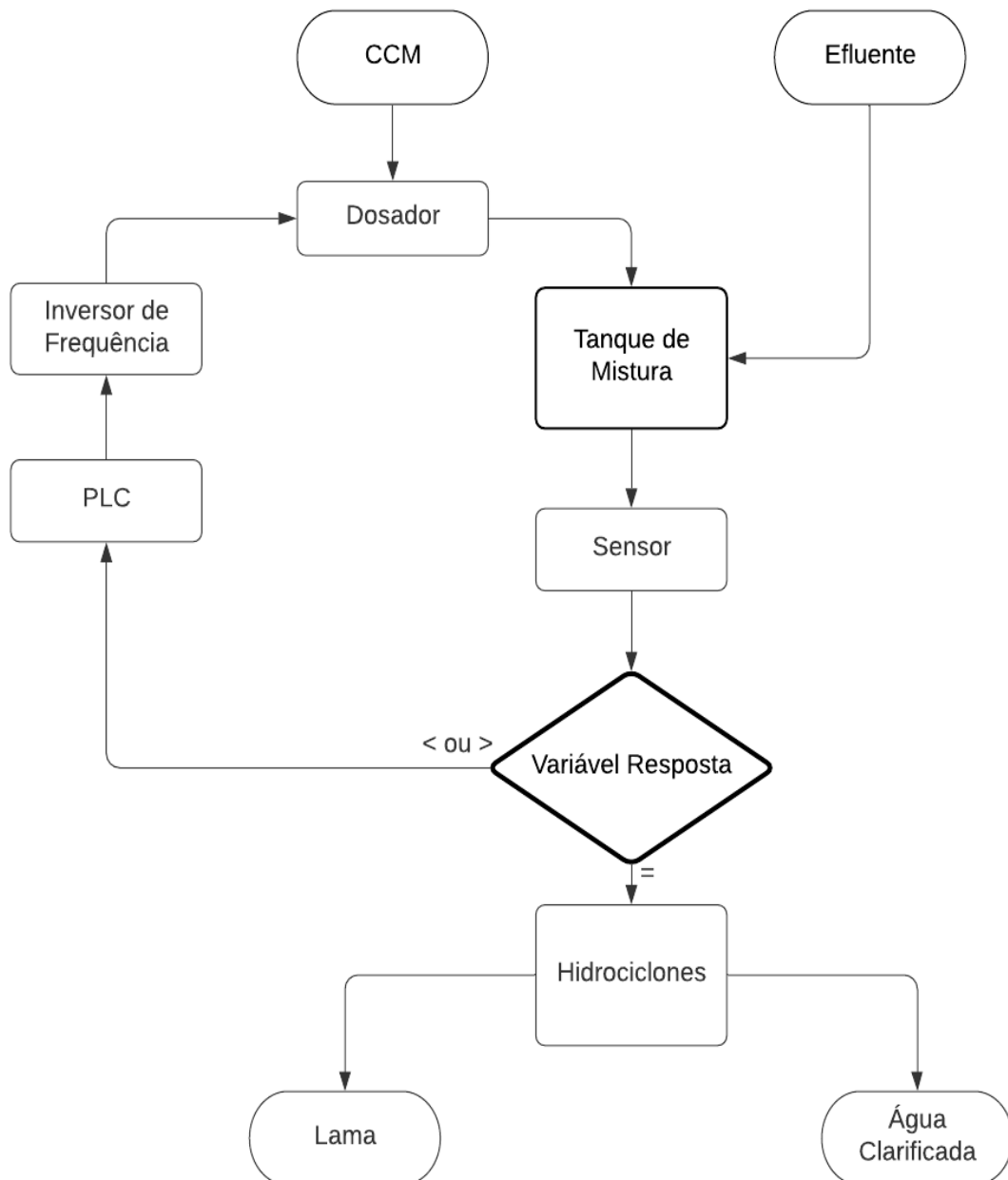
O funcionamento de sistema de clarificação de águas residuais deve ter como base o fato de que se deva constatar, experimentalmente, que a eficiência de clarificação do efluente varie com a concentração de CCM, e que por sua vez esta concentração de CCM dentro do tanque de mistura perfeita proporcione uma variação no valor de alguma propriedade da mistura dentro do tanque. Dessa forma, a referida propriedade deve ser correlacionada com a concentração de CCM (g.L⁻¹) no interior do tanque de mistura de dimensões otimizadas (tempo de mistura mínimo). A Figura 1 ilustra a configuração preliminarmente proposta para o referido sistema de clarificação. Um sensor da propriedade identificada, instalado na saída do tanque de mistura, monitora a resposta devido à adição de CCM no interior do tanque, uma vez que este foi dimensionado com base nas condições de mistura perfeita (TRIWIBOWO, SAMMADIKUN; MUSFIROH, 2018). A partir desta informação um transdutor transmite as informações para o circuito de controle lógico programável (PLC). Por sua vez o PLC transmite a um inversor de frequência, responsável pela velocidade de rotação do motor de um transportador helicoidal, obtendo-se uma nova taxa de alimentação do adsorvente (CCM) para o tanque de mistura.

O sistema emprega hidrociclones em função de ser um equipamento separador sem partes móveis, de alta eficiência de separação sólido-líquido e de funcionamento simples. A configuração do sistema em termo do número de hidrociclones, por bateria, vai depender das

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

condições operacionais desejadas e em termos de vazão por bateria de hidrociclone (LAMSKOVA et al., 2019).

Figura 1 - Fluxograma para concepção de um sistema de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM



Fonte: Autor (2020).

2.3 Teste de toxicidade

Para o teste de toxicidade foi escolhido o microcrustáceo *Artemia sp.* organismos teste usado na norma ABNT NBR 16530:2016 e em vários trabalhos (DIAZ-SOSA et al., 2020; DA FONTOURA et al., 2020; CAVION et al., 2020; IANNA et al., 2020). Foi repetido o experimento com a CCM trabalhando com o volume de 50 mL de efluente sintético. As soluções testadas foram obtidas a partir da mistura do efluente sintético, solução corante de azul de metileno a 5 mg.L^{-1} , com a CCM em quatro concentrações diferentes (5(A1), 10(A2), 15(A3) e 20(A4) g.L^{-1}). A solução controle do experimento foi a solução corante de azul de metileno a 5 mg.L^{-1} (C⁺). Como o teste foi realizado em triplicata o volume total obtido para cada solução foi de 150 mL. O controle de referência (C) do experimento foi a solução com dodecil sulfato de sódio ($\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$) a 100 mg.L^{-1} .

O volume determinado de trabalho para o teste de toxicidade foi de 20 mL. Então, para as condições A1, A2, A3, A4, C⁺ e C foram preparadas diluições com água do mar, trabalhando com 100, 50, 25, 12,5 e 6,25% de cada solução. Para o teste foram coletados náuplios com 48 horas de vida. O teste foi feito em triplicata. A contagem dos indivíduos que sobreviveram e que morreram foi feita em 24 e 48 horas. Os resultados foram analisados pelo teste da ANOVA. A avaliação da toxicidade aguda (CL_{50}) foi feita para o C, C⁺, e para as condições A1 e A4.

3 Resultados e Discussão

3.1 Características do efluente da lavanderia hospitalar

Os resultados das análises físico-químicas e bacteriológica do efluente da lavanderia hospitalar são ilustrados nos Quadros 1a, 1b, 2a e 2b.

Quadro 1a – Análise bacteriológica do efluente do ponto de entrada da estação de tratamento de efluentes (ETE)

ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP) ¹
COLIFORMES TOTAIS	AUSENTE	AUSÊNCIA EM 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	AUSENTE	AUSÊNCIA EM 100 mL
BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS	153 UFC.mL ⁻¹	CONTAGEM PADRÃO ATÉ 500 UFC.mL ⁻¹

¹VMP – Valor máximo permitido.

Fonte: Autor (2019).

Quadro 1b – Análise físico-química do ponto de entrada da ETE

ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP)
PH	7,60	5,0 – 9,0
TEMPERATURA	23,2 °C	< 40,0 °C
TURBIDEZ	1,54	< 5,0 μT^1
CARGA ORGÂNICA	-	-
COR APARENTE	12	< 15 μH^2
VAZÃO	-	-
ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP)
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L em CaCO_3)	0,00	-
CLORETO (mg/L em Cl)	300,00	< 250,00
COBRE (mg/L em Cu)	0,00	< 2,00
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO – DBO 5/20°C	201,00 mg.L ⁻¹	-
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO - DQO	236,40 mg.L ⁻¹	-
DUREZA TOTAL (mg/L em CaCO_3)	100,00	< 500,00
FERRO TOTAL (mg/L em Fe)	2,04	< 0,30
MANGANÊS (mg/L em Mn)	0,04	< 0,10
ÓLEOS E GRAXAS TOTAIS	97,34 mg.L ⁻¹	< 20 mg.L ⁻¹
SULFATO (mg/L em SO_4)	181,74	< 250,00
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS – SD60	0,50 mL.L ⁻¹	< 1,0 mL.L ⁻¹
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	244,00 mg.L ⁻¹	-

² μT – Valor de turbidez.

¹ μH – Micro Henry.

Fonte: Autor (2019).

Quadro 2a – Análise bacteriológica do ponto de saída da ETE

ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP)
COLIFORMES TOTAIS	AUSENTE	AUSÊNCIA EM 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	AUSENTE	AUSÊNCIA EM 100 mL
BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS	9 UFC.mL ⁻¹	CONTAGEM PADRÃO ATÉ 500 UFC.mL ⁻¹

Fonte: Autor (2019).

Quadro 2b – Análise físico-química do ponto de saída da ETE

ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP)
PH	6,60	5,0 – 9,0
TEMPERATURA	23,1 °C	< 40,0 °C
TURBIDEZ	0,09	< 5,0 μT^1
CARGA ORGÂNICA	-	-
COR APARENTE	10	< 15 μH^1
VAZÃO	-	-
ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP) ¹
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L em CaCO_3)	120,00	-
CLORETO (mg/L em Cl)	180,00	< 250,00
COBRE (mg/L em Cu)	0,00	< 2,00
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO – DBO 5/20°C	< 2,00 mg.L^{-1}	-
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO - DQO	25,30 mg.L^{-1}	-
DUREZA TOTAL (mg/L em CaCO_3)	160,00	< 500,00
FERRO TOTAL (mg/L em Fe)	0,20	< 0,30
MANGANÊS (mg/L em Mn)	0,12	< 0,10
ÓLEOS E GRAXAS TOTAIS	51,34 mg.L^{-1}	< 20 mg.L^{-1}
SULFATO (mg/L em SO_4)	90,26	< 250,00
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS – SD60	< 0,10 mL.L^{-1}	< 1,0 mL.L^{-1}
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	< 10,00 mg.L^{-1}	-

Fonte: Autor (2019).

Como pode ser visto no Quadro 1b e Quadro 2b o valor do parâmetro cor aparente, que se refere a determinação de cor em amostras com turbidez (com material coloidal ou em suspensão), foi de 12 na entrada da ETE e 10 na saída da ETE, ou seja, houve uma redução de apenas 2 na cor aparente. Então, justifica-se a implementação de um sistema de

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

clarificação do efluente, dando condições de essas águas serem reutilizadas no próprio processo de higienização das roupas hospitalares ou caso não atenda às recomendações da ANVISA, um reuso menos dessas águas poderá ser feito, utilizando-as em descarga de vaso sanitário, lavagens de piso e outros fins.

