

## **I-085 SELEÇÃO DE UM MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO DE UMA CÂMARA ULTRASSÔNICA DE DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE LAVANDERIAS HOSPITALARES**

**Yago Fraga Ferreira Brandão<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestrando em Desenvolvimento de Processos Ambientais na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). Pesquisador associado do Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação (IATI).

**Vívian Jacques Gonçalves<sup>(2)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Católica de Pernambuco.

**Valdemir Alexandre dos Santos<sup>(3)</sup>**

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

**Leonardo Bandeira dos Santos<sup>(4)</sup>**

Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais pela Universidade Católica de Pernambuco.

**Manoel Pereira de Andrade Filho<sup>(5)</sup>**

Mestre em em Ciência e Tecnologia em Saúde pela Universidade Estadual da Paraíba.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua João Fernandes Vieira, 544 – Boa Vista– Recife - PE - CEP: 50050-245 - Brasil - Tel: +55 (81) 99976-8848 - e-mail: [yagoffb9@gmail.com](mailto:yagoffb9@gmail.com)

### **RESUMO**

Devido a escassez de água em determinadas localizações geográficas, o grande aumento populacional e, consequentemente, o aumento das instalações médico-hospitalares, a carga microbiana gerada nos efluentes abala diretamente a saúde pública. Questões como a escolha dos métodos para processamento das vestimentas utilizadas nos ambientes médico-hospitalares, assim como a escolha de materiais para utilização nas superfícies dos equipamentos, motivaram o presente estudo. Lavanderias hospitalares são responsáveis pelo processamento de roupas utilizadas em serviços hospitalares, devendo sua redistribuição ser realizada em excelentes condições de higiene, conservação e limpeza. O emprego das técnicas de propagação de ondas acústicas (por ultrassom) vêm sendo bastante difundido no campo do tratamento de águas residuais e tem se mostrado bastante promissor no auxílio à desinfecção dos mais variados processos físico-químicos. Experimentos utilizando-se de transdutores ultrassônicos, fitas de alumínio, tubulação e água foram realizados para verificação da resistência desse material à cavitação. Acrescido ao levantamento bibliográfico, após análise dos parâmetros do alumínio e do aço austenítico (AISI 316L), foi constatado e por conseguinte, selecionado o segundo, como material propício para uso em equipamentos e superfícies destinados a lavanderias hospitalares e ambientes médico-hospitalares.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lavanderia Hospitalar, Transdutor Ultrassônico, Ondas Acústicas, Cavitação, Desinfecção de Águas.

### **INTRODUÇÃO**

As indústrias possuem uma grande influência no quantitativo de água residual que é descartada mundialmente. Apesar da legislação ser restritiva em relação à qualidade e a forma que os efluentes devem ser lançados na natureza, o mal gerenciamento desses materiais provoca um enorme potencial para a degradação do meio ambiente. Desta forma, as indústrias são desafiadas a prover tratamentos compatíveis aos seus efluentes produzidos de forma a ser sustentáveis, reduzindo também os custos desses processos de tratamento e mesmo assim mantendo a sua qualidade no mercado (TCHOBANOGLOUS; BURTON; STENSEL, 2002).

As lavanderias industriais constituem um ramo da indústria química que a partir do beneficiamento de consórcios microbianos, visam a degradação de matérias orgânicas para que as especificações das condições e padrões de lançamento de efluentes, normatizados na resolução do CONAMA 430/2011 sejam atendidas. A complexidade desses efluentes é proveniente das características individuais e reacionais de seus componentes, a exemplo de óleos, graxas, corantes e surfactantes (RIBEIRO; CORRÊA, 2013).

Uma vertente dessas lavanderias industriais é englobada pelas denominadas lavanderias hospitalares. Estas, de acordo com o Ministério da Saúde (1986) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa (2009), constituem-se como unidades de processamento de roupas utilizadas em serviços médicos (hospitais, clínicas e locais que prestam assistência médica), localizada *in* ou *extra loco*. Tendo em vista que o material recebido possui entre suas características, cargas biológicas, químicas e radioativas, o manejo e o processamento devem ser adequados de forma a eliminar ou ao menos a minimizar os danos que os mesmos podem causar à saúde e ao meio ambiente.

