



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

THAIS VIEIRA OMIDO

**CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA NA DEGRADAÇÃO
DE CAFEÍNA E AZUL DE METILENO**

CAMPINAS

2023

THAIS VIEIRA OMIDO

**CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA NA DEGRADAÇÃO
DE CAFEÍNA E AZUL DE METILENO**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho

Coorientador: Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA THAIS VIEIRA OMIDO E ORIENTADA PELO PROF. DR. JOSÉ GILBERTO DALFRÉ FILHO.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS

2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Om5c Omido, Thais Vieira, 1993-
Cavitação hidrodinâmica na degradação de cafeína e azul de metileno /
Thais Vieira Omido. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: José Gilberto Dalfré Filho.
Coorientador: Adriano Luiz Tonetti.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Cavitação. 2. Jatos. 3. Hidráulica. 4. Saneamento. 5. Contaminantes
emergentes. I. Dalfré Filho, José Gilberto, 1976-. II. Tonetti, Adriano Luiz,
1973-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Hydrodynamic cavitation for caffeine and methylene blue
degradation

Palavras-chave em inglês:

Cavitation

Jets

Hydraulics

Sanitation

Emerging contaminants

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Mestra em Engenharia Civil

Banca examinadora:

José Gilberto Dalfré Filho [Orientador]

José Roberto Guimarães

Lubienska Cristina Lucas Jaquie Ribeiro

Data de defesa: 10-11-2023

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0009-0001-3440-9539>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4819585652542645>

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA NA DEGRADAÇÃO DE
CAFEÍNA E AZUL DE METILENO

Thais Vieira Omido

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho
Presidente e Orientador/FECFAU/UNICAMP

Prof. Dr. José Roberto Guimarães
FECFAU/UNICAMP

Profa. Dra. Lubienska Cristina Lucas Jaquie Ribeiro
FT/UNICAMP

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 10 de novembro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho, pela orientação e confiança.

Ao Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti, pela orientação e sugestões.

À Profa. Dra. Ana Inés Borri Genovez, pelo acompanhamento.

Ao Prof. Dr. José Roberto Guimarães, pelas contribuições.

Aos técnicos Marcelo Balbino e Carlos Alcaide, do Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos, e Fernando Candello, Daniel Bueno e Tiago Brito, do Laboratório Multiusuário de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, pela ajuda.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, pela disposição.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de Mestrado concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo Auxílio à Pesquisa Regular, processo 2019/12166-7.

Ao amigo Anderson Vinha Pires, pela companhia.

Aos meus pais, Telma e Agleison, e aos meus irmãos, Mariana e Gabriel, por tudo.

RESUMO

A manutenção da qualidade da água é um importante desafio e têm surgido, mais recentemente, grandes adversidades. Estudos evidenciam a presença, cada vez mais marcante, de contaminantes que não são eliminados pelos sistemas de tratamento tradicionais de água para consumo humano, como é o caso da cafeína e do azul de metileno. Nesse sentido, uma das técnicas alternativas ao tratamento de água tradicional é a cavitação. Durante esse fenômeno, há a geração de radicais livres, altamente reativos, que, aliados à turbulência gerada, podem proporcionar as condições para a decomposição de certas substâncias indesejadas na água. Assim, nesta pesquisa, avaliou-se o efeito da cavitação hidrodinâmica, gerada com o emprego um equipamento tipo jato cavitante, na degradação de cafeína e de azul de metileno, variando parâmetros do equipamento como configuração de bocais e pressão (5 a 25 MPa). Ainda, o potencial sinérgico da combinação de tratamentos foi investigado, sendo a cavitação aliada a agentes oxidantes, para degradação de cafeína, e à luz, para degradação de azul de metileno. Neste trabalho, não foi possível degradar as substâncias nas condições testadas.

Palavras-chave: jato cavitante, hidráulica, saneamento, contaminantes emergentes, estudo experimental

ABSTRACT

Ensuring the access to safe water is a great challenge, and there have been more adversities lately. Studies indicate the growing presence of several pollutants that can't be removed by traditional treatment methods, ending up in drinking water, such as caffeine and methylene blue. Hydrodynamic cavitation is one of the alternative techniques to traditional water treatment. The generation of highly reactive free radicals, along with bubble collapse, provides the conditions for the degradation of unwanted compounds in water. Therefore, in this research, the effect of hydrodynamic cavitation, caused by a cavitating jet, on the degradation of caffeine and methylene blue was evaluated, varying parameters such as nozzle configuration and pressure (5 to 25 MPa). Furthermore, the synergic effect of the combination of treatment techniques, in this case, cavitation in addition to an oxidant, was investigated for caffeine degradation and cavitation in addition to photolysis was investigated for methylene blue degradation. In this study, it was not possible to degrade the tested substances under the given conditions.

Key words: cavitating jet, hydraulics, water and sanitation, emerging contaminants, experimental study

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1. Formação do jato cavitante | 31 |
| Figura 2. Esquema do equipamento utilizado por Batista, Anhô e Gonçalves (2017)..... | 36 |
| Figura 3. a) Esquema do equipamento, b) detalhe do bocal e c) reservatório de inativação usados por Dalfré Filho, Assis e Genovez (2015)..... | 37 |
| Figura 4. Compostos intermediários resultantes da degradação de ibuprofeno por cavitação.40 | |
| Figura 5. Efluentes antes e depois de tratamento híbrido (cavitação hidrodinâmica e Fenton)41 | |
| Figura 6. Esquema do equipamento utilizado por Alves <i>et al.</i> (2019)..... | 42 |
| Figura 7. Esquema do equipamento tipo jato cavitante..... | 46 |
| Figura 8. Foto do equipamento tipo jato cavitante | 47 |
| Figura 9. Esquema das configurações de bocais a) tridimensional e b) plana (medidas em dm) | 47 |
| Figura 10. Bocal de geometria cônica de 132° | 48 |
| Figura 11. Esquema de ensaios com a cafeína | 50 |
| Figura 12. Esquema de ensaios com o azul de metileno | 51 |
| Figura 13. Esquema de ensaios com o azul de metileno | 52 |
| Figura 14. Análise de varredura de solução de cafeína a 10 mg/L no espectrofotômetro..... | 53 |
| Figura 15. Curva de calibração da cafeína | 53 |
| Figura 16. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com bocal único e diferentes pressões..... | 54 |
| Figura 17. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração tridimensional com 6 bocais e diferentes pressões..... | 55 |
| Figura 18. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração plana com 8 bocais e diferentes pressões | 55 |
| Figura 19. Resultados de degradação de cafeína por agentes oxidantes | 58 |
| Figura 20. Resultados de degradação dos ensaios de cavitação e hipoclorito de sódio | 59 |
| Figura 21. Resultados de degradação dos ensaios de cavitação e persulfato de potássio | 60 |
| Figura 22. Análise de varredura das amostras do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com persulfato de potássio | 61 |
| Figura 23: <i>Mixer</i> instalado no reservatório do equipamento tipo jato cavitante | 62 |
| Figura 24: Resultados de absorbância obtidos ao coletar amostras de pontos diferentes do reservatório durante o uso do <i>mixer</i> e posterior recirculação..... | 63 |
| Figura 25. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com bocal único e diferentes pressões..... | 64 |
| Figura 26. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração tridimensional com 6 bocais e diferentes pressões..... | 64 |
| Figura 27. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração plana com 8 bocais e diferentes pressões | 65 |
| Figura 28: Análise de varredura dos ensaios realizados com bocal único e diferentes pressões | 65 |
| Figura 29: Análise de varredura dos ensaios realizados com configuração tridimensional com 6 bocais e diferentes pressões..... | 66 |