3.2 Variável resposta em função da concentração de CCM

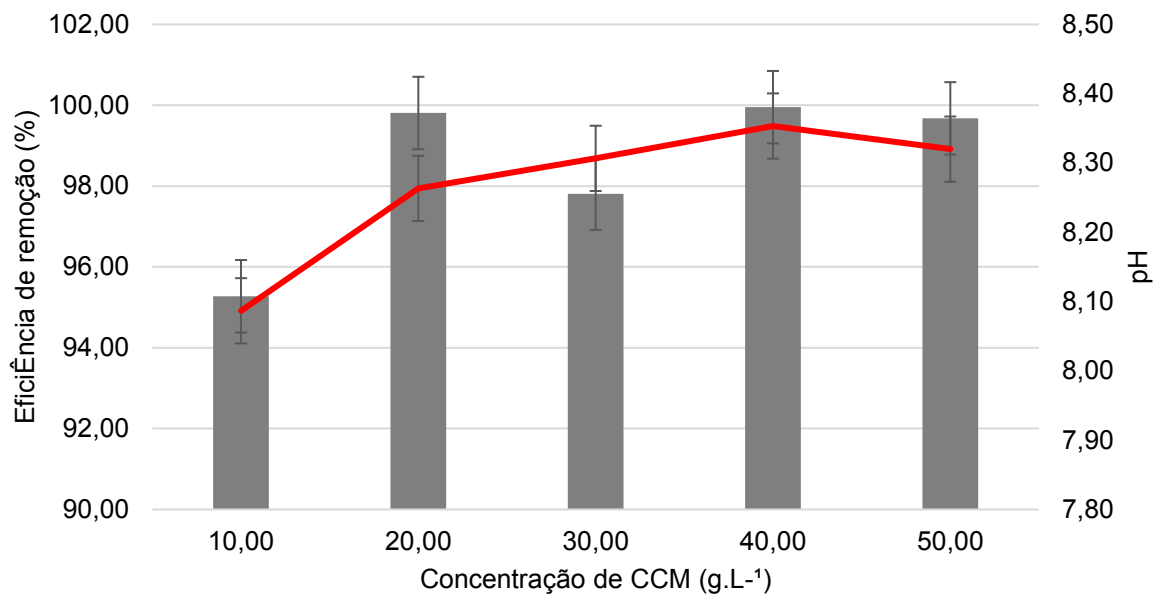
Durante os experimentos de clarificação do efluente testado observou-se uma variação considerável do pH da mistura efluente-CCM. Como o pH é uma variável em que existem sensores e transdutores para monitoração e informação por meio de circuitos do tipo PLC, tais variações foram o foco das observações durante os experimentos. A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam correlações entre a concentração de CCM (g.L^{-1}), eficiência de clarificação (%) e pH da mistura dos experimentos 1 e 2. A eficiência de clarificação também poderia ser monitorada. Entretanto, dependendo do tipo de efluente esta variável poderia apresentar dificuldades de correlação, uma vez que dependeria do tipo de substância contaminante presente na mistura. Observa-se na referida tabela que até a dosagem de 20 g.L^{-1} as medidas de pH podem ser discriminadas em função da incerteza nas medidas. A partir deste valor as incertezas calculadas não permitem que se faça distinção entre os níveis de concentração acima de 20 g.L^{-1} . A Figura 2 e a Figura 3 apresentam os gráficos de barras com indicação das incertezas, demonstrando a possibilidade de se utilizar a monitoração do pH para dosagem de CCM no tanque de mistura. Os valores de cor estão listados na Tabela 1 do Apêndice 1 deste trabalho.

Tabela 1 - Valores de concentração de CCM com respectivos valores de eficiência de remoção da cor e pH do efluente testado no experimento 1

Concentração de CCM (g.L^{-1})	Eficiência de remoção da cor do efluente (%)	pH médio
0,00	-	5,85
10,00	$95,27 \pm 0,02$	$8,09 \pm 0,01$
20,00	$99,81 \pm 0,04$	$8,26 \pm 0,03$
30,00	$97,81 \pm 0,01$	$8,31 \pm 0,04$
40,00	$99,95 \pm 0,03$	$8,35 \pm 0,04$
50,00	$99,68 \pm 0,01$	$8,32 \pm 0,04$

Fonte: Autor (2020).

Figura 2 – Comportamento do pH e da Eficiência de clarificação em função da concentração de CCM do experimento 1



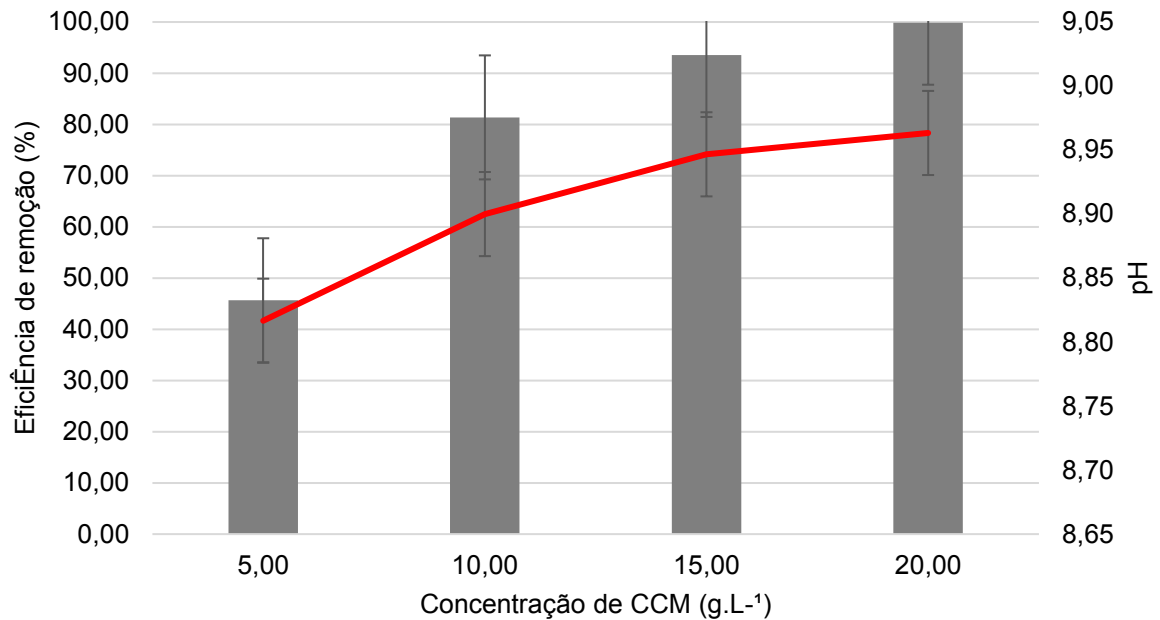
Nota-se que já na concentração de 20 g.L⁻¹ a eficiência de remoção da cor atinge valores próximos a 100%. Logo verificou-se a necessidade de estudar a eficiência de remoção trabalhando com valores menores da concentração de CCM. Então, foi realizado um novo experimento onde foram testadas concentrações de CCM nos valores de 0, 5, 10, 15 e 20 g.L⁻¹.

Tabela 2 - Valores de concentração de CCM com respectivos valores de eficiência de remoção da cor e pH do efluente testado no experimento 2

Concentração de CCM (g.L ⁻¹)	Eficiência de remoção da cor do efluente (%)	pH médio
0,00	-	7,32
5,00	45,67±0,01	8,82 ±0,01
10,00	81,38±0,01	8,90 ±0,03
15,00	93,57±0,02	8,95±0,04
20,00	99,86±0,02	8,96±0,04

Fonte: Autor (2020).

Figura 3 – Comportamento do pH e da Eficiência de clarificação em função da concentração de CCM do experimento 2



Fonte: Autor (2020).

No experimento 2, foram trabalhadas concentrações menores de CCM. Como pode ser visto na Figura 3, com apenas 5 g.L⁻¹ de CCM o valor da eficiência de remoção da cor foi de 45,67%. Já com 10 g.L⁻¹ a eficiência foi de 81,38%. Na concentração de 20 g.L⁻¹ a eficiência atingiu valores muito próximos a 100 %, 99,86%. É possível notar uma correlação entre a concentração de CCM e o pH das soluções.

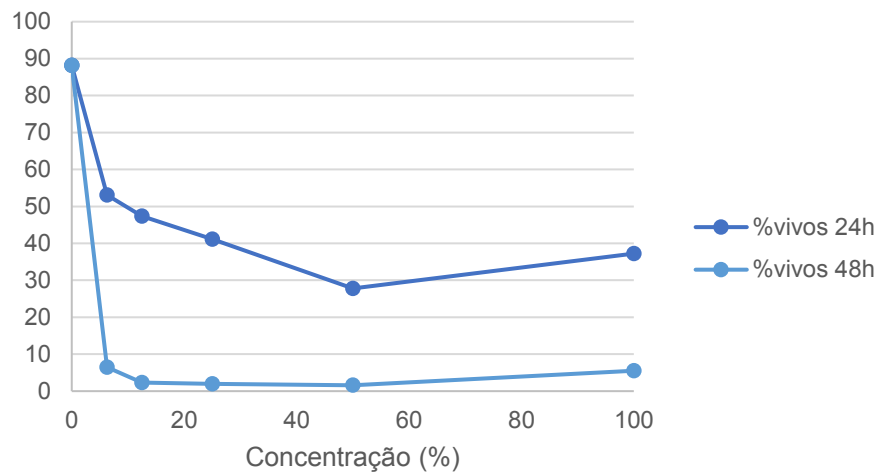
Com a definição da variável resposta pH para controlar a dosagem de CCM utilizou-se um fluxograma de blocos como uma segunda etapa de definição das estratégias de automação e controle para o sistema de clarificação.

3.3 Análise do teste de toxicidade

Com base nos dados coletados no teste de toxicidade com *Artemia sp* foi feito o teste ANOVA para comparar a relação entre as condições A1, A2, A3 e A4 com concentração a 100% no período de 24 horas, os resultados das amostras apresentaram diferença significativa em relação ao percentual de indivíduos que sobreviveram, com valor ($p=0,003225$), como mostram as Figuras 4, 5, 6 e 7.

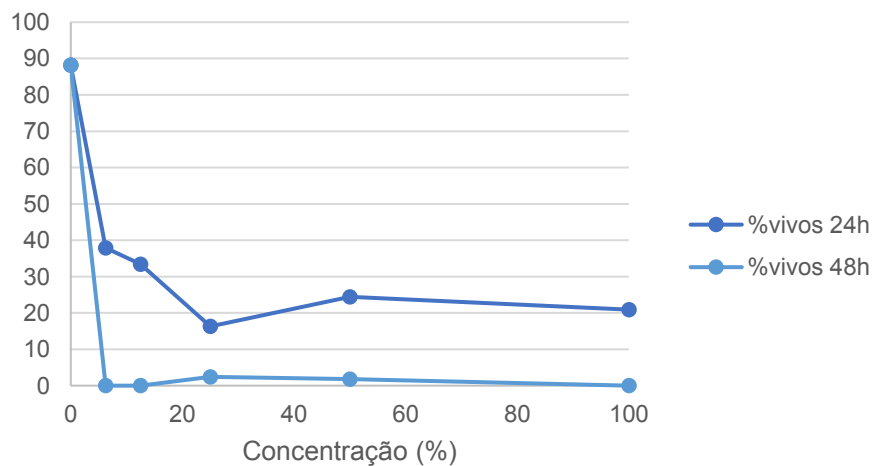
A relação entre as soluções na concentração a 6,25% no período de 24 horas, mostraram também uma diferença significativa em relação ao percentual de indivíduos que sobreviveram, com valor ($p=0,006038$). Quando comparados os valores de toxicidade é possível notar que houve redução do nível de toxicidade a partir do tratamento com a cinza de carvão mineral.