No tocante aos aparelhos de ultrassom, seus pulsos de alta frequência podem ser de grande valia no auxílio a determinados processos de separação ou filtração de soluções e de esterilização do meio, bem como na cinética de determinadas reações químicas (LEONG; ASHOKKUMAR; KENTISH, 2011). De acordo com a literatura, a utilização de ultrassom nos processos de pasteurização (pasteurização ultrassônica) mostrou-se efetiva ao auxiliar na descontaminação e desinfecção de instrumentos e vestimentas médico-hospitalares e no processamento de comidas e bebidas, assim como em qualquer outro objeto que possa ser inserido em solução aquosa à elevadas temperaturas. Seu auxílio no processo de filtração também pode ser destacado ao melhorar de forma considerável a eficácia dos filtros microporosos de cerâmica no tratamento de água de efluentes (ROCHA; MARQUES; SILVA, 2009).

Tendo em vista os preceitos a cerca das indústrias e seus efluentes, o estudo em questão ater-se-á problemática da região industrial localizada entre a Zona da Mata e o Sertão do estado de Pernambuco. De acordo com o Instituto de Tecnologia de Pernambuco - Itep (2019), o Agreste Central e Setentrional de Pernambuco é palco de um grande Arranjo Produtivo Local (APL) no segmento têxtil, demandando necessariamente de lavanderias industriais. Por essa localização, um dos principais provedores, e nesse caso natural, de água para o funcionamento dessas indústrias é o rio Capibaribe.

Devido ao crescimento populacional proporcionado, principalmente, por esse APL, instalações hospitalares e clínicas médicas passaram a fazer parte da cidade de Caruaru e região. Resultando assim em mais uma fonte de efluentes à localidade. Dispondo de um mal gerenciamento de efluentes na área, tanto por parte das indústrias quanto por parte dos órgãos fiscalizadores, a poluição do rio vem atingindo patamares alarmantes e isso pode ser facilmente observado na coloração e no odor proveniente do mesmo (SILVA, 2017).

## **OBJETIVO(S)**

Visando o estudo da viabilidade de tratamentos alternativos serem implementados às lavanderias industriais, para que as águas e os efluentes possam tornar-se de reuso, principalmente às hospitalares, faz-se necessária investigação dos efeitos proporcionados pelos aparelhos de ultrassom à esses processos. O objetivo geral deste trabalho foi selecionar um material adequado para a fabricação de uma câmara de desinfecção ultrassônica de águas residuais de lavanderias hospitalares; Para alcançar o referido objetivo foi necessário o levantamento bibliográfico das características de alguns materiais selecionados, relacionando assim, as velocidades de propagação das ondas através dos mesmos. Por fim, foi realizado testes experimentais de resistência à corrosão por ultrassom com o alumínio.

## **METODOLOGIA**

### **PRIMEIRA ETAPA: LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

#### **VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DO ULTRASSOM NO ALUMÍNIO E NO AÇO CIRÚRGICO (AISI 316L)**

A velocidade de propagação de ondas acústicas depende diretamente do arranjo estrutural da estrutura em questão. Quanto mais compacta for a estrutura, maior a facilidade das ondas acústicas se propagarem. Tomando como base a velocidade de propagação dessas ondas no ar (300 metros por segundo), sabe-se que essa velocidade é maior em meios sólidos ou líquidos, a exemplo do aço e da água. Para esse primeiro, temos como velocidade de propagação longitudinal 1480 metros por segundo; Enquanto que para o aço, a propagação longitudinal possui velocidade de 5920 metros por segundo, a propagação transversal equivale a 3230 metros por segundo (MORAIS, RODRIGUES, POSSANI, CORREIA, 2017 *apud* BOLLER, 2009; MARTIN, 2012).

Alguns parâmetros, como a temperatura, são diretamente influentes na velocidade de propagação das ondas sonoras. Nesse caso, há uma correlação inversa, ou seja, a medida em que se obtém altos valores de temperatura, a velocidade passa a possuir valores mais baixos.