| | |
|--|----|
| Figura 30: Análise de varredura dos ensaios realizados com configuração plana com 8 bocais e diferentes pressões | 67 |
| Figura 31: Análise de varredura de solução de azul de metileno a 10 mg/L no espectrofotômetro | 68 |
| Figura 32: Curva de calibração do azul de metileno | 69 |
| Figura 33: Resultado do ensaio de degradação de azul de metileno por cavitação com três configurações de bocais a 25 MPa | 70 |
| Figura 34: Resultado do ensaio de degradação de azul de metileno por fotólise..... | 71 |
| Figura 35: Resultado do ensaio de degradação de azul de metileno por cavitação e fotólise .. | 72 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| CAV | Cavitação |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| COD | Carbono orgânico dissolvido |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| DQO | Demanda química de oxigênio |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| FAPESP | Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo |
| FECFAU | Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo |
| HAC | <i>Hydrodynamic-acoustic cavitation</i> |
| LABSAN | Laboratório Multiusuário de Saneamento |
| LED | <i>Light-emitting Diode</i> |
| LHMF | Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| OH | Radical hidroxila |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| pH | Potencial hidrogeniônico |
| POAs | Processos oxidativos avançados |
| Sabesp | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| TOC | Carbono orgânico total |
| Unicamp | Universidade Estadual de Campinas |
| UV | Ultravioleta |
| UV-Vis | Ultravioleta visível |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------|--------------------------------|
| σ | Índice de cavitação |
| ρ | Massa específica |
| P_e | Pressão no interior do jato |
| P_v | Pressão de vapor |
| v_e | Velocidade no interior do jato |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | 8 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | 10 |
| LISTA DE SÍMBOLOS | 11 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 1.1 OBJETIVOS | 16 |
| 1.1.1 Objetivo geral..... | 16 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 16 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 Contaminantes não legislados presentes na água | 17 |
| 2.1.1 Cafeína | 19 |
| 2.1.2 Azul de metileno | 24 |
| 2.2 Tratamento de água e efluentes | 25 |
| 2.2.1 Tratamentos usualmente empregados | 25 |
| 2.2.2 Tratamentos alternativos | 26 |
| 2.3 A cavitação | 29 |
| 2.3.1 O jato cavitante..... | 31 |
| 2.3.2 Aplicação da cavitação hidrodinâmica no tratamento de água e efluentes | 32 |
| 3 METODOLOGIA..... | 43 |
| 3.1 Cafeína | 43 |
| 3.1.1 Testes iniciais | 44 |
| 3.1.2 Ensaios de degradação de cafeína por cavitação..... | 45 |
| 3.1.3 Ensaios de degradação de cafeína por agentes oxidantes | 49 |
| 3.1.4 Ensaios de degradação de cafeína por cavitação associada a agentes oxidantes | 50 |
| 3.2 Azul de metileno | 51 |
| 3.2.1 Ensaios de degradação do azul de metileno por cavitação..... | 51 |
| 3.2.2 Ensaios de degradação do azul de metileno por fotólise empregando luz artificial | 51 |
| 3.2.3 Ensaios de degradação do azul de metileno por cavitação associada à fotólise | 52 |
| 4 RESULTADOS | 52 |
| 4.1 Cafeína | 52 |
| 4.1.1 Testes iniciais | 52 |

| | |
|---|----|
| 4.1.2 Ensaio de degradação de cafeína por cavitação..... | 54 |
| 4.1.3 Ensaio de degradação de cafeína por agente oxidante..... | 58 |
| 4.1.4 Ensaio de degradação de cafeína por cavitação associada a agentes oxidantes | 59 |
| 4.1.5 Homogeneização da solução de teste e novos ensaios de degradação | 62 |
| 4.2 Azul de metileno | 67 |
| 4.2.1 Testes iniciais | 67 |
| 4.2.2 Ensaio de degradação do azul de metileno por cavitação..... | 69 |
| 4.2.3 Ensaio de degradação do azul de metileno por fotólise..... | 70 |
| 4.2.4 Ensaio de degradação do azul de metileno por cavitação associada à fotólise | 71 |
| 5 CONCLUSÕES | 72 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |
| ANEXO | 85 |

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água de qualidade é um dos grandes desafios técnicos da humanidade. Sua importância para a saúde, o bem-estar e o desenvolvimento é sabida (WHO, 2019). O cenário de escassez hídrica, a crescente contaminação de mananciais, o crescimento populacional acelerado e a introdução de novas substâncias no mercado tornam esses desafios cada vez mais complexos e custosos. Logo, o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas ao tratamento de água é essencial.

Assegurar disponibilidade e gestão sustentável e saneamento para a população é um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (Organização das Nações Unidas), contidos na Agenda 2030 Para o Desenvolvimento Sustentável, dadas a urgência e a importância da abordagem do tema. Entre as metas, estão o acesso à água potável e segura para todos e a melhora da qualidade da água (ONU, 2015).

Não obstante, há, ainda, a preocupação com contaminantes não legislados, ou seja, para os quais não há definição de limites seguros para a exposição humana definidos. São considerados nesse grupo os pesticidas, fármacos, hormônios, nanomateriais, produtos de higiene pessoal, plastificantes entre outros (MACHADO *et al.*, 2016). A maioria desses poluentes não é removida pelos sistemas de tratamento tradicionais de água e esgoto, fazendo com que essas substâncias estejam presentes na água considerada própria para consumo.

Não se conhecem ao certo, neste estágio, os efeitos que a exposição a essas substâncias pode causar no organismo humano, apesar de estudos indicarem danos causados em organismos aquáticos (ALVES FILHO, 2012). Assim, pesquisas com métodos alternativos ou complementares aos métodos tradicionais de tratamento de água são necessárias.

Uma técnica que pode ser abordada é a aplicação do fenômeno da cavitação para a degradação de compostos indesejáveis e para a inativação de bactérias em água. A cavitação ocorre em um escoamento quando a pressão decresce até a pressão de vapor, provocando vaporização do líquido. Eventualmente, se a pressão do líquido aumenta, as bolhas formadas pela vaporização colapsam internamente (WHITE, 2011). Esse colapso é, normalmente, relacionado a danos em sistemas hidráulicos, pois causa efeitos indesejáveis, como ruído, vibração e erosão. Porém, neste projeto, explora-se uma aplicação útil da cavitação, na degradação de certos compostos. Durante a implosão das bolhas, as ondas de alta pressão e os microjatos gerados e a liberação de radicais hidroxila, responsáveis pela oxidação de

compostos, aliados à turbulência, proporcionam, sob determinadas condições, a decomposição de substâncias indesejadas em água (AGARWAL; NG; LIU, 2011).

A cafeína é um exemplo de substância resistente ao tratamento tradicional de água, que pode ser encontrada na água potável. A princípio, ela não é nociva para o ser humano nas concentrações usualmente encontradas em corpos hídricos, mas a sua presença na água pode ser um indicativo da presença também de outros contaminantes, além de ser facilmente estudada em laboratório.

Existem estudos em que foram propostos a degradação de cafeína utilizando diversos métodos, como processos oxidativos avançados (NAM *et al.*, 2017; SOUZA; FÉRIS, 2015), adsorção (FRANÇOIS *et al.*, 2016) e separação por membrana (KAMIŃSKA; ADAMCZAK; BOHDZIEWICZ, 2018). Por outro lado, Gaekwad e Patel (2015), Dular *et al.* (2016), Musmarra *et al.* (2016), Kosel *et al.* (2017), entre outros, apontam a eficácia da cavitação na inativação de bactérias, na decomposição de corantes e na degradação de substâncias nocivas à saúde, comprovando a viabilidade do uso da técnica para tais finalidades. Além disso, Assis (2014), Dalfré Filho, Assis e Genovez (2015) e Gratieri *et al.* (2018) empregaram com sucesso o equipamento tipo jato cavitante, em que um jato submerso de alta velocidade gera cavitação, para inativação de bactérias.

O azul de metileno é um exemplo de corante empregado na indústria têxtil, cujos efluentes são tóxicos à biota aquática, diminuem a concentração de oxigênio dissolvido na água e modificam as propriedades e características dos corpos hídricos (OLIVEIRA, 2006). Esse composto tem sido utilizado, também em diversas outras aplicações na biologia, na química, na medicina, entre outros. Esse composto não é degradado pelos processos convencionais de tratamento de água, sendo responsável por potencial poluição ambiental (HOU; HU; ZHU; 2018).

Estudos propuseram degradação de azul de metileno utilizando diversos métodos, como processos oxidativos avançados, degradação química, fotólise e biodegradação (FAGNANI *et al.*, 2013; VAN DER MAAS *et al.*, 2018; DELAZARE, NEU, RIBEIRO, 2020; RAMOS *et al.*, 2017).

Nesse contexto, esta pesquisa apresenta o equipamento tipo jato cavitante para degradação de cafeína e azul de metileno. Para tanto, múltiplos jatos, com diferentes configurações de bocais e diferentes pressões de operação, serão usados para otimizar a decomposição da cafeína e do azul de metileno.

Considerando a necessidade de inovar as técnicas de tratamento para os novos desafios do saneamento, e dando continuidade as pesquisas realizadas entre 2009 e 2012, vislumbra-se que, caso a cavitação possa degradar a cafeína e azul de metileno em água, eventualmente outros compostos também poderão ser degradados. O sucesso da pesquisa, então, indica uma alternativa para o tratamento de água em relação a esses contaminantes, já que atualmente os métodos tradicionais não são capazes de fazê-lo. Assim, este estudo apresenta a avaliação do potencial da cavitação hidrodinâmica na degradação da cafeína, com possível aplicação como tratamento complementar de água.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi verificar a eficiência de um equipamento tipo jato cavitante para degradar cafeína e azul de metileno em água.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- Analisar a ação da cavitação na degradação de cafeína;
- Analisar a ação da cavitação na degradação de azul de metileno;
- Verificar a eficiência da ação agentes oxidantes como processo sinérgico na degradação da cafeína por cavitação;
- Verificar a eficiência da ação de fotólise como processo sinérgico na degradação do azul de metileno por cavitação;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são abordados a ocorrência de contaminantes não legislados no ambiente, os problemas relacionados à presença desses contaminantes na água, em especial a cafeína, os métodos utilizados atualmente para tratamento de água e efluentes e as soluções que vem sendo sugeridas em pesquisas recentes, incluindo a proposta deste trabalho, a cavitação.