Figura 4 – Relação da concentração da solução A1 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h



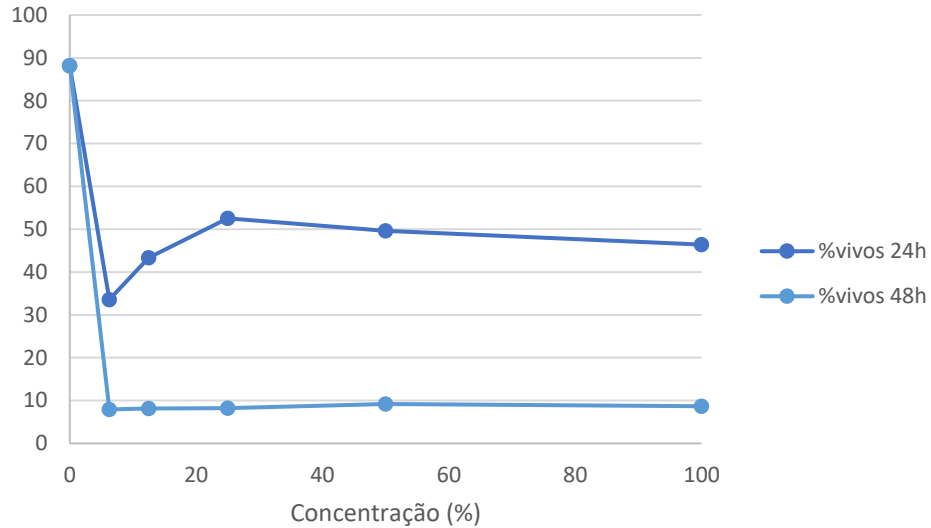
Fonte: Autor (2020).

Figura 5 – Relação da concentração da solução A2 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h



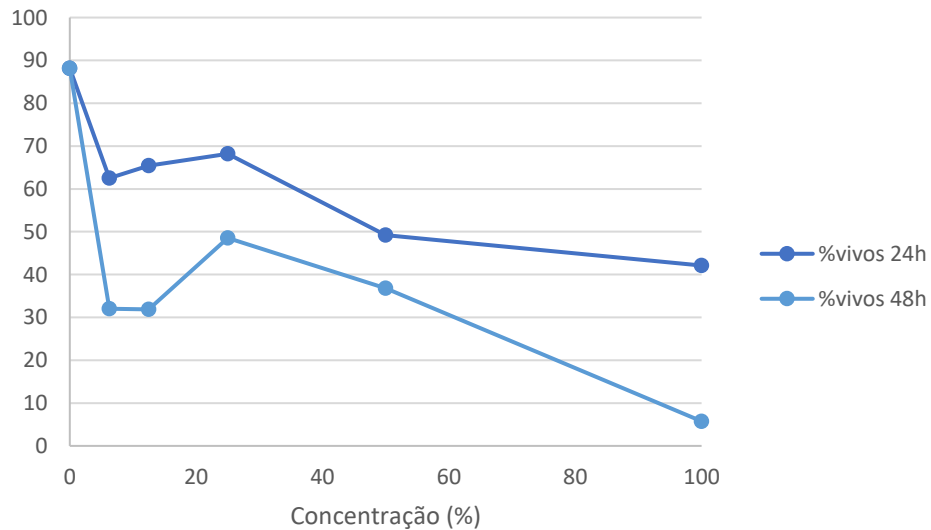
Fonte: Autor (2020).

Figura 6 – Relação da concentração da solução A3 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h



Fonte: Autor (2020).

Figura 7 – Relação da concentração da solução A4 com o percentual de sobrevivência em 24h e 48h



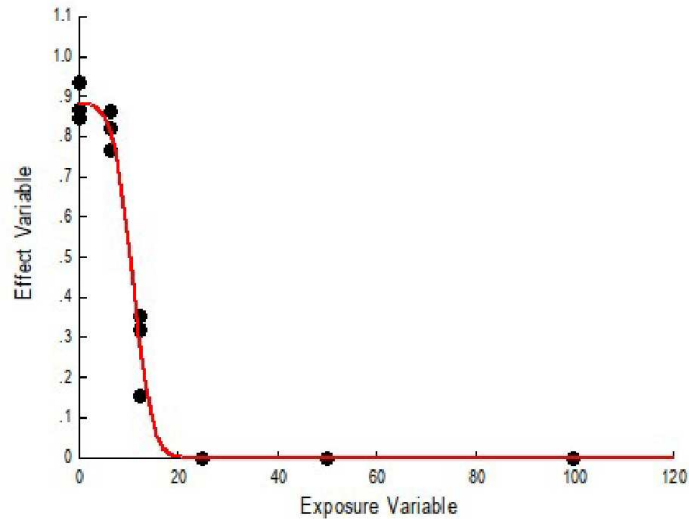
Fonte: Autor (2020).

A amostra A1, solução com concentração de CCM de 5 g.L^{-1} , apresentou uma redução da toxicidade, quando comparado com o controle positivo e o controle de referência. Na

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

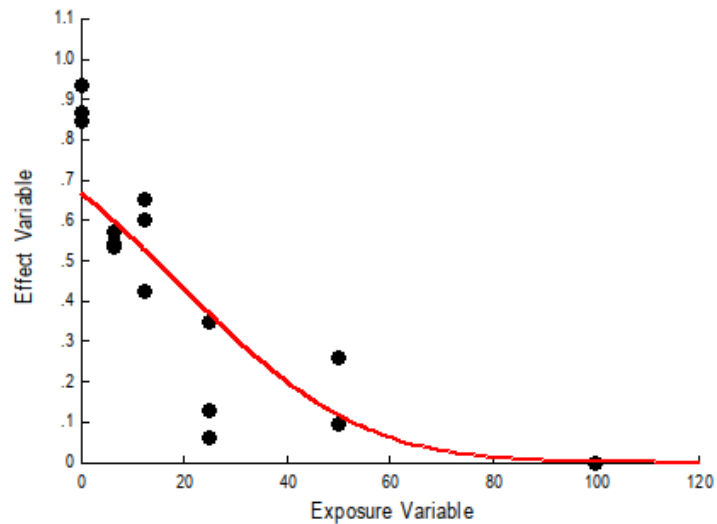
amostra A4, solução com maior quantidade de cinza, 20 g.L^{-1} , houve uma maior redução do nível de toxicidade, como pode ser visto nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

Figura 8 – Relação da toxicidade do dodecil sulfato de sódio (100 mg.L^{-1})

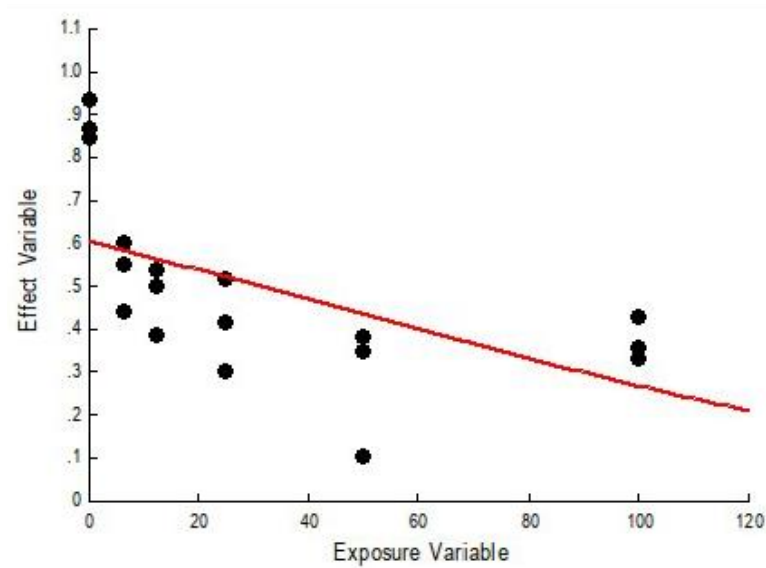


Fonte: Autor (2020).

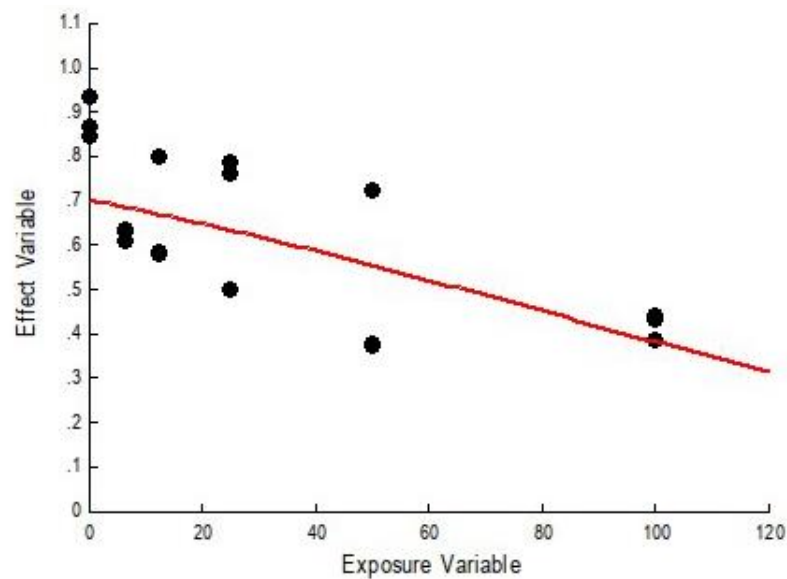
Figura 9 – Relação da toxicidade da solução controle (C^+)



Fonte: Autor (2020).

Figura 10 – Relação da toxicidade da solução A1 (5 g.L⁻¹ de CCM)

Fonte: Autor (2020).

Figura 11 – Relação da toxicidade da solução A4 (20 g.L⁻¹ de CCM)

Fonte: Autor (2020).