Padrões constitutivos dos meios materiais provocam variações na maneira e na velocidade de propagação das ondas acústicas. Essas maneiras de propagação: longitudinal, transversal e superficial, estão detalhadas nas seguintes equações (1, 2 e 3), respectivamente:

$$v_l = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad \text{equação (1)}$$

$$v_r = \frac{G}{\rho} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{1-2\mu}{2(1-\mu)}} v_l \quad \text{equação (2)}$$

$$v_s = \left( \frac{0,87 + 1,12\mu}{1 + \mu} \right) v_r \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

$$v_l = \text{velocidade de fase da onda longitudinal} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right];$$

$$v_r = \text{velocidade de fase da onda transversal} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right];$$

$$v_s = \text{velocidade de fase da onda superficial} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right];$$

$$E = \text{módulo de elasticidade} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right];$$

$\mu$  = coeficiente de Poisson;

$$G = \text{módulo de rigidez} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right];$$

$$\rho = \text{massa específica} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right].$$

## PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE METAIS E LIGAS

As ondas sônicas percorrem meios diferentes até penetrar no material a ser inspecionado e durante esse caminho somente parte dessa onda é absorvida pelo material em questão. A impedância acústica, como mostrado na equação a seguir (4), está associada a razão entre a pressão sônica e a velocidade da partícula. Alguns valores de impedância acústica estão descritos, por material, na Tabela 1.

$$Z = \rho v \quad \text{equação (4)}$$

Em que:

$$Z = \text{impedância acústica característica do meio} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \right];$$

$$\rho = \text{massa específica} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right];$$

$$v = \text{velocidade de fase da onda} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right].$$

Essas propriedades acústicas dos metais e ligas são influenciadas por variações na estrutura e condições metalúrgicas. Segundo Moraes, Rodrigues, Possani e Correia (2017) "A cada 50° C, de diferença, os metais costumam perder cerca de 1% de velocidade de propagação sônica, já nos polímeros essa perda sobe para 4%". Consequentemente, para uma determinada peça, as propriedades podem ser diferentes dos valores conhecidos na bibliografia.

**Tabela 1 - Impedância acústica por material.**

<b>Material</b>	<b>Impedância Acústica x 10<sup>6</sup> (Kg/m<sup>2</sup>s)</b>
Alumínio	17064
Aço Carbono	46472
Aço Inoxidável Austenítico	44556
Água	1480
Acrílico	3221
Ferro Fundido	3657
Níquel	49544
Óleo Automotivo	1514

Fonte: Adaptação por Vivian Gonçalves.

Os coeficientes de reflexão e transmissão (baseado nas pressões) devem ser levados em consideração quando há incidência normal das ondas. As equações (5 e 6), a seguir, determinam esses coeficientes:

$$R = \frac{P_r}{P_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad \text{equação (5)}$$

$$R = \frac{P_t}{P_i} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad \text{equação (6)}$$

Em que:

R = coeficiente de reflexão (para pressão);

T = coeficiente de transmissão (para pressão);

P<sub>i</sub> = amplitude da onda de pressão do feixe incidente [Pa];

P<sub>r</sub> = amplitude da onda de pressão do feixe refratado [Pa];

P<sub>t</sub> = amplitude da onda de pressão do feixe transmitido [Pa];

$$Z_1 = \text{impedância acústica característica do meio 1} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}} \right];$$

$$Z_2 = \text{impedância acústica característica do meio 2} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}} \right].$$

## COMPORTAMENTO DO ALUMÍNIO DIANTE DA CAVITAÇÃO ULTRASSÔNICA

Devido ao custo e leveza de uma chapa de alumínio, além de apresentar impedância acústica próxima à do AISI 216L, foi necessário testar experimentalmente a resistência deste material diante da agressividade do fenômeno de cavitação. As altas temperaturas e variações de pressão que ocorrem na fase líquida durante a cavitação sônica, não agredem estruturas construídas em aços inoxidáveis. Isto se pode constatar observando-se que as cubas de lavagens ultrassônicas, utilizadas para desincrustações de circuitos eletrônicos, são confeccionadas deste material.