2.1 Contaminantes não legislados presentes na água

A água é essencial para a vida no Planeta e sua importância não diz respeito apenas às suas funções na natureza, mas também está relacionada à saúde, à economia e à qualidade de vida humana (SOUZA *et al.*, 2014). Portanto, a dificuldade acesso à água de qualidade exige propostas para imediata solução. Grande parte desse problema se dá pela poluição de corpos d'água e pela falta de tratamento de efluentes. O aumento dos processos de urbanização, o crescimento desordenado de cidades, o desenvolvimento industrialização e a expansão de atividades agrícolas contribuem para a intensificação do problema. Também, a falta de coleta ou tratamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais é um importante fator na degradação da qualidade das águas (MIZUKAWA *et al.*, 2019; SCIPIONI, 2015).

Mais recentemente, estudos tem evidenciado a presença de certos contaminantes no ambiente, que não são monitorados ou controlados por legislação específica. Eles não necessariamente foram lançados no ambiente recentemente, mas tem aumentado cada vez mais a preocupação a respeito deles. Esses contaminantes estão presentes no ambiente geralmente em baixas concentrações, entre nanogramas por litro (ng/L) e microgramas por litro (µg/L) (CLARA *et al.*, 2005), e podem receber diversas nomenclaturas, sendo elas contaminantes emergentes (CANELA *et al.*, 2014), micropoluentes emergentes (MAILLER *et al.*, 2016), microcontaminantes de interesse emergente (FONSECA, 2019), contaminantes de preocupação emergente, entre outros.

Esses contaminantes, de origem natural ou sintética, incluem substâncias como plastificantes, pesticidas, hormônios, fármacos, drogas lícitas e ilícitas, nanomateriais, produtos de higiene pessoal e retardantes de chama (MACHADO *et al.*, 2016; LUO *et al.*, 2014). O rápido desenvolvimento de novas substâncias no mercado e a acelerada introdução destas no cotidiano fazem surgir a possibilidade de que se tenha que lidar com compostos sem que se saibam os efeitos reais que eles podem causar nos seres vivos e no ambiente em geral.

Esses contaminantes estão presentes em diversas matrizes ambientais, como solo, ar e água (IDE *et al.*, 2017). Poluentes desse tipo foram encontrados inclusive em matrizes biológicas, como tecidos de peixes (SUBEDI *et al.*, 2012) e plasma sanguíneo de tubarões (GELSLEICHTER; SZABO, 2013). A preocupação com esses contaminantes tem levado ao desenvolvimento de cada vez mais pesquisas relacionadas ao tema, principalmente em relação à presença desses compostos em água.

O estudo de Ide *et al.* (2017), por exemplo, comprovou a presença no Rio Iguaçu, no Brasil, de hormônios femininos, como estradiol, etinilestradiol e estrona, e de fármacos, entre eles, ácido acetilsalicílico, ácido salicílico, cetoprofeno, naproxeno, genfibrozila, fenofibrato, cafeína e outros. O estudo sugere que a contaminação por essas substâncias pode ser devida à mistura de esgoto doméstico e água de rios afluentes com a água do rio Iguaçu.

Esse estudo, além de diversos outros que mostram a presença de compostos não legislados em corpos d'água (GUAN *et al.*, 2017; KIM; ZOH, 2016), evidenciam a presença dos contaminantes no ambiente. Porém, a presença destes pode ocorrer inclusive na água tratada. A água recebida pelo consumidor final das redes de distribuição é considerada potável, ou seja, segura e própria para o consumo. Apesar disso, estudos indicam que a água considerada potável pode apresentar contaminação por substâncias não legisladas.

Como exemplo, têm-se os estudos de Machado *et al.* (2016). Foram coletadas 100 amostras de água tratada em 22 cidades brasileiras, de todas as cinco grandes regiões do país. As amostras foram analisadas para diversos tipos de contaminantes, incluindo hormônios, plastificantes, herbicidas e cafeína. A substância encontrada com maior frequência nas amostras de água potável foi a cafeína, que foi identificada em 93% das amostras. Essa frequência é maior que a encontrada em estudos semelhantes em outros países, como China e Espanha. Além da cafeína, também foi encontrada a atrazina, substância utilizada em herbicidas, e, em menor quantidade, fenolftaleína, utilizada como indicador de pH, e triclosan, presente em produtos de higiene pessoal.

Ainda não há comprovação dos efeitos de tais substâncias no organismo humano, tampouco definição de limites seguros para consumo ou exposição a elas. Como são encontradas em concentrações muito baixas no ambiente, a princípio podem não causar efeitos evidentes, mas podem levar a uma intoxicação crônica, provocando efeitos notáveis apenas após longo período de exposição à substância (CANELA *et al.*, 2014).

Há evidências de que contaminantes não legislados causam danos a organismos aquáticos (CANELA *et al.*, 2014), indicando potencial risco ao ser humano. Sem legislação que

estabeleça limites seguros de exposição e, com a rápida introdução de novas substâncias no mercado, torna-se cada vez mais difícil o monitoramento destas substâncias. Isso significa que são necessárias medidas urgentes para identificação, estudo e legislação de tais compostos.

2.1.1 Cafeína

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina), do grupo dos fármacos, é muito utilizada na produção de alimentos, bebidas, medicamentos e cosméticos, sendo a substâncias psicoativa mais consumida no mundo (DIOGO *et al.*, 2013).

Naturalmente encontrada em fontes como o grão de café, a noz-de-cola, o cacau, a erva mate e o guaraná, a cafeína é consumida principalmente por meio da ingestão de cafés e chás. O consumo pode acarretar em melhora no humor e no estado de alerta, entre outros efeitos (HECKMAN; WEIL; DE MEJIA, 2010).

Cerca de 3% da cafeína ingerida não é absorvida pelo organismo e é excretada pela urina, sem ser metabolizada (GARDINALI E ZHAO, 2002; TANGLIU *et al.*, 1983). Porém, por ser não removida pelos processos de tratamento empregados atualmente, por sua alta solubilidade em água (CANELA *et al.*, 2014), ou mesmo, por contaminação direta pelo esgoto, a cafeína pode ser encontrada em águas de mananciais e até na água tratada. A cafeína tem sido detectada em efluentes, águas superficiais e em águas subterrâneas no mundo todo (BUERGE *et al.*, 2003).

Esse composto pode ser utilizado como traçador de atividade humana em cursos d'água, já que uso da cafeína é limitado a humanos e sua metodologia de análise é eficiente por ser menos suscetível a erros quando comparada com outros parâmetros mais tradicionais de poluição antrópica, como N-amoniacal, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio e ortofosfato (DE SOUSA *et al.*, 2014; MIZUKAWA *et al.*, 2019). Se existe cafeína na água, há a probabilidade de existirem também outros contaminantes de toxicidade maior (KELLER, 2015; MACHADO *et al.*, 2016).

No Brasil, a presença de cafeína em rios e até na água tratada pode ser explicada pelos baixos índices de coleta e níveis tratamento de esgoto no país, e pelo lançamento em grande quantidade de esgoto e efluentes tratados e não tratados em corpos d'água, uma das principais fontes de cafeína na água (MACHADO *et al.*, 2016).

Apesar de considerada segura para consumo humano em quantidades moderadas, a ingestão em excesso pode causar insônia, tremores, ansiedade, taquicardia e problemas

gastrointestinais (NAWROT *et al.*, 2003). Além disso, o consumo excessivo de cafeína, principalmente por crianças, pode levar a dores de cabeça (HECKMAN; WEIL; DE MEJIA, 2010).

Quanto à presença da cafeína no ambiente, estudos a respeito da ecotoxicidade da substância indicam que ela pode causar efeitos adversos em alguns peixes, anfíbios e microrganismos, como morte de embriões e inibição do crescimento (CANELA *et al.*, 2014).

Um estudo brasileiro teve como objetivo analisar a possibilidade de uso da cafeína como parâmetro de qualidade da água no estudo nas bacias hidrográficas de Atuba, Belém e Palmital na grande Curitiba - Paraná, no Brasil, quanto à presença de contaminação antropogênica. O uso da cafeína como traçador foi comparado com outros parâmetros de monitoramento ambiental mais tradicionais, como a observação de coliformes termotolerantes. A cafeína mostrou-se uma abordagem apropriada para o monitoramento nesse aspecto, correlacionando-se com os parâmetros tradicionais (MIZUKAWA *et al.*, 2019).