A avaliação da toxicidade aguda (CL₅₀) para o dodecil sulfato de sódio (100 mg.L⁻¹) foi de 10,84 mg.L⁻¹. A solução controle (C+) apresentou um nível de toxicidade duas vezes mais baixa. A solução com concentração de CCM 5 g.L⁻¹ (A1) apresentou um nível de toxicidade duas vezes mais baixa que a solução controle, já a solução com concentração de CCM 20

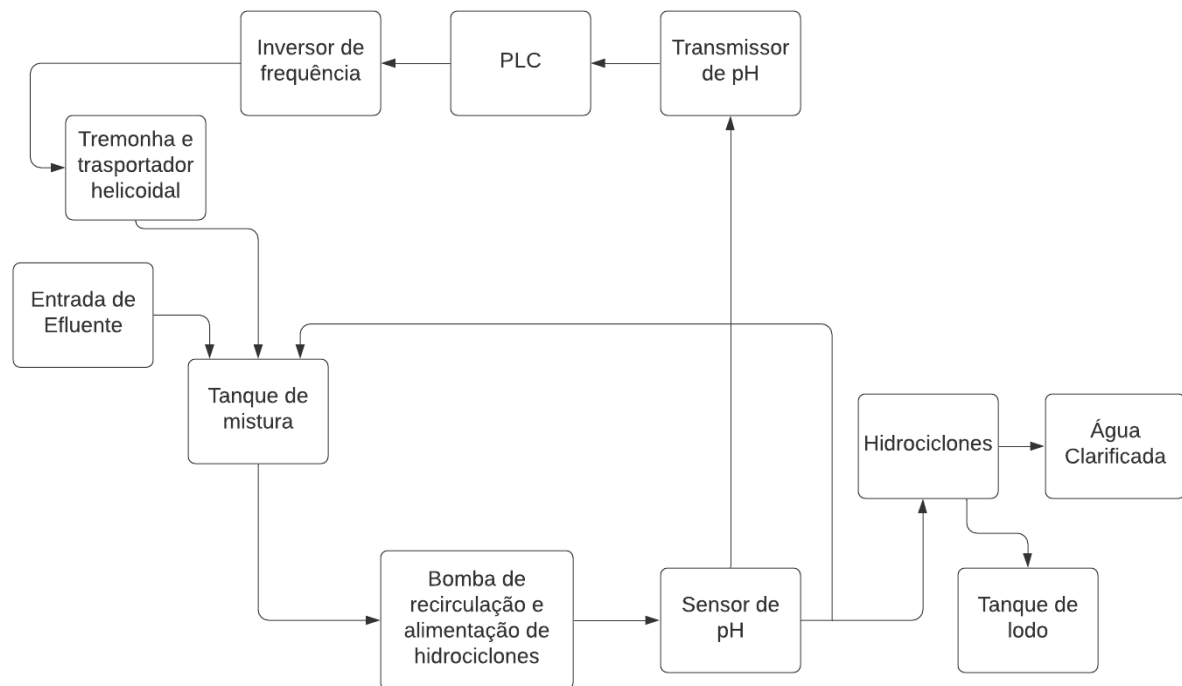
Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

g.L⁻¹ (A4) apresentou um nível de toxicidade quatro vezes mais baixa que a solução controle. Conclui-se desta forma que o tratamento com a aplicação da cinza de carvão mineral reduziu os níveis de toxicidade das soluções.

3.4 Estratégias de controle e automação do processo de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM

A Figura 12 ilustra o referido diagrama de blocos, no qual indica-se as informações de pH para manipulação da variável de controle (CCM) do processo de clarificação de efluente.

Figura 12 – Diagrama de blocos para as estratégias de controle e automação do processo de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM



Fonte: Autor (2020).

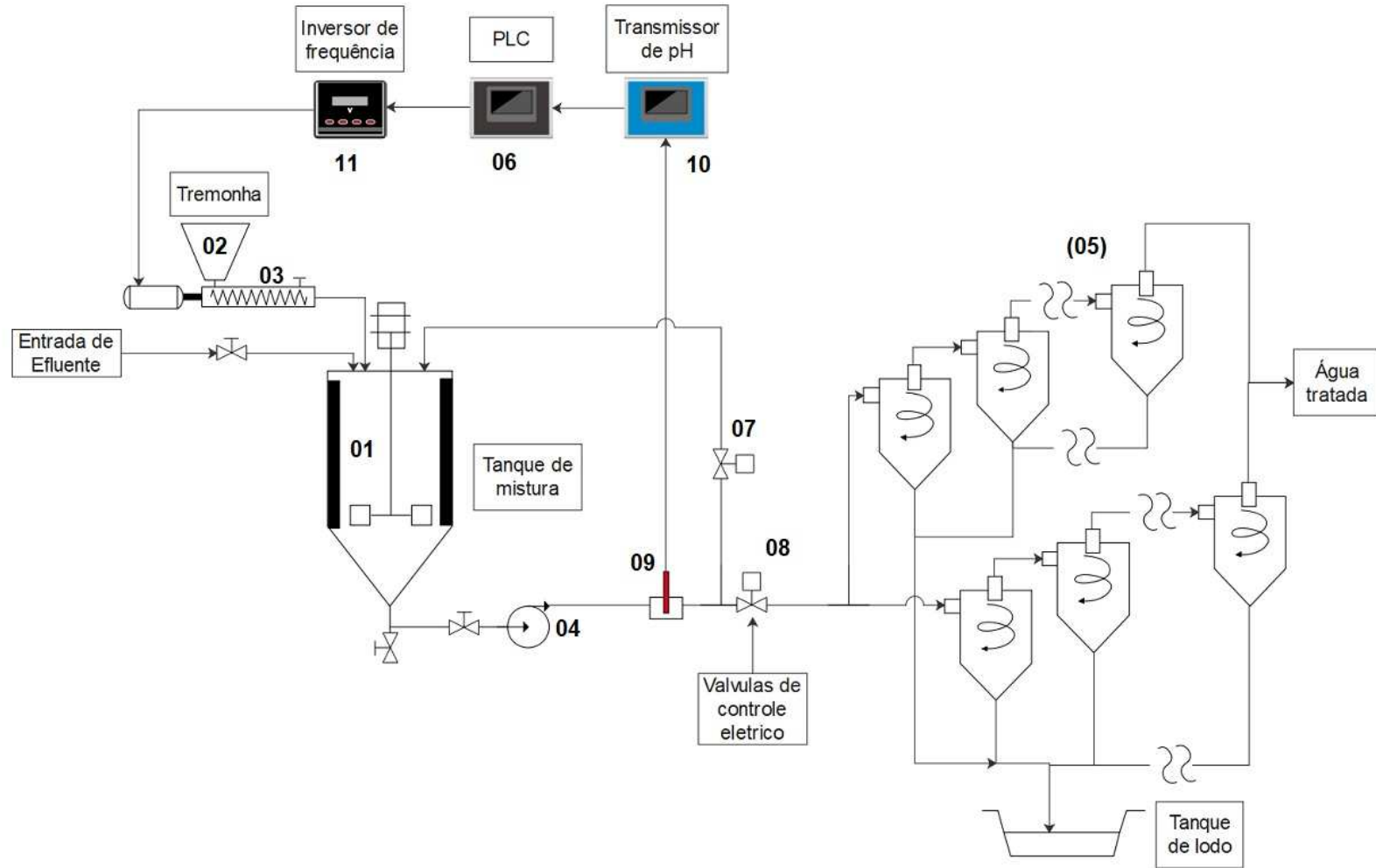
3.5 Sistema de clarificação de efluente hospitalar

O sistema de clarificação concebido é apresentado pelo fluxograma de processo da Figura 13. Os componentes básicos do referido sistema são: i) 01 tanque de mistura sólido-líquido (**01**); (ii) 01 tremonha para armazenamento e alimentação de CCM (**02**); (iii) 01

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

transportador helicoidal (POPESCU; NECULA, 2019) para dosagem de CCM **(03)**; (iv) 01 bomba de recirculação e alimentação de hidrociclones **(04)**; (v) 02 baterias de hidrociclones dispostas em paralelo, cada uma com os referidos separadores em série **(05)**; (vi) 01 PLC **(06)** para controles (DEWANTO et al., 2019) da velocidade do motor helicóide dosador de CCM e da abertura das válvulas de retorno e para o tanque de mistura **(07)** e de alimentação dos hidrociclones **(08)**; (vii) 01 sensor de pH **(09)** (MANJAKKAL et al., 2019); (viii) um transmissor de sinal do sensor de pH para o PLC **(10)** (YIN et al., 2019); (ix) 01 inversor de frequência para controle de velocidade do motor para o helicóide dosador de CCM **(11)** (YIN et al., 2019).

Figura 13 – Fluxograma do processo de clarificação de efluente hospitalar utilizando CCM



Fonte: Autor (2020).

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

O sistema de clarificação do efluente varia com a concentração de CCM (até cerca de 20 g.L^{-1}), dentro do tanque de mistura, cuja dosagem de CCM é controlada pelo valor de pH detectado pelo sensor na saída do tanque de mistura. A partir desta informação um transdutor do sinal de pH transmite tais informações para um PLC que, por sua vez informa ao inversor de frequência, responsável pela velocidade de rotação do motor do transportador helicoidal e uma nova taxa de alimentação de CCM é ajustada para o tanque de mistura.

O sistema pode ser testado em condição descontínua de acordo com o grau de eficiência de separação líquido-sólido para a qual foi ajustado (SVAROVSKY, 2000). Isto pode ser conseguido ajustando-se o PLC para abrir uma válvula e fechar outra, possibilitando o retorno da descarga da bomba para o tanque de mistura.

O sistema emprega hidrociclones em função de ser um equipamento separador sem partes móveis e de alta eficiência de separação sólido-líquido. A configuração do sistema em termo do número de hidrociclones, por bateria, vai depender das condições operacionais desejadas em termos de vazão por bateria de hidrociclone (LAMSKOVA et al., 2019).

4 Conclusões e Sugestões

Cinzas de carvão mineral submetidas a tratamento para redução do nível de emissão de gases poluentes pela técnica de dessulfurização dos gases (Flue Gas Desulphurization – FGD) foram usadas com sucesso para clarificação de efluentes de lavanderia hospitalar. O tratamento com a CCM também reduziu os níveis de toxicidade do efluente. A estratégia de utilizar o pH como forma de monitoramento da eficiência de clarificação, controlando a vazão mássica de dosagem de CCM no tanque de mistura deu origem a um sistema de alta eficiência, operação simples e provavelmente baixo custo. Além disto, um grande passivo ambiental como CCM pode permitir que gastos com produtos químicos e zeólitas comerciais sejam substituídos por tratamento de efluentes com técnicas sustentáveis.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se a construção do protótipo proposto com o objetivo de otimizar as condições operacionais do sistema. Recomenda-se a instalação de um termostato no tanque de mistura para o controle da temperatura. Como também a elaboração de técnicas para sintetizar zeólitas em cinzas que não tenha recebido tratamento tipo FGD. Em ambos os casos deve-se avaliar o tempo de vida e formas para a síntese e regeneração das zeólitas sintetizadas.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16530 Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Artemia* sp. (Crustacea, Brachiopoda), 2016.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Processamento de roupas em serviços de saúde: prevenção e controle de riscos. Brasília, DF, 2009. 102 p.

APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington: APHA, 1985.

Cavion, F., Fusco, L., Sosa, S., Manfrin, C., Alonso, B., Zurutuza, A., Loggia, R. D., Tubaro, A., Prato, M., Pelin, M. Ecotoxicological impact of graphene oxide: toxic effects on the model organism *Artemia franciscana*. **Environmental Science: Nano**, v. 7, n. 11, p. 3605-3615, 2020.

da Fontoura, L. P., Puntel, R., Pinton, S., de Ávila, D. S., da Rocha, J. B. T., de Souza, D. O., & Roos, D. H. A toxicological comparison between two uranium compounds in *Artemia salina*: Artificial seawater containing CaCO₃. **Marine Environmental Research**, p. 105221, 2020.