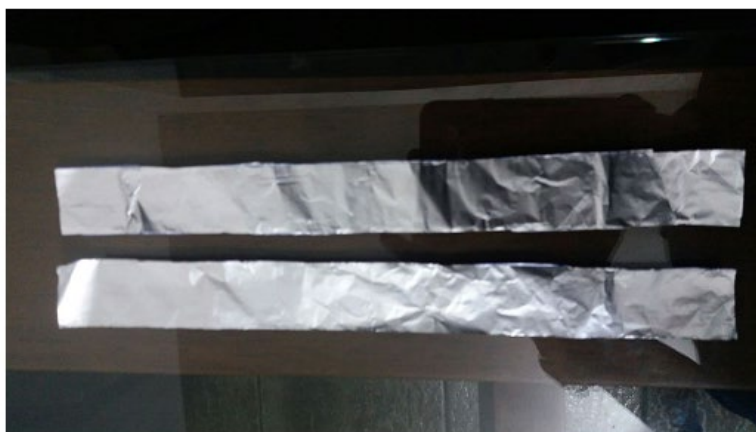
## SEGUNDA ETAPA: ESTUDOS ATRAVÉS DE ARRANJO EXPERIMENTAL

### Testes Experimentais do Alumínio em Meio Líquido com Cavitação Sônica

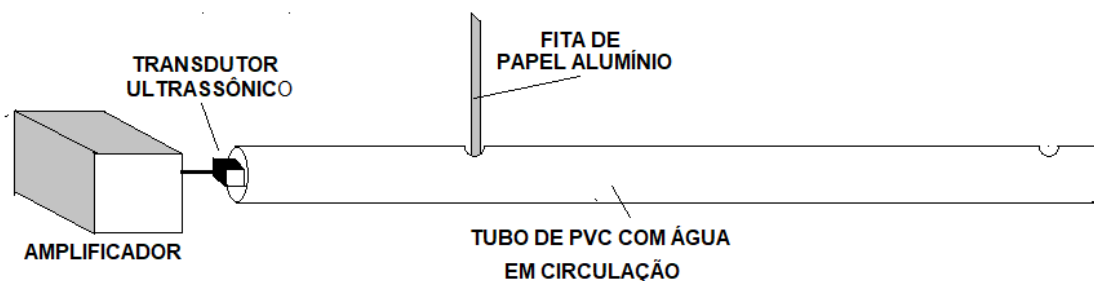
Para definição de uma condição importante para comparação entre o alumínio e o aço inoxidável, tiras de alumínio (Figura 1) foram submetidas a um ambiente onde foi gerada cavitação sônica. Para isso, foi construído um arranjo experimental descrito na seguinte Figura 2.

No referido arranjo, uma bomba centrífuga pequena e um pequeno circuito de tubos plásticos e acessórios (válvulas, tês e curvas) permitiram a circulação contínua de água. Após o ponto de descarga da bomba, o trecho de 100 mm na tubulação, permitiu a colocação de dois transdutores de 50 watts [W] cada. Foram deixadas duas aberturas na parte superior da tubulação, permitindo assim o contato das tiras de alumínio com a água impulsionada na direção do percurso de fluxo ultrassônico. Essas aberturas foram situadas linearmente, respectivamente, a vinte (20) e cem (100) milímetros dos transdutores de ultrassom. Por estarem situadas à diferentes distâncias dos transdutores, essas aberturas permitiram a análise da resistência do material à condições distintas do fenômeno de cavitação sônica gerado.

Numa das extremidades do tubo e a cerca de 20 cm da primeira abertura foram instalados os transdutores ultrassônicos. Uma segunda abertura ficou a cerca de 120 cm, em linha reta, dos transdutores ultrassônicos. O objetivo das aberturas era de se introduzir as fitas de alumínio laminado para monitorar as intensidades dos fluxos ultrassônicos e, conseqüentemente os efeitos da cavitação sobre as referidas fitas. Caso o alumínio fosse sensível ao fenômeno de cavitação em líquidos, observações ao microscópio poderiam indicar tais danos, após as fitas serem mergulhadas em um meio líquido onde ocorria a cavitação.