Em águas marinhas, a observação da presença de cafeína em amostras coletadas em 14 praias de Portugal indicou contaminação por esgoto. As maiores concentrações de cafeína foram encontradas em praias de cidades turísticas de grande população e no mês de julho, com alta frequência de turistas (PAÍGA E DELERUE-MATOS, 2017).

Então, apresenta-se a importância em se explorar pesquisas com métodos alternativos ou complementares aos tratamentos já empregados de água, já que, como já mencionado, os tratamentos de água e efluentes utilizados hoje não removem contaminantes como a cafeína da água. Sugere-se que a aplicação de um método para degradação ou remoção de cafeína da água pode ser empregado como base de estudo para outras substâncias também presentes na água, ou seja, pode ser utilizada como um marcador químico.

Devido à existência de técnicas variadas, diferentes concentrações iniciais, tempo de testes e, conseqüentemente, diferentes taxas de remoção da cafeína, foi construída a Tabela 1, na qual é mostrada uma compilação de diversos estudos que tiveram como objetivo a remoção de cafeína em água, com seus respectivos resultados. Pode-se utilizar os dados apresentados nesta Tabela como base para entender e classificar a cavitação como método de degradação da cafeína em água, dentre os métodos mais consagrados da literatura especializada.

Tabela 1: Métodos para remoção de cafeína em água

| Tratamento | Técnica | Concentração inicial de cafeína | Outras substâncias | Matriz e detalhamento | Tempo | Eficiência de remoção | Referência bibliográfica |
|-------------------------|---|---------------------------------|--------------------|--|---------|-----------------------|--------------------------|
| Biorremediação | Biodegradação e Bioacumulação | - | - | água residuária e microalga | 10 dias | 99% | Matamoros et al. (2016) |
| | Biodegradação | - | - | água residuária | 10 dias | 86% | Matamoros et al. (2016) |
| | Bioacumulação | - | - | microalga | 10 dias | 17% | Matamoros et al. (2016) |
| | Biodegradação | - | - | microalga | 12 dias | 53% | Gojkovic et al. (2019) |
| Separação por membrana | Osmose reversa | 311 ng/L | - | água subterrânea salina | - | 83% | Snyder et al. (2007) |
| | | 104 ng/L | - | esgotos sanitários | - | > 90% | Kim et al. (2007) |
| | Nanofiltração | 104 ng/L | - | esgotos sanitários | - | > 90% | Kim et al. (2007) |
| | | 150 ng/L | - | águas naturais | - | 35% | Yoon et al. (2007) |
| | Ultrafiltração | 150 ng/L | - | águas naturais | - | 1% | Yoon et al. (2007) |
| | | 85 ng/L | - | efluente secundário de ETE | - | 7% | Snyder et al. (2007) |
| Biorreator com membrana | Filtração por membrana e processos biológicos | - | - | pré-tratamento com coagulação e adsorção de carvão ativado | - | > 95% | Rigueto et al. (2020) |

Fonte: Gonçalves, Omido e Dalfré Filho (2021).

Tabela 1: Métodos para remoção de cafeína em água - Continuação

| Tratamento | Técnica | Concentração inicial de cafeína | Outras substâncias | Matriz e detalhamento | Tempo | Eficiência de remoção | Referência bibliográfica |
|--------------------------------|--|---|--|------------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| Sorção | Adsorção | - | - | carvão ativado, pH 3 | 180 minutos | 95,69% | Couto Junior (2014) |
| | | 10 g/L | - | carvão ativado, pH 6 | 50 minutos | 99,2% | François et al (2016) |
| | | 2,171 ng/L | - | grafeno em concentração de 0,1 g/L | 12 horas | 86% | Yang et al. (2017) |
| Processos oxidativos avançados | Peróxido de hidrogênio | - | H ₂ O ₂ : 9,4 mmol/L | Sob irradiação UV | 150 minutos | 99,4% | Dalmázio (2007) |
| | | - | H ₂ O ₂ : 1,8 mmol/L | Sob irradiação UV | 150 minutos | 92,3% | Dalmázio (2007) |
| | | - | H ₂ O ₂ : 200 mg/L | Em pH 3 | 60 minutos | 94,5% | Souza (2011) |
| | 10 mg/L | H ₂ O ₂ : 68 mg/L | Sob 5 minutos de irradiação UV e em pH 3 | - | ≅100% | Mafioleti (2014) | |
| | - | - | Sob irradiação UV | - | >95% | Souza e Féris (2015) | |
| | Ozonização | - | café: 300 mg/L, O ₃ : 15 mg/L | Sem irradiação UV, em pH 8 | 45 minutos | 93% | Takashina (2018) |
| - | café: 300 mg/L, O ₃ : 14,7 mg/L | Sob irradiação UV (125W), em pH 9,2 | 52 minutos | 96,7% | Takashina (2018) | | |

Fonte: Gonçalves, Omido e Dalfré Filho (2021).

Tabela 1: Métodos para remoção de cafeína em água - Continuação

| Tratamento | Técnica | Concentração inicial de cafeína | Outras substâncias | Matriz e detalhamento | Tempo | Eficiência de remoção | Referência bibliográfica |
|--------------------------------|-------------|--|--|--|-------------|-----------------------|--------------------------|
| Processos oxidativos avançados | Fenton | - | H ₂ O ₂ : 5,7 mmol/L, FeSO ₄ .7H ₂ O: 0,1 g/L | - | 150 minutos | 80% | Dalmázio (2007) |
| | | 10 mg/L | Fe ⁺² : 0,6 mg/L H ₂ O ₂ : 34 mg/L | - | - | 80,8% | Mafioleti (2014) |
| | - | Fe ⁺² : 10 mg/L, H ₂ O ₂ : 50 mg/L | - | 30 minutos | 9,3% | Posser (2016) | |
| | Foto-Fenton | - | - | Sob 10 minutos de irradiação UV (30W) | - | 96,9% | Mafioleti (2014) |
| | - | Fe ⁺² : 10 mg/L, H ₂ O ₂ : 50 mg/L | Sob irradiação UV (96W) | 30 minutos | 85% | Posser (2016) | |

Fonte: Gonçalves, Omido e Dalfré Filho (2021).

2.1.2 Azul de metileno

O azul de metileno é um exemplo de corante empregado na indústria têxtil, comum no processamento de poliésteres e nylons (FABRÍCIO et al. 2010). Os efluentes gerados são tóxicos à biota aquática, diminuem a concentração de oxigênio dissolvido na água e modificam as propriedades e características dos corpos hídricos (OLIVEIRA, 2006). Esse composto tem sido utilizado, também, na produção de papel e em diversas outras aplicações na biologia, na química, na medicina e para fins veterinários.

O azul de metileno não é degradado pelos processos convencionais de tratamento de água devido às suas estruturas aromáticas complexas, sua natureza hidrofílica e certa estabilidade, sendo responsável por potencial poluição ambiental (HOU; HU; ZHU; 2018).

Assim como com a cafeína, estudos propuseram degradação de azul de metileno utilizando diversos métodos, como processos oxidativos avançados, degradação química, fotólise e biodegradação.

Fagnani et al. (2013) testaram a degradação por vários processos: físico (fotólise-UV254nm); químico (peroxidação- H_2O_2) e oxidativos avançados, empregando-se a fotoperoxidação (UV/ H_2O_2), o reagente de Fenton (Fe (II)/ H_2O_2), o foto-Fenton (Fe (II)/ H_2O_2 /UV) e a fotocatalise heterogênea (UV/ TiO_2). As amostras foram recirculadas em um fotorreator de bancada e o monitoramento de cada um dos processos foi realizado usando-se a espectrofotometria de varredura na região do UV-Vis e a análise de carbono orgânico dissolvido (COD). Os processos oxidativos avançados foram mais eficientes na modificação da estrutura da molécula e na redução da concentração de COD. Em 120 minutos de ensaio com o processo foto-Fenton, o mais eficiente, houve uma redução de COD de 85% de azul de metileno.

O estudo de Van der Maas et al. (2018) verificou a capacidade de linhagens dos fungos *Pleurotus sp.* na degradação do corante azul de metileno, a fim de identificar linhagens com potencial para processos de biorremediação. Os resultados de absorvância mostraram que todos os fungos foram visivelmente capazes de reduzir a coloração do meio, após sete dias de crescimento fúngico. Em alguns dos testes, foi observada uma redução de aproximadamente 80% da coloração. Constatou-se, então, o sucesso da pesquisa na biodegradação de compostos poluentes.

Delazare, Neu e Ribeiro (2020) tiveram como objetivo desenvolver um catalisador de Nb_2O_5 suportado em SiO_2 obtido a partir da casca de arroz para a degradação fotocatalítica do corante azul de metileno. O processo de degradação do corante foi realizado em duas bateladas distintas simultaneamente, uma na ausência de luz e outra com irradiação, por 120 min. Dos

experimentos, concluiu-se ocorreu a degradação do corante azul de metileno pelo processo de fotodegradação.