Dewanto, P., Munadi, M., Tauviqirrahman, M. Development of an automatic broiler feeding system using PLC and HMI for closed house system. **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)**, v. 58, n. 1, 2019.

Diaz-Sosa, V. R., Tapia-Salazar, M., Wanner, J., & Cardenas-Chavez, D. L. Monitoring and Ecotoxicity Assessment of Emerging Contaminants in Wastewater Discharge in the City of Prague (Czech Republic). **Water**, v. 12, n. 4, p. 1079, 2020.

Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M., Cheng, J. C. Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 120, p. 199-208, 2017.

Ianna, M. L., Reichelt-Brushett, A., Howe, P. L., Brushett, D. Application of a behavioural and biochemical endpoint in ecotoxicity testing with *Exaiptasia pallida*. **Chemosphere**, p. 127240, 2020.

Lamskova, M., Filimonov, M., Novikov, A., Samofalova, L., Pavlova, S. Modeling of the separation for system the liquid-solid in the battery of hydrocyclones. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 012011.

LIU, D.; YANG, Y.; ZHAO, F. Preparation of adsorbent from fly ash for methylene blue wastewater treatment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 022040.

LUIS DA SILVA, R.; SOUSA, K.G.; FILHO, A.R.G.; SOUSA, F.H. Materiais cimentícios suplementares: Histórico e novas tendências. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 04, Vol. 07, pp. 121-127. Abril de 2020. ISSN: 2448-0959,

Manjakkal, L., Dang, W., Yogeswaran, N., Dahiya, R. Textile-based potentiometric electrochemical pH sensor for wearable applications. **Biosensors**, v. 9, n. 1, p. 14, 2019.

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

Novais, R. M., Carvalheiras, J., Tobaldi, D. M., Seabra, M. P., Pullar, R. C., Labrincha, J. A. Synthesis of porous biomass fly ash-based geopolymer spheres for efficient removal of methylene blue from wastewaters. **Journal of cleaner production**, v. 207, p. 350-362, 2019.

POPESCU, Alina Iolanda; NECULA, Carmen. Determination of the Calorific Power of Densified Solid Biofuels. **Hidraulica**, n. 3, 2019.

SVAROVSKY, L. **Solid-Liquid Separation**. 4th Edition. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP: Butterworth-Heinemann, 2000. 554 p.

TRIWIBOWO, Bayu; SAMMADIKUN, Waliyuddin; MUSFIROH, Rofiatun. Scale-Up of Solid-Liquid Mixing Based on Constant Power/Volume and Equal Blend Time Using VisiMix Simulation. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 04002.

WANG, Yifei; SERVENTI, Luca. Sustainability of dairy and soy processing: a review on wastewater recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117821, 2019.

Yin, Q., Shreka, M., Gao, R., Zhu, Y. Design of ship exhaust gas desulfurization control system based on S7-1500 PLC. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 032083.

ZANETTI, Franca; DE LUCA, Giovanna; SACCHETTI, Rossella. Performance of a full-scale membrane bioreactor system in treating municipal wastewater for reuse purposes. **Bioresource technology**, v. 101, n. 10, p. 3768-3771, 2010.

CAPÍTULO III

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de clarificação de efluente hospitalar utilizando cinzas de carvão mineral é caracterizado por se constituir de um conjunto de equipamentos com o objetivo de clarificar efluentes de lavanderia hospitalar utilizando a microestrutura zeolítica das cinzas.

O referido sistema é caracterizado por substituir CCM, reconhecidamente um passivo ambiental, por um produto comercial, químico ou zeólitas artificial; geralmente de custo elevado.

A monitoração da dosagem das CCM na saída do tanque de mistura foi possível com auxílio da analogia de tanques otimizados de mistura perfeita, a qual deve balizar a construção desse tipo de sistema de clarificação.

A utilização de estratégias de controle de última geração – PLC, permitiu um arranjo experimental eficiente e de fácil operação.

A utilização de hidrociclones dispostos em série, por bateria, pode aumentar a eficiência de separação sólido-líquido em função do número de hidrociclones e dispor as baterias em série e em paralelo, para permitir variações de capacidade nominal do conjunto.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se:

A construção de um protótipo piloto com o objetivo de otimizar as condições operacionais do sistema;

A instalação de um termostato no tanque de mistura para o controle da temperatura;

Avaliação do tempo de vida e formas para síntese e regeneração das zeólitas sintetizadas;

Elaboração de técnicas para sintetizar zeólitas em cinzas que não tenham recebido tratamento tipo FGD.

APÊNDICE 1

Tabela 1 – Valores de cor após o tratamento com a CCM do experimento 1

Concentração de CCM (g.L⁻¹)	Eficiência de remoção (%)	Concentração final de cor (mg.L⁻¹)
10,00	95,27	0,2365
20,00	99,81	0,0095
30,00	97,81	0,1095
40,00	99,95	0,0025
50,00	99,68	0,0160

Fonte: Autor (2020).

Tabela 1 – Valores de cor após o tratamento com a CCM do experimento 2

Concentração de CCM (g.L⁻¹)	Eficiência de remoção (%)	Concentração final de cor (mg.L⁻¹)
5,00	45,67	2,7165
10,00	81,38	0,9310
15,00	93,57	0,3215
20,00	99,86	0,0070

APÊNDICE 2

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...



21/08/2020

870200104946

06:58



29409161922808961

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 20 2020 017055 0

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS

Tipo de Pessoa: Pessoa Física

CPF/CNPJ: 07974310472

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins

Endereço: Rua Leonardo da Vinci, 112 apto 2121, Imbiribeira

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 51190-350

País: Brasil

Telefone: (81)33390523

Fax: (81)33390523

Email: valdemir.alexandre@hotmail.com

Dados do Pedido

Natureza Patente: 20 - Modelo de Utilidade (MU)**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL**Resumo:** O presente modelo de utilidade compreende um SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL. É um processo de clarificação de efluente de lavanderia hospitalar, utilizando cinzas de carvão mineral como adsorvente de substâncias responsáveis pela cor do efluente gerado pela lavanderia. Um tanque de mistura perfeita promove o contato íntimo entre sólidos e líquido. Na saída do tanque de mistura um sensor de pH correlaciona o valor desta variável com a concentração de CCM na mistura no interior do tanque. Dados obtidos em experimentos demonstraram uma alta correlação entre o pH da mistura, a eficiência de clarificação do efluente e a concentração de CCM na mistura. A informação sobre o pH da mistura é então enviada a um PLC, o qual regula a velocidade do motor do transportador helicoidal, com auxílio de um inversor de frequência. O sistema pode operar tanto em regime batelada quanto em regime contínuo. No primeiro caso pode-se ajustar as condições operacionais ideais. No segundo caso pode-se ajustar a capacidade nominal do sistema, reduzindo-se o número de ciclones por bateria ou o número de baterias.**Figura a publicar:** SIM

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 7**Nome:** DANIEL DE MORAIS SOBRAL**CPF:** 05357336407**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Engenheiro, arquiteto e afins**Endereço:** Rua Dr. Raul Lafayette, n° 152, Apto 502, Boa Viagem**Cidade:** Recife**Estado:** PE**CEP:** 51030-330**País:** BRASIL**Telefone:** (81) 510 21220**Fax:****Inventor 2 de 7****Email:** dmsobral@hotmail.com**Nome:** MANOEL PEREIRA DE ANDRADE FILHO**CPF:** 08402561403**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins**Endereço:** Rua Silvio Romero, 163**Cidade:** Caruaru**Estado:** PE**CEP:** 55030-440**País:** BRASIL**Telefone:** (81) 999 638526**Fax:****Inventor 3 de 7****Email:** manoandrade2005@hotmail.com

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

Nome: CAMILA FREIRE NOVAES

CPF: 06527015402

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Biólogo, biomédico e afins

Endereço: Aldeia Santo Antônio

Cidade: Carnaubeira da Penha

Estado: PE

CEP: 56420-000

País: BRASIL

Telefone: (81) 996 737368

Fax:

Email: novaesmila@hotmail.com

Inventor 4 de 7

Nome: IVAN XAVIER LINS

CPF: 09686666478

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Engenheiro, arquiteto e afins

Endereço: Rua Antônio Valdevino da Costa, 280 Bloco 33 Apto. 504

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 50721-775

País: BRASIL

Telefone: (81) 996 500220

Fax:

Email: ivanxavierlins@hotmail.com

Inventor 5 de 7

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

Nome: LEONARDO BANDEIRA DOS SANTOS

CPF: 09504526454

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins

Endereço: Rua Izabel Magalhães, 93 Apto. 703

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 51030-330

País: BRASIL

Telefone: (81) 301 97926

Fax:

Email: leonardo.bandeira@iati.org.br

Inventor 6 de 7

Nome: GALBA MARIA DE CAMPOS TAKAKI

CPF: 00250155400

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Biólogo, biomédico e afins

Endereço: Rua Guerra de Holanda, 161 apto 201

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 52061-015

País: BRASIL

Telefone: (81) 988 574447

Fax:

Email: galba.takaki@unicap.br

Inventor 7 de 7

Nome: VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS**CPF:** 07974310472**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins**Endereço:** Rua Izabel Magalhães, 93 Apto. 703**Cidade:** Recife**Estado:** PE**CEP:** 51030-330**País:** BRASIL**Telefone:** (81) 301 97926**Fax:****Email:** valdemir.santos@unicap.br

Documentos anexados

Tipo Anexo	Nome
Comprovante de pagamento de GRU 200	Pagamento CCM Clarificação.pdf
Resumo	RESUMO CCM Clarificação.pdf
Relatório Descritivo	RELATÓRIO DESCRITIVO CCM Clarificação.pdf
Reivindicação	REIVINDICAÇÕES CCM Clarificação.pdf
Desenho	FIGURA CCM Clarificação.pdf

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.



boleto / títulos

R\$ 70,00

situação da transação

pago em 20/08/2020

código de barras

00190.00009 02940.916196
22808.961175 5 83820000007000

instituição emissora

BANCO DO BRASIL SA

agência conta corrente

8890 02704-1

tipo do pagamento

Débito em conta corrente

dados do beneficiário

nome

INSTITUTO NACIONAL DA

razão social

INSTITUTO NACIONAL DA

cpf / cnpj

42.521.088/0001-37

dados do pagador

nome

VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS

cpf / cnpj

079.743.104-72

dados do pagador final

nome

VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS

cpf / cnpj

079.743.104-72

valor do documento

R\$ 70,00

desconto

- R\$ 0,00

juros/mora

+ R\$ 0,00

multa

+ R\$ 0,00

total de encargos

R\$ 0,00

data do vencimento

18/09/2020

controle

34032

autenticação

73826FAF1E928AF4306791B5DD3E436

**pagamento efetuado em 20/08/2020
às 15:54:35 via aplicativo**

RESUMO

O presente modelo de utilidade compreende um “SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”. É um processo de clarificação de efluente de lavanderia hospitalar, utilizando cinzas de carvão mineral como adsorvente de substâncias responsáveis pela cor do efluente gerado pela lavanderia. Um tanque de mistura perfeita promove o contato íntimo entre sólidos e líquido. Na saída do tanque de mistura um sensor de pH correlaciona o valor desta variável com a concentração de CCM na mistura no interior do tanque. Dados obtidos em experimentos demonstraram uma alta correlação entre o pH da mistura, a eficiência de clarificação do efluente e a concentração de CCM na mistura. A informação sobre o pH da mistura é então enviada a um PLC, o qual regula a velocidade do motor do transportador helicoidal, com auxílio de um inversor de frequência. O sistema pode operar tanto em regime batelada quanto em regime contínuo. No primeiro caso pode-se ajustar as condições operacionais ideais. No segundo caso pode-se ajustar a capacidade nominal do sistema, reduzindo-se o número de ciclones por bateria ou o número de baterias.