**Figura 1 - Tiras de alumínio para uso por imersão no fluxo de água contendo cavitação sônica.**  
Fonte: Própria.

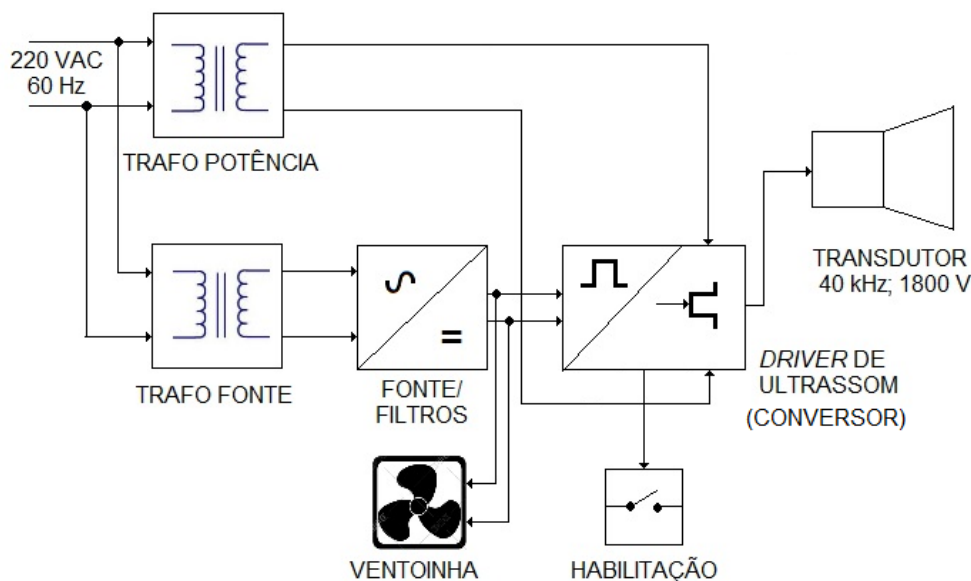


**Figura 2 - Arranjo experimental para monitoramento da resistência do alumínio à cavitação sônica, a duas diferentes distâncias do transdutor ultrassônico.**

### Circuito Gerador de Ultrassom

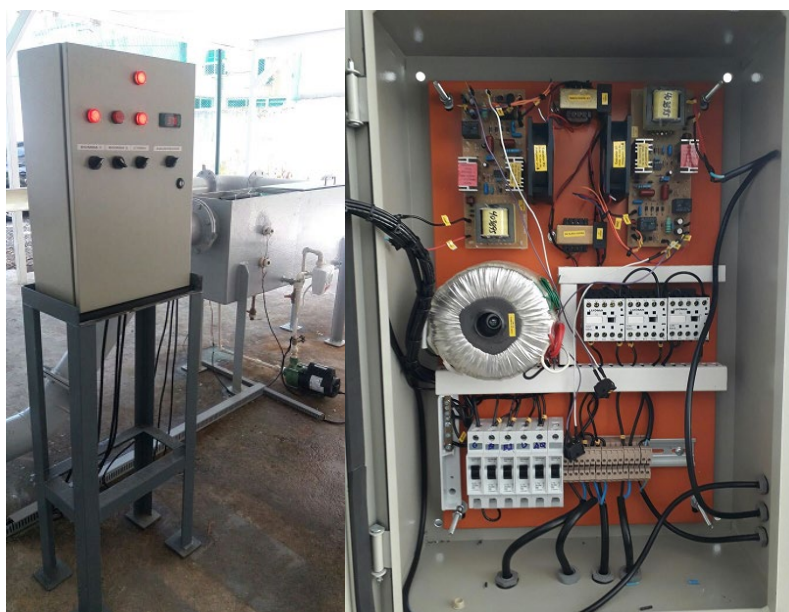
Um gerador de ultrassom foi construído (Figura 3). Para isto, uma fonte de alimentação, 110 - 220 Volts 50 Hz a 60 Hz, foi utilizada para converter o sinal de entrada para 20 kHz a 40 kHz, 1000 - 1800 Volts do sinal

elétrico. Este sinal foi aplicado a uma cerâmica piezelétrica (incluído no conversor) que converteu o sinal para oscilações mecânicas. Estas oscilações foram amplificadas por um conversor, criou assim uma espécie de “martelo”. O conversor transformou energia elétrica em vibração mecânica de alta frequência.



**Figura 3 - Esquema com os principais componentes elétricos de um gerador de ondas ultrassônicas.**

A Figura 4 ilustra o quadro de comando elétrico que foi utilizado durante os experimentos, sendo ele responsável pelo controle da geração e da transmissão das ondas ultrassônicas.



**Figura 4 - Quadro de comando elétrico do sistema de geração de ondas ultrassônicas: (A) Vista externa; (B) Vista interna**  
Fonte: Própria.

## RESULTADOS

### Critérios para escolha do material - Questões operacionais (hospitais)

Posteriormente à revisão da literatura e conversação com profissionais responsáveis por operações de lavanderias hospitalares, alguns tópicos tornam-se essenciais para a escolha de um material na confecção de



equipamentos de lavanderias hospitalares. Podemos citar, dentre eles: a versatilidade, podendo ser aplicado de várias maneiras e em diferentes equipamentos; O baixo risco de contaminação quando comparado a outros materiais; A baixa taxa de oxidação e manutenção (economizando no orçamento hospitalar); Alta resistência à corrosão; Ser ambientalmente amigável; Possuir manutenção, comprovada cientificamente, nas propriedades antimicrobianas; Não ser magnético (necessário para uso em salas de cirurgias); Alta resistência à temperaturas elevadas; Manutenção longa da sua forma; Facilidade na higienização e limpeza; Superfície não porosa (prevenção à adesão de agentes patogênicos).