Ramos et al. (2017) identificaram a degradação do corante azul de metileno em solução aquosa, através da exposição à radiação UV. Uma solução de concentração 16 mg/L do referido corante foi submetida à exposição de UV em fluxo contínuo, em reator tubular, havendo uma redução de 81% na concentração da solução do corante em 221 minutos.

O estudo de Tong et al. (2022) propõe a degradação de azul de metileno pelo efeito sinérgico da cavitação com a fibra de carbono ativada. Obteve-se mais de 90% de degradação do azul de metileno.

2.2 Tratamento de água e efluentes

Tratamentos de água e efluentes empregados hoje serão abordados nesta seção. Também, será apresentada a literatura atual que propõe novas técnicas de tratamento, visto que os tratamentos atuais não removem da água diversos tipos de contaminantes não legislados, como é o caso da cafeína, objeto deste trabalho.

2.2.1 Tratamentos usualmente empregados

No Brasil, o tratamento de água de ciclo completo empregado atualmente, realizado em estações de tratamento de água (ETAs), é feito em etapas. A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) indica que, após a captação de águas superficiais, são realizadas em suas ETAs as etapas de pré-cloração, pré-alkalinização, coagulação, floculação, decantação, filtração, pós-alkalinização, desinfecção e fluoretação (SABESP, 2019a). O processo de ciclo completo envolve a adição de diversos compostos químicos à água para o tratamento. Na etapa de desinfecção, uma das mais importantes, é quando ocorre a inativação de organismos patogênicos presentes na água por adição de agente oxidante, ou desinfetante. No Brasil, o principal agente oxidante utilizado é o cloro, apesar de poderem ser utilizados outros desinfetantes químicos como ozônio, que é bastante empregado na Europa e nos Estados Unidos (ROSA *et al.*, 2012).

Quanto ao tratamento de esgoto, as estações de tratamento são projetadas para remover sólidos, matéria orgânica e nutrientes (DE SOUSA *et al.*, 2014). No Brasil, o tratamento é realizado nas estações de tratamento de esgoto (ETEs). O método de tratamento a ser utilizado

depende das características do esgoto (SABESP, 2019b), podendo ser empregados processos biológicos, como é o caso do tratamento por lodos ativados, bastante empregado pelas ETEs da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) (SABESP, 2019b), processos físicos, como decantação, flotação, filtração e adsorção, e processos químicos, que fazem a oxidação dos contaminantes pela reação com oxidantes fortes como peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e cloro (Cl_2) (MELO *et al.*, 2009).

Atualmente, os tratamentos nas ETAs e nas ETEs, apesar de economicamente viáveis, não removem totalmente todos tipos de contaminantes (DE ANDRADE *et al.*, 2018; SOTELO *et al.*, 2014), e também não há obrigação legal para que isso ocorra. No Brasil, a qualidade da água é regulamentada pelas determinações da Portaria GM/MS Nº 888/21, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação MS Nº 05/17 e dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Além disso, a Resolução CONAMA 430/2011, que complementa e altera a Resolução 357/05, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2011). Nelas, não há referências para controle de substâncias como cafeína, por exemplo.

Por isso, novas técnicas vêm sendo exploradas em pesquisas que propõem tratamentos alternativos para água e efluentes, apresentados a seguir.

2.2.2 Tratamentos alternativos

Estudos sugerem novos tratamentos para água e efluentes, explorando técnicas químicas, físicas e biológicas para degradação e/ou remoção de diferentes substâncias indesejáveis da água, como microrganismos, corantes, poluentes, entre outros.

Podem-se citar como métodos alternativos a separação por membrana, os processos oxidativos avançados, os métodos de sorção, a biorremediação e a cavitação (OLIVEIRA, 2018; ASSIS, 2014; DE ANDRADE *et al.*, 2018; RIGUETO *et al.*, 2020).

A sorção é o fenômeno de transferência de massa no qual moléculas de um composto passam de uma fase fluida para uma fase sólida. Na adsorção, ocorre a transferência de moléculas da fase fluida para a superfície de um sólido, sendo o carvão ativado amplamente utilizado como adsorvente. Esse processo pode envolver interações físicas e químicas, com baixo consumo de energia (DE ANDRADE *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 2018)

O estudo de François *et al.* (2016) analisou a remoção da cafeína por adsorção utilizando carvão ativado. Os melhores resultados obtidos em pH 6, tempo de detenção hidráulica de 50

min e 10 g/L de sólido adsorvente, atingindo uma média de 99,2% de remoção. O método proposto se mostrou eficiente e de baixo custo para a remoção de cafeína, porém, a aplicação em larga escala deve ter os parâmetros investigados cuidadosamente pois os obtidos com testes em batelada são diferentes dos obtidos em processos contínuos.

O tratamento empregando separação por membrana consiste em utilizar um meio filtrante mais eficiente que filtros comuns para a remoção de partículas indesejáveis da água, podendo ser de osmose reversa, nanofiltração, ultrafiltração e microfiltração. Esses processos de separação utilizam a pressão hidráulica como força motriz para separar os contaminantes da água. É um método físico bastante eficiente, visto que a membrana de ultrafiltração, por exemplo, consegue remover até mesmo bactérias, protozoários e vírus, pois é capaz de reter partículas da ordem de 10^{-2} μm (SANTOS, 2014).

O método de separação por membrana apresenta boa eficiência de remoção, porém, pode exigir alto consumo energético. Existe ainda o problema de *fouling*, que é a incrustação de material na membrana, diminuindo a vazão filtrada e, conseqüentemente, a eficiência do processo (PERTILE *et al.*, 2018).

Como exemplo de tratamento empregando separação por membrana, Kamińska, Adamczak e Bohdziewicz (2018) estudaram a remoção de cafeína e bisfenol A utilizando membrana polimérica de ultrafiltração sob diferentes condições de composição de membrana. Chegou-se à conclusão de que a retenção dos micropoluentes depende das propriedades físico-químicas destes e do tipo de membrana sendo que, nos testes, a remoção de bisfenol A foi maior que a remoção de cafeína pelo processo.

A biorremediação visa a remoção de compostos da água pela ação de plantas, algas, fungos, bactérias e enzimas (RIGUETO *et al.*, 2020). Matamoros *et al.* (2016) visaram a remoção de cafeína por microalgas e obtiveram um resultado de 99% de remoção por esse mecanismo.

Esse método é considerado uma alternativa sustentável para a remoção de contaminantes em água e efluentes. Os mecanismos de ação da biorremediação são bioadsorção, bioabsorção/bioacumulação e biodegradação. É importante também atentar para alguns fatores que influenciam no processo. São eles: fontes de carbono e nitrogênio, pH, temperatura, e concentração do contaminante (RIGUETO *et al.*, 2020).

Os processos oxidativos avançados (POAs) apresentam grande potencial como alternativa ao tratamento de água de ciclo completo e vem sendo largamente avaliados em

pesquisas recentes. Eles são eficientes, mas podem ser caros, complexos e demandar alto consumo de energia (DE ANDRADE *et al.*, 2018).

Nesses processos, os radicais gerados a partir de oxidantes são altamente reativos e pouco seletivos, fazendo com que eles possam atuar na oxidação química de diversas substâncias. Um dos principais radicais empregados é o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$), formado a partir do uso de oxidantes como peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ou ozônio (O_3). A eficiência dos processos pode ser aumentada pela combinação com irradiação ultravioleta (UV) ou catalisadores como íons metálicos (MELO *et al.*, 2009). Alguns exemplos de tipos de POAs são fotólise de peróxido de hidrogênio, ozonização, fotocatalise homogênea e heterogênea, Fenton e foto-Fenton.

Souza e Féris (2015) utilizaram POAs para degradação de cafeína. Foram utilizados tratamentos com ozônio e com ozônio combinado com radiação ultravioleta. A mineralização de cafeína aumentou com o aumento do pH da solução e com o aumento do tempo de tratamento. A concentração inicial de cafeína e a potência da lâmpada UV também foram significativas nos resultados.

Nam *et al.* (2017) selecionaram micropoluentes e compararam a eficiência de remoção destes utilizando tratamentos já empregados atualmente e POAs. Os poluentes escolhidos foram carbamazepina, metoprolol, cafeína e sulfametoxazol. Os tratamentos empregados foram coagulação, adsorção e cloração e, quanto aos POAs, foram ozonização, fotólise (UV), UV/ H_2O_2 e UV/cloro. Como resultado, a cloração não foi eficiente para os compostos escolhidos e a adsorção removeu o sulfametoxazol com eficiência. Dentre os POAs, o processo UV/cloro removeu todos os compostos com eficiência. O estudo indica que esse processo pode ser empregado em ETEs, mas que a aplicação em maior escala deve ser avaliada.