RELATÓRIO DESCRITIVO

“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”

- [01] O reuso de água e efluentes é uma forma pela qual a água tratada é retornada ao processo da qual tiveram origem. Os critérios estabelecidos para a prática do reuso são baseados principalmente em itens de proteção da saúde pública e do meio ambiente. O reuso deve envolver tratamentos mínimos necessários, os padrões de qualidades exigidos pelos órgãos ambientais e de vigilância sanitária para determinados usos e a eficiência exigida para o tratamento. Para o reuso de efluentes de lavanderias hospitalares devem ser levados em consideração o acompanhamento da atividade que utilizará a água de reuso e a finalidade do reuso (ZANETTI; DE LUCA; SACCHETTI, 2010). Quando se manuseiam estes tipos de efluentes deve-se ter cuidados especiais e se realizar um cuidadoso monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. As técnicas empregadas no programa de tratamento de efluentes de lavanderias hospitalares deve garantir que tais parâmetros não ultrapassem as concentrações máximas recomendadas.
- [02] De acordo com informações fornecidas pela ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, por meio de comunicação pessoal, para reuso de efluentes de lavanderias hospitalares deve-se observar as recomendações do Manual de Processamento de Roupas de Serviços de Saúde (ANVISA, 2009). Além do reuso na própria lavanderia hospitalar, caso os parâmetros que caracterizam a água obtida não atendam às recomendações da ANVISA, poderá ser feito um reuso menos nobre, dentro da própria instituição, como uso em descargas de vaso sanitário, lavagens de pisos e outros fins. Verifica-se ainda que são poucos os trabalhos na literatura científica que estudaram a possibilidade do reuso de efluentes de lavanderias hospitalares, que via de regra, são lançados nas redes coletoras de esgotos; prática não recomendada, uma vez que esses efluentes podem apresentar microrganismos, além de compostos provenientes dos produtos utilizados na lavagem.
- [03] A etapa de clarificação no processo de tratamento de efluentes é composta basicamente de 3 (três) etapas (WANG; SERVENTI, 2019): coagulação, floculação e decantação. Quando bem conduzida a clarificação possibilita a eliminação de partículas de origem orgânica e inorgânica em suspensão da água. Estas partículas conferem cor e turbidez e são formadas por colóides e pigmentos, algas e organismos vegetais, substâncias geradoras de odor de origem química e biológica, precipitados químicos e micro-

organismos patogênicos. Inicia-se pela coagulação, operação onde são adicionados produtos químicos, denominados coagulantes, que ao reagirem reduzem as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão. Como o material em suspensão não se separa facilmente da água, procura-se desestabilizar o material coloidal através de adição de íons com carga contrária à destas partículas, geralmente aniônicas. Isto faz com que as mesmas se agreguem, formando flóculos (floculação), e sejam separadas da fase aquosa por processos físicos de sedimentação e filtração.

- [04] Para a adequação de efluentes líquidos industriais aos padrões estabelecidos pela legislação vigente, muitos programas de tratamento terciário de efluentes têm sido desenvolvidos, para novos mecanismos de remoção mais específicas de contaminantes persistentes. Entre essas tecnologias as microestruturas zeolíticas de alguns materiais têm se destacado em função das propriedades de adsorção e troca iônica de que são caracterizados. Zeólitas são alumíniossilicatos hidratados cristalinos microporosos cuja estrutura correspondem a polímeros de arranjo tridimensional (LIU; YANG; ZHAO, 2019). São compostas por estruturas tetraédricas do tipo TO_4 (Em que T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co, ...) unidas nos vértices por átomos de oxigênio. Esta estrutura microporosa permite a transferência de massa entre o espaço cristalino e o meio externo. Entretanto esta transferência é limitada pelos diâmetros dos poros. É, portanto, devido a esta característica que as Zeólitas recebem a denominação de peneira molecular. Ou seja, são capazes de reter moléculas por adsorção.
- [05] Aproximadamente 20% das cinzas de carvão mineral (CCM) geradas mundialmente durante a combustão desse combustível fóssil tem sido utilizado para a produção de cimento Portland (HOSSAIN et al., 2017). Outras aplicações incluem melhoramento de solos, indústria cerâmica, catálise e síntese de zeólitas. Esta síntese tem sido possível uma vez que as CCM apresentam composição semelhante a alguns materiais vulcânicos, os quais são precursores de zeólitas naturais. Dessa forma, a síntese de zeólitas é convencionalmente realizado por tratamento hidrotérmico alcalino; motivo pelo qual algumas cinzas dispensam tal procedimento para exibirem propriedades zeolíticas por já receberem este tipo de tratamento como forma de reduzir o teor de enxofre – por solicitação de indústrias cimenteiras. Dessa forma, uma CCM com pH acima de 11,5 apresenta propriedades zeolíticas, podendo ser utilizado para clarificação de efluentes (NOVAIS et al., 2019).
- [06] O presente Modelo de Utilidade constitui-se de um sistema desenvolvido para redução de cor em efluente industrial utilizando CCM com pH acima de 11,5 como estrutura zeolítica. A CCM é um passivo ambiental sólido e, por isso, de grande interesse seu

reaproveitamento em qualquer processo, principalmente no tratamento de efluentes ambientais.

- [07] A **Figura 1**, anexa, representa um esquema com os componentes do sistema de clarificação de efluente utilizando cinzas de carvão mineral (CCM) como substância adsorvente. Os componentes básico do referido sistema são: i) 01 tanque de mistura sólido-líquido (**01**); (ii) 01 tremonha para armazenamento e alimentação de CCM (**02**); (iii) 01 transportador helicoidal (POPESCU; NECULA, 2019) para dosagem de CCM (**03**); (iv) 01 bomba de recirculação e alimentação de hidrociclones (**04**); (v) 02 baterias de hidrociclones dispostas em paralelo, cada uma com os referidos separadores em série (**05**); (vi) 01 PLC (**06**) para controles (DEWANTO et al., 2019) da velocidade do motor do helicóide dosador de CCM e da abertura das válvulas de retorno e para o tanque de mistura (**07**) e de alimentação dos hidrociclones (**08**); (vii) 01 sensor de pH (**09**) (MANJAKKAL et al., 2019); (viii) um transmissor de sinal do sensor de pH para o PLC (**10**) (YIN et al., 2019); (ix) 01 inversor de frequência para controle de velocidade do motor para o helicóide dosador de CCM (**11**) (YIN et al., 2019).
- [08] O funcionamento do sistema de clarificação tem como base o fato de que foi constatado em experimentos que a eficiência de clarificação do efluente varia com a concentração de CCM (até cerca de 20 g/L), que por sua vez esta concentração de CCM dentro do tanque de mistura perfeita proporciona uma variação no valor do pH do meio. Dessa forma, o pH do meio é correlacionado com o controle da concentração de CCM (g/L) no interior do tanque de mistura perfeita. O sensor de pH na saída do tanque de mistura (**Figura 1**) monitora o pH no interior do tanque, uma vez que este foi dimensionado com base nas condições de mistura perfeita (TRIWIBOWO, SAMMADIKUN; MUSFIROH, 2018). A partir desta informação um transdutor do sinal de pH transmite as informações para o PLC que, por sua vez informa a um inversor de frequência, responsável pela velocidade de rotação do motor do transportador helicoidal uma nova taxa de alimentação de CCM para o tanque de mistura.
- [09] O sistema pode ser testado em condição descontínua de acordo com o grau de eficiência de separação líquido-sólido para a qual foi ajustado (SVAROVSKY, 2000). Isto pode ser conseguido ajustando-se o PLC para abrir uma válvula e fechar outra, possibilitando o retorno da descarga da bomba para o tanque de mistura.
- [10] O sistema emprega hidrociclones em função de ser um equipamento separador sem partes móveis e de alta eficiência de separação sólido-líquido. A configuração do sistema em termos de número de hidrociclones, por bateria, vai depender das condições

operacionais desejadas em termos de vazão por bateria de hidrociclone (LAMSKOVA et al., 2019).

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Processamento de roupas em serviços de saúde: prevenção e controle de riscos. Brasília, DF, 2009. 102 p.

DEWANTO, Puspo et al. Development of an automatic broiler feeding system using PLC and HMI for closed house system. **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)**, v. 58, n. 1, 2019.

HOSSAIN, Md Uzzal et al. Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 120, p. 199-208, 2017.

LAMSKOVA, M. et al. Modeling of the separation for system the liquid-solid in the battery of hydrocyclones. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 012011.

LIU, D.; YANG, Y.; ZHAO, F. Preparation of adsorbent from fly ash for methylene blue wastewater treatment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 022040.

MANJAKKAL, Libu et al. Textile-based potentiometric electrochemical pH sensor for wearable applications. **Biosensors**, v. 9, n. 1, p. 14, 2019.

NOVAIS, Rui M. et al. Synthesis of porous biomass fly ash-based geopolymer spheres for efficient removal of methylene blue from wastewaters. **Journal of cleaner production**, v. 207, p. 350-362, 2019.

POPESCU, Alina Iolanda; NECULA, Carmen. Determination of the Calorific Power of Densified Solid Biofuels. **Hidraulica**, n. 3, 2019.

SVAROVSKY, L. **Solid-Liquid Separation**. 4th Edition. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP: Butterworth-Heinemann, 2000. 554 p.

TRIWIBOWO, Bayu; SAMMADIKUN, Waliyuddin; MUSFIROH, Rofiatun. Scale-Up of Solid-Liquid Mixing Based on Constant Power/Volume and Equal Blend Time Using VisiMix Simulation. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 04002.

WANG, Yifei; SERVENTI, Luca. Sustainability of dairy and soy processing: a review on wastewater recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117821, 2019.

YIN, Qi et al. Design of ship exhaust gas desulfurization control system based on S7-1500 PLC. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 032083.

ZANETTI, Franca; DE LUCA, Giovanna; SACCHETTI, Rossella. Performance of a full- scale membrane bioreactor system in treating municipal wastewater for reuse purposes. **Bioresource technology**, v. 101, n. 10, p. 3768-3771, 2010.

REIVINDICAÇÕES

- 1ª) **“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”** caracterizado por constituir-se de um conjunto de equipamentos com o objetivo de clarificar efluentes de lavanderia hospitalar utilizando a microestrutura zeolítica das cinzas de carvão mineral (CCM).
- 2ª) **“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”** conforme a reivindicação 1ª e caracterizado por conter um tanque de mistura perfeita otimizado para promover um contato íntimo entre o efluente e as cinzas de carvão mineral.
- 3ª) **“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”** conforme a reivindicação 2ª e caracterizado por substituir as CCM, reconhecidamente um passivo ambiental, por um produto comercial.
- 4ª) **“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”** conforme a reivindicação 3ª e caracterizado por monitorar o nível de pH na saída do tanque de mistura.
- 5ª) **“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”** conforme a reivindicação 4ª e caracterizado por correlacionar a dosagem de CCM necessária com o valor do pH na saída do tanque de mistura perfeita.
- 6ª) **“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”** conforme a reivindicação 5ª e caracterizado por utilizar as informações obtidas de pH e ajustar a dosagem de CCM no tanque de mistura.
- 7ª) **“SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL”** conforme a reivindicação 6ª e caracterizado por utilizar uma tremonha, dimensionada com base no ângulo de repouso dos sólidos (CCM), como recipiente pulmão de CCM para o tanque de mistura.