### **Comportamento do alumínio em ambiente de cavitação ultrassônica**

Na tubulação de 100 mm (Figura 5), com o sistema de produção de ultrassom funcionando, as fitas de alumínio foram introduzidas na primeira entrada superior do tubo, permitindo assim, um contato com a água em circulação na direção do percurso do fluxo de ultrassom. O alumínio mostrou-se sensível ao fenômeno de cavitação em líquidos, sendo danificado em apenas alguns segundos. A Figura 6 ilustra as condições das tiras de alumínio após exposição ao fluxo de água com a ocorrência de cavitação sônica.



**Figura 5 - Tubulação de 100 milímetros e arranjo utilizado para experimentos.**  
Fonte: Própria.



**Figura 6 - Danos causados pelo fluxo de água onde ocorria cavitação sônica produzido por transdutores de 50 W a uma frequência de 35 kHz.**  
Fonte: Própria.

### **CONCLUSÕES**

As técnicas que envolvem ondas ultrassônicas têm sido cada vez mais difundidas no meio industrial e médico-hospitalar. Sua aplicabilidade, como foi mostrado, vai muito além da detecção e inspeção material. Visando a problemática do tratamento de águas que possuem altas cargas microbianas, no campo das lavanderias

hospitalares, seu uso possui grande potencial por otimizar tempo e custos durante os tratamentos químicos e físicos que são realizados às vestimentas.

O embasamento teórico realizado, as conversas e entrevistas com os profissionais da área de lavanderia hospitalar e os dados obtidos após os experimentos, permitiu a escolha do material para construção de uma câmara ultrassônica de desinfecção, sendo ele o aço inoxidável (AISI 316L).

Questões como: uma maior eficiência na propagação das ondas em meios que possuem altas impedâncias acústicas, a alta resistência do material à cavitação, ser amigável ao meio ambiente, sua resistência ao calor e a não disposição de propriedades magnéticas foram fundamentais para que o aço austenítico se sobressaísse ao alumínio.

Após a realização dos experimentos, isso foi confirmado, uma vez que o alumínio sofreu bastante com a cavitação provocada durante o escoamento contínuo da água. Esses danos são bastante consideráveis para o desenvolvimento de focos de contaminação, dificultando assim a assepsia de todo o sistema.

Sugere-se para futuros trabalhos o desenvolvimento de novos testes para comparação dos efeitos de propagação transversais, longitudinais e superficiais, nas superfícies sólidas, com os efeitos da própria cavitação sônica sobre os micro-organismos provenientes das águas residuais hospitalares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANVISA (Brasil). Processamento de roupa do serviço de saúde: prevenção e controle de riscos: 2009. Brasília: Série Tecnologia em Serviços de Saúde, ed. 1, 102 p., 2009.
2. INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - Itep. Acessado em: 04/2019. Disponível em: <http://www.itep.br/componentes>
3. LEONG, T.; ASHOKKUMAR, M.; KENTISH, S. The fundamentals of power ultrasound - a review. *Acoustics Australia*, v. 39, n. 2, p. 54-63, 2011.
4. MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Manual de lavanderia hospitalar: 1986. Brasília: Centro de Documentação do Ministério da Saúde, 1986, 45 p. .
5. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 430: 2011. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 2011. 9 p.
6. MORAIS, D; RODRIGUES, D. L.; POSSANI, D.; CORREIA, F. C.; Ondas ultrassônicas: teoria e aplicações industriais em ensaios não-destrutivos. *Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada*, Ponta Grossa, v. 4, n. 1, p. 16-33, 2017.
7. RIBEIRO, C. P. B.; CORRÊA, M. de F. Avaliação do sistema de lodo ativado de uma lavanderia industrial através da caracterização físico-química e microbiológica. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2013.
8. ROCHA, I. C. C.; MARQUES, J. J.; SILVA, A. S. Effects of ultrasound on the performance improvement of wastewater microfiltration through a porous ceramic filter. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 26, n. 04, p. 641-648, outubro/dezembro 2009.
9. SILVA, W. J. da. Poluição por particulados químicos no rio Capibaribe lançados pelas lavanderias industriais têxteis na cidade de Toritama. III Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, v. 1, 2017.
10. TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4 ed. McGraw Hill Higher Education, 2002. p. 1-24, 1408 p.