A cavitação também se mostra eficiente como método alternativo para tratamento de águas e será mais bem explorada adiante. Como há a formação de radicais hidroxila durante a aplicação da cavitação, esta pode ser considerada processos oxidativos avançados (DOLTADE *et al.*, 2019; PATIL; BOTE; GOGATE, 2014).

Os métodos expostos nesta Revisão da Literatura podem ser utilizados como único tratamento, mas é importante lembrar que melhores resultados podem ser obtidos pela combinação de sistemas de tratamentos, se verificada a efetividade da sinergia na combinação destes.

2.3 A cavitação

No contexto de propostas de tratamentos alternativos para a degradação de compostos indesejáveis em água, pode-se sugerir o fenômeno da cavitação. A cavitação é um fenômeno físico que ocorre em um líquido quando a pressão diminui, atingindo o valor da pressão de vapor, causando vaporização desse líquido e, conseqüentemente, o surgimento de bolhas no interior deste. Essas bolhas, quando se movem para uma região de alta pressão, entram em colapso, implodindo violentamente (WHITE, 2011).

No geral, existem dois tipos de cavitação mais explorados: a hidrodinâmica e a acústica, ou ultrassônica. Os princípios que regem o comportamento das bolhas são os mesmos, sendo que o que difere entre as duas é o que causa a queda de pressão no meio (ZUPANC *et al.*, 2019). Na acústica, a cavitação é gerada pela vibração de ondas ultrassônicas se propagando pelo líquido, produzindo efeitos de sonoquímica (ROUDBARI; REZAKAZEMI, 2018; YI *et al.*, 2018).

Além desses dois tipos, existem ainda a cavitação de partícula e a óptica, geradas por um feixe de partículas elementares, como nêutrons, e laser direcionado para a água, rompendo um líquido (GOGATE; TAYAL; PANDIT, 2006; LAUTERBORN; OHL, 1997; YI *et al.*, 2018).

A cavitação hidrodinâmica pode ser gerada pela queda de pressão causada pela mudança na geometria do sistema (PATIL; BOTE; GOGATE, 2014). A passagem do líquido por uma constricção, que pode ser uma válvula, placa de orifício, Venturi, ou outra, pode gerar o fenômeno. Ao passar pela constricção, há aumento de velocidade e diminuição da pressão. A região a jusante da constricção apresenta alta turbulência, que é onde ocorre a cavitação, cuja intensidade depende tanto das condições de operação quanto da geometria do sistema (GOGATE; PANDIT, 2005).

Também, a cavitação hidrodinâmica pode ser gerada por homogeneização de alta velocidade e por homogeneização de alta pressão (GOGATE; PANDIT, 2005). A cavitação por homogeneização de alta velocidade acontece com a passagem do líquido por um rotor-estator e, à medida que a velocidade do rotor aumenta, a velocidade de líquido também aumenta, chegando ao valor da velocidade crítica de começo de cavitação, formando um vórtice. Ocorre, então, a formação de bolhas porque a pressão local cai abaixo da pressão de vapor. Já a cavitação por homogeneização de alta pressão é gerada por um homogeneizador de alta pressão, no qual o fluido passa por uma válvula, com alta velocidade e baixa pressão ao passar ao travessar o orifício, gerando a cavitação (ASSIS, 2010).

Os resultados da cavitação são normalmente associados a danos em sistemas hidráulicos, com efeitos indesejáveis como erosão de superfícies, ruído, vibração, flutuações de pressão e perda de eficiência (TULLIS, 1989; ZUPANC *et al.*, 2019). Por isso, o que se busca, geralmente, é evitar que a cavitação ocorra, projetando instalações e equipamentos para que o fenômeno não se inicie, ou para que ele seja atenuado. A danificação de bombas e a erosão de turbinas metálicas e de vertedores, por exemplo, são clássicos exemplos da cavitação como desafios de engenharia. (FADAEI-KERMANI; BARANI; GHAEINI-HESSAROEYEH, 2016; KHURANA; NAVTEJ; SINGH, 2012; SREEDHAR; ALBERT; PANDIT, 2017)

Porém, é possível explorar aplicações benéficas da cavitação, aproveitando-se dos efeitos resultantes da implosão das bolhas. Estudos tem mostrado a eficiência do fenômeno em aplicações nas áreas da biologia, medicina, química, ambiental e inclusive na indústria alimentícia (KOSEL *et al.*, 2017). A cavitação pode ser empregada na limpeza de superfícies, na aceleração de reações químicas (ZUPANC *et al.*, 2019) e, mais recentemente, no tratamento de água e efluentes.

Esses efeitos, tanto os danosos como os benéficos, da cavitação são resultado da implosão das bolhas durante a ocorrência do fenômeno. O colapso das cavidades gera microjatos, ondas de alta pressão, altas temperaturas locais e fortes tensões de cisalhamento (KOSEL *et al.*, 2017).

Com a implosão das bolhas, a temperatura pode chegar a 500 K no interior destas, atingindo pressões que chegam a 100 MPa, formando os chamados *hot spots*. Isso leva à formação de microjatos e à geração de radicais livres devido à decomposição de moléculas de água no estado gasoso presentes no interior das bolhas (LI; SONG; YU, 2014).

Os microjatos são resultantes do colapso de cavidades, que gera ondas de alta pressão. Essas ondas, da ordem de aproximadamente 69 GPa, são suficientes para danificar qualquer material (TULLIS, 1989). De acordo com Lohrberg e Stoffel (2001), os microjatos atingem velocidades acima de 100 m/s, com capacidade de deformar um material sólido.

A combinação de todos esses efeitos mecânicos e químicos é o que permite o uso da cavitação para tratamento de água e efluentes, já que eles são efetivos na inativação de microrganismos e na decomposição de substâncias indesejadas em água. Os mecanismos de ação da cavitação para essa finalidade serão explicados na sequência.

O tratamento com cavitação hidrodinâmica pode ser utilizado sozinho ou combinado com outros tratamentos. A literatura mostra diversos estudos que propõem o uso da cavitação combinada a outras técnicas, principalmente com processos oxidativos avançados (POAs), com

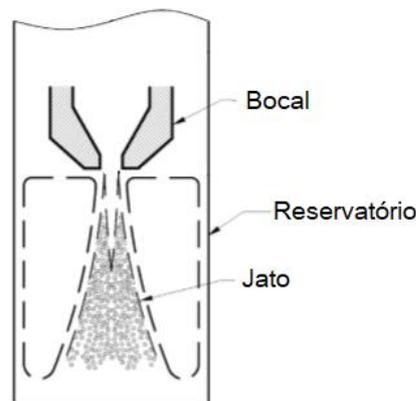
obtenção de resultados satisfatórios e até mesmo com melhor eficiência energética (RAJORIYA *et al.*, 2016). Também, é comum que se associem os processos com cavitação acústica e hidrodinâmica, normalmente sob a sigla HAC (*hydrodynamic-acoustic cavitation*) (YI *et al.*, 2018).

Além da vantagem de se aproveitar o efeito sinérgico entre dois ou mais métodos quando se utiliza a combinação, também se previne a falha de um dos métodos contra compostos e organismos mais resistentes a determinado tipo de tratamento.

2.3.1 O jato cavitante

Uma das formas de gerar a cavitação é utilizando o equipamento tipo jato cavitante, que consiste em um jato submerso de alta velocidade, representado na Figura 1.

Figura 1. Formação do jato cavitante



Fonte: Adaptado de Dalfré Filho, Assis e Genovez (2015).

Um parâmetro que define a formação e o desenvolvimento da cavitação é o índice de cavitação σ para o jato, apresentado na Equação 1.

$$\sigma = \frac{P_e - P_v}{\frac{1}{2}\rho v_e^2} \quad (1)$$

sendo P_e a pressão no interior do jato, P_v a pressão de vapor, ρ a massa específica do líquido e v a velocidade no interior do jato. O escoamento tem um valor crítico de σ , abaixo do qual o ele começa a cavitado (WHITE, 2011).

Porém, apesar de vastamente utilizado, o índice de cavitação não é suficiente para definir as condições da cavitação. O estudo de Šarc *et al.* (2017) mostra que são necessários

mais parâmetros para caracterizar a situação, como geometria, temperatura do fluido, qualidade do fluido, entre outros. Sem a definição destes, não há garantia da reprodutibilidade dos experimentos que utilizam a cavitação com diversas finalidades. O estudo mostra experimentos em que foram variados esses parâmetros, um a um, mantendo o índice de cavitação e foram obtidos resultados diferentes para todos os testes. Além disso, o estudo mostra inconsistências na determinação do índice de cavitação, como indeterminação de como e onde as pressões foram medidas, provando que ele somente não é capaz de caracterizar os equipamentos e técnicas que empregam a cavitação em experimentos, sendo necessário que se descrevam mais características das condições experimentais.