8) “SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL” conforme a reivindicação 7ª e caracterizado por recuperar a o efluente clarificado, após um tempo adequado de detenção hidráulica no tanque de mistura, utilizando hidrociclones.

9) “SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL” conforme a reivindicação 8ª e caracterizado por utilizar hidrociclones dispostos em série, por bateria, aumentando a eficiência de separação sólido-líquido em função do número de hidrociclones por bateria.

10) “SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL” conforme a reivindicação 9ª e caracterizado por dispor as baterias de hidrociclones em série e em paralelo, para permitir variações de capacidade nominal do conjunto.

11) “SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL” conforme a reivindicação 10ª e caracterizado por possuir uma tubulação de retorno para o tanque de mistura, após o sensor de pH na linha de descarga da bomba de alimentação dos hidrociclones, permitindo que se pratique um regime intermitente de operação.

12) “SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL” conforme a reivindicação 11ª e caracterizado por permitir que as condições otimizadas para o processo sejam investigadas antes do sistema ser adaptado às demais etapas do sistema de tratamento de efluentes da lavanderia hospitalar.

13) “SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE HOSPITALAR UTILIZANDO CINZAS DE CARVÃO MINERAL” conforme a reivindicação 12ª e caracterizado por poder operar, tanto de regime contínuo como intermitente. Isto permite que as condições otimizadas para o processo sejam investigadas e determinadas, antes da forma de operação contínua seja adotada.

1/1

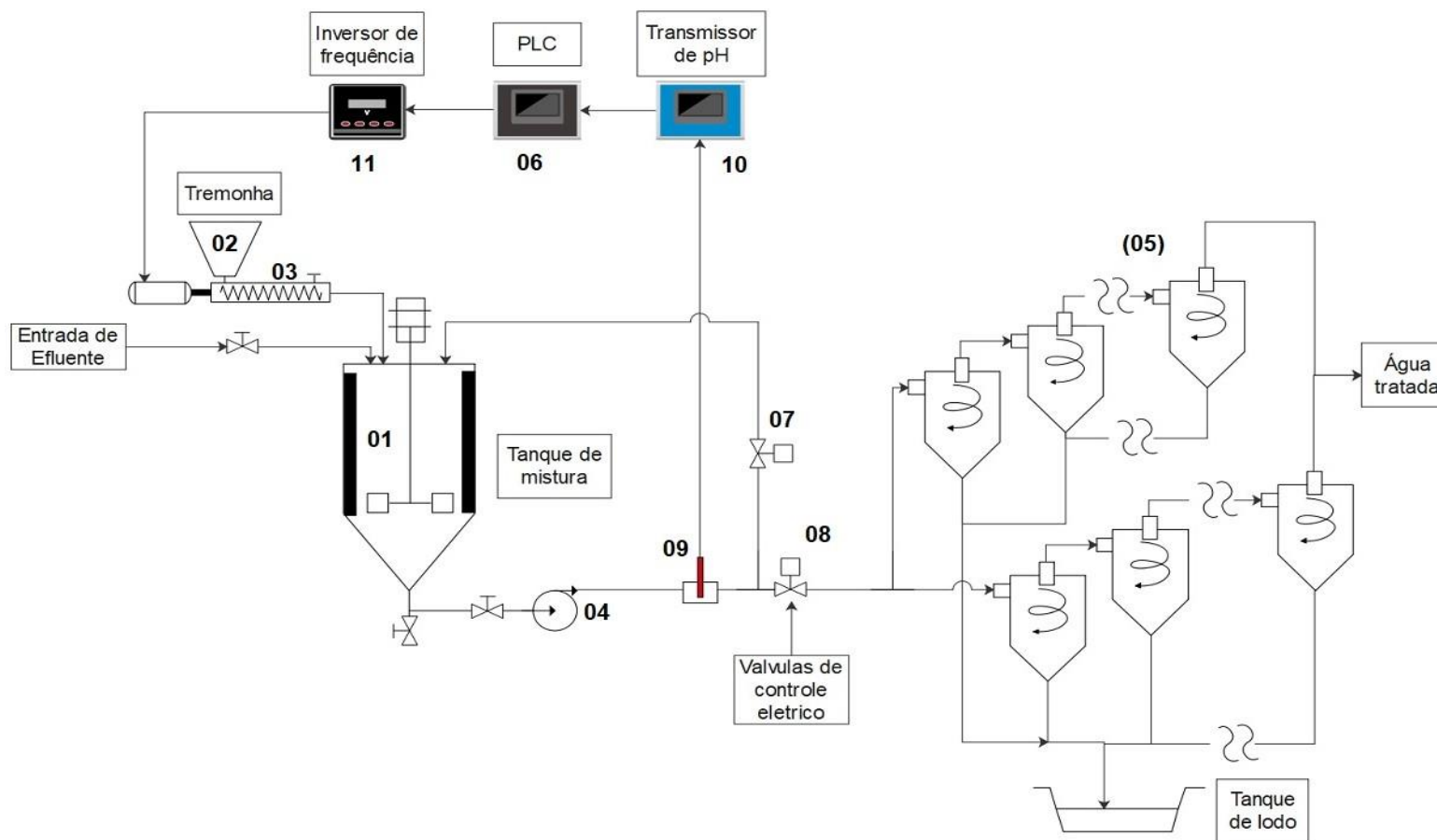


Figura 1 – Esquema com componentes do sistema de clarificação de efluentes de lavanderia hospitalar utilizando cinzas de carvão mineral como material adsorvente

ANEXO



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**

RESOLUÇÃO Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011

Correlações:

- Complementa e altera a Resolução nº 357/2005.

Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pelo inciso VII do art. 8º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, Anexo à Portaria nº 168, de 13 de junho de 2005, resolve:

Art. 1º Esta Resolução dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Parágrafo único. O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Art. 2º A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica:

I - acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor; ou

II - exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor.

CAPÍTULO I DAS

DEFINIÇÕES

Art. 4º Para efeito desta Resolução adotam-se as seguintes definições, em complementação àquelas contidas no art. 2º da Resolução CONAMA nº 357, de 2005:

I - Capacidade de suporte do corpo receptor: valor máximo de determinado poluente que o corpo hídrico pode receber, sem comprometer a qualidade da água e seus usos determinados pela classe de enquadramento;

II - Concentração de Efeito Não Observado-CENO: maior concentração do efluente que não causa efeito deletério estatisticamente significativo na sobrevivência e reprodução dos organismos, em um determinado tempo de exposição, nas condições de ensaio;

III - Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR, expressa em porcentagem:

a) para corpos receptores confinados por calhas (rio, córregos, etc):

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

1. $CECR = [(vazão\ do\ efluente) / (vazão\ do\ efluente + vazão\ de\ referência\ do\ corpo\ receptor)] \times 100$.

b) para áreas marinhas, estuarinas e lagos a CECR é estabelecida com base em estudo da dispersão física do efluente no corpo hídrico receptor, sendo a CECR limitada pela zona de mistura definida pelo órgão ambiental;

IV - Concentração Letal Mediana-CL50 ou Concentração Efetiva Mediana-CE50: é a concentração do efluente que causa efeito agudo (letalidade ou imobilidade) a 50% dos organismos, em determinado período de exposição, nas condições de ensaio;

V - Efluente: é o termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos;

VI - Emissário submarino: tubulação provida de sistemas difusores destinada ao lançamento de efluentes no mar, na faixa compreendida entre a linha de base e o limite do mar territorial brasileiro;

VII - Esgotos sanitários: denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos;

VIII - Fator de Toxicidade-FT: número adimensional que expressa a menor diluição do efluente que não causa efeito deletério agudo aos organismos, num determinado período de exposição, nas condições de ensaio;

IX - Lançamento direto: quando ocorre a condução direta do efluente ao corpo receptor;

X - Lançamento indireto: quando ocorre a condução do efluente, submetido ou não a tratamento, por meio de rede coletora que recebe outras contribuições antes de atingir o corpo receptor;

XI - Nível trófico: posição de um organismo na cadeia trófica;

XII - Parâmetro de qualidade do efluente: substâncias ou outros indicadores representativos dos contaminantes toxicologicamente e ambientalmente relevantes do efluente;

XIII - Testes de ecotoxicidade: métodos utilizados para detectar e avaliar a capacidade de um agente tóxico provocar efeito nocivo, utilizando bioindicadores dos grandes grupos de uma cadeia ecológica; e

XIV - Zona de mistura: região do corpo receptor, estimada com base em modelos teóricos aceitos pelo órgão ambiental competente, que se estende do ponto de lançamento do efluente, e delimitada pela superfície em que é atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e os do corpo receptor, sendo específica para cada parâmetro.

CAPÍTULO II

DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Seção I

Das Disposições Gerais

Art. 5º Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.

§ 1º-As metas obrigatórias para corpos receptores serão estabelecidas por parâmetros específicos.

§ 2º-Para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias e na ausência de metas intermediárias progressivas, os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado.

Art. 6º Excepcionalmente e em caráter temporário, o órgão ambiental competente poderá, mediante análise técnica fundamentada, autorizar o lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos nesta Resolução, desde que observados os seguintes requisitos:

I - comprovação de relevante interesse público, devidamente motivado;

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

II - atendimento ao enquadramento do corpo receptor e às metas intermediárias e finais, progressivas e obrigatórias;

III - realização de estudo ambiental tecnicamente adequado, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento;

IV - estabelecimento de tratamento e exigências para este lançamento;

V - fixação de prazo máximo para o lançamento, prorrogável a critério do órgão ambiental competente, enquanto durar a situação que justificou a excepcionalidade aos limites estabelecidos nesta norma; e

VI - estabelecimento de medidas que visem neutralizar os eventuais efeitos do lançamento excepcional.

Art. 7º O órgão ambiental competente deverá, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não no art. 16 desta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas para enquadramento do corpo receptor.

§ 1º O órgão ambiental competente poderá exigir, nos processos de licenciamento ou de sua renovação, a apresentação de estudo de capacidade de suporte do corpo receptor.

§ 2º O estudo de capacidade de suporte deve considerar, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos pela classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, estimando a concentração após a zona de mistura.

§ 3º O empreendedor, no processo de licenciamento, informará ao órgão ambiental as substâncias que poderão estar contidas no efluente gerado, entre aquelas listadas ou não na Resolução CONAMA nº 357, de 2005 para padrões de qualidade de água, sob pena de suspensão ou cancelamento da licença expedida.

§ 4º O disposto no § 3º não se aplica aos casos em que o empreendedor comprove que não dispunha de condições de saber da existência de uma ou mais substâncias nos efluentes gerados pelos empreendimentos ou atividades.

Art. 8º É vedado, nos efluentes, o lançamento dos Poluentes Orgânicos Persistentes- POPs, observada a legislação em vigor. Parágrafo único. Nos processos nos quais possam ocorrer a formação de dioxinas e furanos deverá ser utilizada a tecnologia adequada para a sua redução, até a completa eliminação.