Na situação de jato submerso, a velocidade na região próxima ao orifício é baixa e a pressão é alta. Quanto mais próximo ao orifício, mais a velocidade aumenta e menor é a pressão. Quando o jato sai do orifício, uma camada de cisalhamento bastante intensa é criada na região de separação entre o jato e a vizinhança. A região após a passagem pelo orifício é a região onde ocorre a cavitação.

Diversos estudos, apresentados adiante, empregam o jato cavitante para tratamento de água e efluentes, para os mais diversos compostos como objetos de degradação ou microrganismos para inativação. Essa é a técnica abordada neste trabalho para a geração da cavitação.

2.3.2 Aplicação da cavitação hidrodinâmica no tratamento de água e efluentes

A cavitação hidrodinâmica pode ser utilizada como forma alternativa para tratamento de água e efluentes, como mostram diversos estudos recentes. Sua eficiência tem sido comprovada na degradação de compostos indesejáveis e na inativação de microrganismos presentes em água.

Quanto à degradação de compostos, podem-se citar três importantes mecanismos de ação da cavitação (AGARWAL; NG; LIU, 2011; GOGATE; PATIL, 2015; RAJORIYA *et al.*, 2016; TAO *et al.*, 2016):

- Efeito químico

Devido à exposição a condições extremas de temperatura e pressão, a cavitação gera *hot spots*, fazendo com que ocorra a quebra de moléculas na região em radicais menores. No caso da água, são liberados radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), que reagem com o composto a ser degradado.

Os radicais hidroxila tem um alto poder de oxidação e são pouco seletivos, podendo oxidar qualquer molécula orgânica presente na água.

- Efeito térmico

Decomposição térmica, ou pirólise, de poluentes voláteis presos nas cavidades, dadas as elevadas temperaturas no interior das bolhas.

- Efeito mecânico

As altas tensões no entorno, a forte turbulência e os efeitos da propagação de microjatos e ondas de alta pressão podem causar a quebra de moléculas, principalmente moléculas maiores e mais complexas. As partes menores das moléculas são mais suscetíveis a reações com os radicais hidroxila.

Quanto à inativação de microrganismos, o mecanismo mais provável de inativação é a danificação desses organismos pela exposição às condições críticas de turbulência na região de cavitação, como a ação das ondas de alta pressão (DULAR *et al.*, 2016). Alguns fatores são importantes para os resultados de degradação quando se utiliza o processo de cavitação e devem ser cuidadosamente observados no projeto. A otimização desses parâmetros é essencial para a obtenção de bons resultados (RAUT-JADHAV *et al.*, 2015). São eles:

- Índice de cavitação

Apesar de, sozinho, não ser suficiente para caracterizar exatamente a cavitação (ŠARC *et al.*, 2017), é importante citá-lo, explicando todos os fatores que levaram a esse índice, além de especificar os demais parâmetros.

- Temperatura

Por um lado, o aumento da temperatura do meio pode acelerar as reações de oxidação dos compostos, mas, por outro, pode reduzir a eficiência delas pelo aumento excessivo do número de bolhas de vapor, atenuando os efeitos do colapso dessas bolhas. Também, um aumento na temperatura pode favorecer a cinética da reação de degradação. Além disso, a pressão de vapor depende da temperatura do líquido, sendo diretamente proporcionais. (GAĞOL; PRZYJAZNY; BOCZKAJ, 2018). Então, a temperatura ótima deve ser investigada, a depender do composto que se deseja degradar (DULAR *et al.*, 2016).

- pH

Deve ser previamente estudado e otimizado para melhores resultados, a depender do pH do composto a ser degradado e do pH do líquido. Geralmente, a degradação é muito menor em meio básico, em comparação à degradação em meio ácido (GOGATE; PATIL, 2015).

- Concentração inicial

Considerando uma reação reversível em equilíbrio, o aumento da concentração de reagentes leva à formação de mais produtos. Porém, os resultados de pesquisas mostram que, quanto mais se aumenta a concentração inicial do poluente, menor é a eficiência da degradação. Isso provavelmente ocorre devido à quantidade insuficiente de radicais hidroxila para que ocorra a reação (GAĞOL; PRZYJAZNY; BOCZKAJ, 2018; GOGATE; PATIL, 2015).

- Tempo de tratamento

Teoricamente, quanto maior o tempo de tratamento, maior a eficiência devido ao maior tempo de contato do composto a ser degradado com a região de cavitação. Porém, para aplicação real, a duração do tratamento influencia no custo do processo, fazendo com que seja preferível obter a melhor eficiência de degradação no menor tempo possível (GAĞOL; PRZYJAZNY; BOCZKAJ, 2018).

- Geometria

Estudos mostram que os parâmetros geométricos do equipamento utilizado para gerar a cavitação interferem nos resultados, já que geometrias diferentes resultam em eficiências de degradação diferentes (RAJORIYA; BARGOLE; SAHARAN, 2017).

- Pressão

É importante controlar a pressão durante os testes e estabelecer previamente uma pressão ótima para maior eficiência do tratamento, dependendo da técnica explorada para gerar a cavitação (GOGATE; PATIL, 2015).

Também, é importante lembrar que a presença de núcleos no líquido é um dos requisitos básicos para que ocorra a cavitação. Um núcleo seria uma bolha de gás ou um vazio no líquido, que influenciam na formação da cavitação, pois, sem gás no líquido, o fenômeno não ocorreria quando a pressão caísse até o valor da pressão de vapor. Porém, a presença de ar em excesso

no meio líquido pode trazer o efeito de amortecimento da cavitação, por retardar o início do fenômeno e reduzir ou impedir os efeitos da implosão das bolhas (TULLIS, 1989).

Diversos estudos mostram os resultados de pesquisas que envolvem cavitação para degradação de compostos. Apesar de a maior parte da bibliografia a respeito do assunto ser sobre cavitação acústica, ou ultrassônica, a cavitação hidrodinâmica também vem, mais recentemente, sendo empregada para tal finalidade.

Como exemplo de estudos que empregam a cavitação acústica, tem-se o estudo de Roudbari e Rezakazemi (2018), que criaram um reator para avaliar o efeito do ultrassom na redução de estrogênio e estradiol de esgoto, chegando a 85-96% de remoção dos dois hormônios em 45 minutos, variando a frequência e a potência do ultrassom.

Também, Ohrdes *et al.* (2018) estudaram a inativação da bactéria *Escherichia coli* em efluentes por cavitação ultrassônica, confirmando a eficiência do processo, mas reiterando a importância do controle do tratamento para manter a eficiência.

Há na literatura pesquisas que utilizam a cavitação hidrodinâmica como método alternativo de tratamento, nas quais foram realizados testes para vírus, algas, bactérias, pesticidas, fármacos, corantes, entre outros. Alguns desses estudos são citados a seguir.

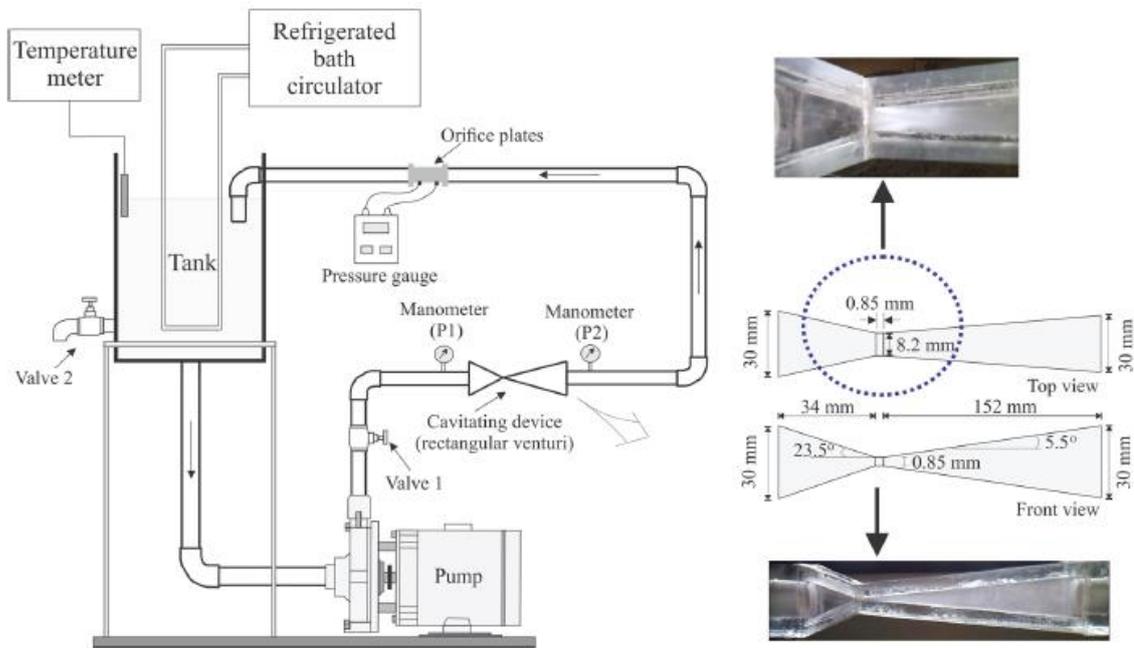
Kosel *et al.* (2017) estudaram a inativação do vírus bacteriófago MS2 por cavitação hidrodinâmica. Reactores com capacidade para um litro e três litros, empregando placa de orifício único e Venturi, respectivamente, se mostraram eficientes na inativação, e verificou-se que, em concentrações iniciais mais baixas, parecidas com as encontradas naturalmente em amostras de água do ambiente, foram obtidos os melhores resultados.