Art. 9º No controle das condições de lançamento, é vedada, para fins de diluição antes do seu lançamento, a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação.

Art. 10. Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes efluentes ou lançamentos individualizados, os limites constantes desta Resolução aplicar-se-ão a cada um deles ou ao conjunto após a mistura, a critério do órgão ambiental competente.

Art. 11. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

Art. 12. O lançamento de efluentes em corpos de água, com exceção daqueles enquadrados na classe especial, não poderá exceder as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência ou volume disponível, além de atender outras exigências aplicáveis.

Parágrafo único. Nos corpos de água em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final.

Art. 13. Na zona de mistura serão admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo.

Parágrafo único. A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, quando determinado pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

Art. 14. Sem prejuízo do disposto no inciso I do parágrafo único do art. 3º desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo receptor estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes que possam, dentre outras consequências:

- I - acarretar efeitos tóxicos agudos ou crônicos em organismos aquáticos; ou II - inviabilizar o abastecimento das populações.

Art. 15. Para o lançamento de efluentes tratados em leito seco de corpos receptores intermitentes, o órgão ambiental competente poderá definir condições especiais, ouvido o órgão gestor de recursos hídricos.

Seção II

Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes

Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedecem as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas:
 1. óleos minerais: até 20 mg/L;
 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) ausência de materiais flutuantes; e
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

II - Padrões de lançamento de efluentes:

TABELA I	
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

§ 1º Os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender às condições e padrões definidos neste artigo.

§ 2º Os efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários devem atender às condições e padrões específicos definidos na Seção III desta Resolução.

§ 3º Os efluentes oriundos de serviços de saúde estarão sujeitos às exigências estabelecidas na Seção III desta Resolução, desde que atendidas as normas sanitárias específicas vigentes, podendo:

I - ser lançados em rede coletora de esgotos sanitários conectada a estação de tratamento, atendendo às normas e diretrizes da operadora do sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitários; e

II - ser lançados diretamente após tratamento especial.

Art. 17. O órgão ambiental competente poderá definir padrões específicos para o parâmetro fósforo no caso de lançamento de efluentes em corpos receptores com registro histórico de floração de cianobactérias, em trechos onde ocorra a captação para abastecimento público.

Art. 18. O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 1º Os critérios de ecotoxicidade previstos no *caput* deste artigo devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos aceitos pelo órgão ambiental, realizados no efluente, utilizando organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos diferentes.

§ 2º Cabe ao órgão ambiental competente a especificação das vazões de referência do efluente e do corpo receptor a serem consideradas no cálculo da Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR, além dos organismos e dos métodos de ensaio a serem utilizados, bem como a frequência de eventual monitoramento.

-

§ 3º Na ausência de critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental para

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

avaliar o efeito tóxico do efluente no corpo receptor, as seguintes diretrizes devem ser obedecidas:

I - para efluentes lançados em corpos receptores de água doce Classes 1 e 2, e águas salinas e salobras Classe 1, a Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR deve ser menor ou igual à Concentração de Efeito Não Observado-CENO de pelo menos dois níveis tróficos, ou seja:

a) CECR deve ser menor ou igual a CENO quando for realizado teste de ecotoxicidade para medir o efeito tóxico crônico; ou

b) CECR deve ser menor ou igual ao valor da Concentração Letal Mediana (CL50) dividida por 10; ou menor ou igual a 30 dividido pelo Fator de Toxicidade (FT) quando for realizado teste de ecotoxicidade para medir o efeito tóxico agudo;

II - para efluentes lançados em corpos receptores de água doce Classe 3, e águas salinas e salobras Classe 2, a Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR deve ser menor ou igual à concentração que não causa efeito agudo aos organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos, ou seja:

a) CECR deve ser menor ou igual ao valor da Concentração Letal Mediana-CL50 dividida por 3 ou menor ou igual a 100 dividido pelo Fator de Toxicidade-FT, quando for realizado teste de ecotoxicidade aguda.

§ 4º A critério do órgão ambiental, com base na avaliação dos resultados de série histórica, poderá ser reduzido o número de níveis tróficos utilizados para os testes de ecotoxicidade, para fins de monitoramento.

§ 5º Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos na Resolução nº 357, de 2005, não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos não se aplicam os parágrafos anteriores.

Art. 19. O órgão ambiental competente deverá determinar quais empreendimentos e atividades deverão realizar os ensaios de ecotoxicidade, considerando as características dos efluentes gerados e do corpo receptor.

Art. 20. O lançamento de efluentes efetuado por meio de emissários submarinos deve atender, após tratamento, aos padrões e condições de lançamento previstas nesta Resolução, aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura, e ao padrão de balneabilidade, de acordo com normas e legislação vigentes.

Parágrafo único. A disposição de efluentes por emissário submarino em desacordo com as condições e padrões de lançamento estabelecidos nesta Resolução poderá ser autorizada pelo órgão ambiental competente, conforme previsto nos incisos III e IV do art. 6º, sendo que o estudo ambiental definido no inciso III deverá conter no mínimo:

I - As condições e padrões específicos na entrada do emissário; II - O estudo de dispersão na zona de mistura, com dois cenários:

a) primeiro cenário: atendimento aos valores preconizados na Tabela I desta Resolução;

b) segundo cenário: condições e padrões propostos pelo empreendedor; e

III - Programa de monitoramento ambiental.

Seção III

Das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários

Art. 21. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:

I - Condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 e 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e

f) ausência de materiais flutuantes.

§ 1º As condições e padrões de lançamento relacionados na Seção II, art. 16, incisos I e II desta Resolução, poderão ser aplicáveis aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, a critério do órgão ambiental competente, em função das características locais, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

§ 2º No caso de sistemas de tratamento de esgotos sanitários que recebam lixiviados de aterros sanitários, o órgão ambiental competente deverá indicar quais os parâmetros da Tabela I do art. 16, inciso II desta Resolução que deverão ser atendidos e monitorados, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

§ 3º Para a determinação da eficiência de remoção de carga poluidora em termos de DBO_{5,20} para sistemas de tratamento com lagoas de estabilização, a amostra do efluente deverá ser filtrada.

Art. 22. O lançamento de esgotos sanitários por meio de emissários submarinos deve atender aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura e ao padrão de balneabilidade, de acordo com as normas e legislação vigentes.
Parágrafo único. Este lançamento deve ser precedido de tratamento que garanta o atendimento das seguintes condições e padrões específicos, sem prejuízo de outras exigências cabíveis:

I - pH entre 5 e 9;

II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

III - após desarenação;

IV - sólidos grosseiros e materiais flutuantes: virtualmente ausentes; e

V - sólidos em suspensão totais: eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.

Art. 23. Os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários poderão ser objeto de teste de ecotoxicidade no caso de interferência de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor, a critério do órgão ambiental competente.

§ 1º Os testes de ecotoxicidade em efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários têm como objetivo subsidiar ações de gestão da bacia contribuinte aos referidos sistemas, indicando a necessidade de controle nas fontes geradoras de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor.

§ 2º As ações de gestão serão compartilhadas entre as empresas de saneamento, as fontes geradoras e o órgão ambiental competente, a partir da avaliação criteriosa dos resultados obtidos no monitoramento.

CAPÍTULO III

DIRETRIZES PARA GESTÃO DE EFLUENTES

Art. 24. Os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o automonitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores, com base em amostragem representativa dos mesmos.

§ 1º O órgão ambiental competente poderá estabelecer critérios e procedimentos para a execução e averiguação do automonitoramento de efluentes e avaliação da qualidade do corpo receptor.

§ 2º Para fontes de baixo potencial poluidor, assim definidas pelo órgão ambiental competente, poderá ser dispensado o automonitoramento, mediante fundamentação técnica.

Art. 25. As coletas de amostras e as análises de efluentes líquidos e em corpos hídricos devem ser realizadas de acordo com as normas específicas, sob responsabilidade de profissional

legalmente habilitado.

Art. 26. Os ensaios deverão ser realizados por laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-INMETRO ou por outro organismo signatário do mesmo acordo de cooperação mútua do qual o INMETRO faça parte ou em laboratórios aceitos pelo órgão ambiental competente.

§ 1º Os laboratórios deverão ter sistema de controle de qualidade analítica implementado.

§ 2º Os laudos analíticos referentes a ensaios laboratoriais de efluentes e de corpos receptores devem ser assinados por profissional legalmente habilitado.

Art. 27. As fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível e adequado, proceder à reutilização.

Parágrafo único. No caso de efluentes cuja vazão original for reduzida pela prática de reuso, ocasionando aumento de concentração de substâncias presentes no efluente para valores em desacordo com as condições e padrões de lançamento estabelecidos na Tabela I do art. 16, desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá estabelecer condições e padrões específicos de lançamento, conforme previsto nos incisos II, III e IV do art. 6º, desta Resolução.

Art. 28. O responsável por fonte potencial ou efetivamente poluidora dos recursos hídricos deve apresentar ao órgão ambiental competente, até o dia 31 de março de cada ano, Declaração de Carga Poluidora, referente ao ano anterior.

§ 1º A Declaração referida no *caput* deste artigo conterá, entre outros dados, a caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes, baseada em amostragem representativa dos mesmos.

§ 2º O órgão ambiental competente poderá definir critérios e informações adicionais para a complementação e apresentação da declaração mencionada no *caput* deste artigo, inclusive dispensando-a, se for o caso, para as fontes de baixo potencial poluidor.

§ 3º Os relatórios, laudos e estudos que fundamentam a Declaração de Carga Poluidora deverão ser mantidos em arquivo no empreendimento ou atividade, bem como uma cópia impressa da declaração anual subscreta pelo administrador principal e pelo responsável legalmente habilitado, acompanhada da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica, os quais deverão ficar à disposição das autoridades de fiscalização ambiental.

CAPÍTULO IV

DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 29. Aos empreendimentos e demais atividades poluidoras que, na data da publicação desta Resolução, contarem com licença ambiental expedida, poderá ser concedido, a critério do órgão ambiental competente, prazo de até três anos, contados a partir da publicação da presente Resolução, para se adequarem às condições e padrões novos ou mais rigorosos estabelecidos nesta norma.

§ 1º O empreendedor apresentará ao órgão ambiental competente o cronograma das medidas necessárias ao cumprimento do disposto no *caput* deste artigo.

§ 2º O prazo previsto no *caput* deste artigo poderá ser prorrogado por igual período, desde que tecnicamente motivado.

§ 3º As instalações de tratamento de efluentes existentes deverão ser mantidas em operação com a capacidade, condições de funcionamento e demais características para as quais foram aprovadas, até que se cumpram às disposições desta Resolução.

Art. 30. O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará os infratores, entre outras, às sanções previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e em seu regulamento.

Art. 31. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 32. Revogam-se o inciso XXXVIII do art. 2º, os arts. 24 a 37 e os arts. 39, 43, 44 e 46, da Resolução CONAMA nº 357, de 2005.

Sobral, D. M. Clarificação de águas de reuso hospitalar empregando cinzas...

IZABELLA TEIXEIRA
Presidente do Conselho

ESSE TEXTO NÃO SUBSTITUI
O PUBLICADO NO DOU N° 92,
EM 16/05/2011, pág. 89