O tratamento de água para remoção de algas *Microcystis aeruginosa* foi estudado no trabalho de Li, Song e Yu, (2014). A cavitação hidrodinâmica foi escolhida como técnica de tratamento e os testes foram feitos em escala laboratorial. Após o estudo de vários parâmetros, concluiu-se que os principais fatores que interferiram no crescimento das algas que passaram pelo tratamento foram pressão e tempo de teste, com ótimo de 0,4 MPa e tratamento de 5 a 10 minutos. O estudo indica o tratamento de águas com algas com cavitação hidrodinâmica por ser um processo eficiente e sustentável.

Batista, Anhê e Gonçalves (2017) também utilizaram a cavitação hidrodinâmica para tratamento de algas. Um equipamento em escala laboratorial empregando um Venturi foi utilizado, como mostrado na Figura 2. As amostras de água com algas foram tratadas por 60 minutos e o índice de cavitação variou entre 0,17 e 0,27 nos testes. A eficiência máxima, com

remoção de 85% das algas, foi alcançada com o índice de cavitação 0,17 e foi confirmado que a eficiência do processo diminuiu com o aumento do índice de cavitação.

Figura 2. Esquema do equipamento utilizado por Batista, Anhê e Gonçalves (2017)

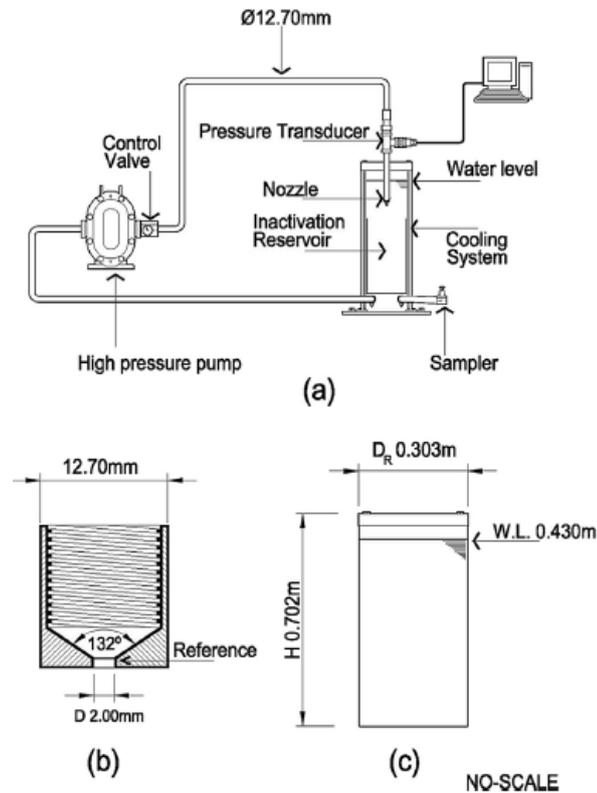


Fonte: Batista, Anhê e Gonçalves, (2017)

No trabalho de Dular *et al.* (2016), foram utilizados três reatores diferentes para testar os efeitos da cavitação hidrodinâmica na remoção de fármacos, cianobactérias, microalgas, bactérias e vírus de água e águas residuárias. Os resultados indicaram remoção total da bactéria *Legionella pneumophila* e alta remoção de diversos fármacos e de cianobactérias. Os pesquisadores concluíram que a cavitação hidrodinâmica é uma boa alternativa de tratamento, que pode operar em modo contínuo e, em muitos casos, é mais eficiente que a cavitação acústica. Apesar disso, a viabilidade econômica ainda precisa ser verificada.

Dalfré Filho, Assis e Genovez (2015) utilizaram um equipamento tipo jato cavitante, mostrado na Figura 3, para a inativação de *Escherichia coli* em água natural e contaminada artificialmente.

Figura 3. a) Esquema do equipamento, b) detalhe do bocal e c) reservatório de inativação usados por Dalfré Filho, Assis e Genovez (2015)



Fonte: Dalfré Filho, Assis e Genovez (2015)

A porcentagem de inativação foi analisada às pressões de 8, 10 e 12 MPa, com tempo total de ensaio de 1800 segundos (30 minutos), para água contaminada artificialmente. Para água natural, coletada de um lago da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), foram realizados testes com pressões de 5 e 10 MPa. Foram obtidas altas taxas de inativação para todos os testes. Para a água com bactéria adicionada artificialmente, obtiveram-se os seguintes resultados ao final dos 1.800 segundos: 98,30% de inativação de *Escherichia coli* a 8 MPa, 99,96% de inativação a 10 MPa e 100% de inativação de *Escherichia coli* a 12 MPa. Os autores chegaram à conclusão de que diferentes configurações de teste entregam resultados diferentes e confirmaram que o equipamento tipo jato cavitante é uma alternativa adequada para inativar bactérias em água.

Assis (2014) também empregou o jato cavitante com múltiplos jatos, utilizando-o para inativar bactérias presentes em água. O equipamento utilizado por ela é o mesmo a ser utilizado no presente trabalho, com as devidas adaptações. No estudo de Assis, a bactéria empregada foi a *Escherichia coli*, em uma pesquisa que envolveu testes microbiológicos e físico-químicos.

Variando-se as pressões e configurações de bocais, obteve-se sucesso nos ensaios, com resultados de inativação chegando a 93,5% com um único bocal à pressão de operação de 15,0 MPa. Como continuidade desse estudo, Gratieri *et al.* (2018) chegaram à conclusão de que o equipamento tipo jato cavitante se mostra eficiente para a finalidade de tratamento para lançamento de efluentes.

É relativamente comum que conclusões obtidas em um estudo de degradação de um composto sejam extrapoladas para outros tipos de contaminantes. Por exemplo, uma pesquisa afirma que se o processo empregando um reator que gera cavitação é eficiente para a remoção de fármacos, ele também será eficiente para inativar bactérias. Porém, nem sempre é verdade (ZUPANC *et al.*, 2019). Por isso, é importante realizar todos os testes para poder fazer esse tipo de afirmação. No presente trabalho, o equipamento tipo jato cavitante já foi testado com sucesso em pesquisas anteriores para inativação de bactérias e agora o que se propõe é a degradação de cafeína e azul de metileno, que receberão a devida investigação.

Agora, com maior similaridade com os objetivos deste trabalho, serão apresentados estudos que empregam a cavitação hidrodinâmica para degradação de compostos em água.

Gaekwad e Patel (2015) empregaram a cavitação para tratamento de efluentes de indústrias de pesticidas. Após o tratamento, a carga poluente do efluente foi consideravelmente reduzida, em especial a demanda química de oxigênio (DQO) e a cor aparente. A máxima remoção de DQO foi 90,5% e a diminuição da cor aparente foi de 83,2% em 75 minutos de teste.

O trabalho de Patil, Bote e Gogate (2014) teve como objetivo comparar a eficiência da cavitação hidrodinâmica como única forma de tratamento com a combinação da cavitação com POAs. Eles buscaram degradar o pesticida imidacloprida. Para gerar a cavitação, foram usados um Venturi e uma placa de orifício, que foram comparados em termos de consumo de energia, sendo o Venturi mais eficiente. Também, chegou-se à conclusão de que a combinação da cavitação com outros métodos foi mais eficiente em relação ao uso da cavitação somente, já que a combinação aumentou a formação de radicais livres na água. Eles afirmaram que a cavitação hidrodinâmica degrada o pesticida estudado com eficiência.

Jawale, Dapurkar e Gogate (2018) avaliaram a degradação de atrazina, um herbicida, por cavitação hidrodinâmica. Para uma capacidade de 4 litros, a pressão ótima de 3 bar em meio ácido foi a mais eficiente para a degradação. Também, foram testadas as combinações de cavitação hidrodinâmica com outros POAs, sendo os processos híbridos mais eficientes.

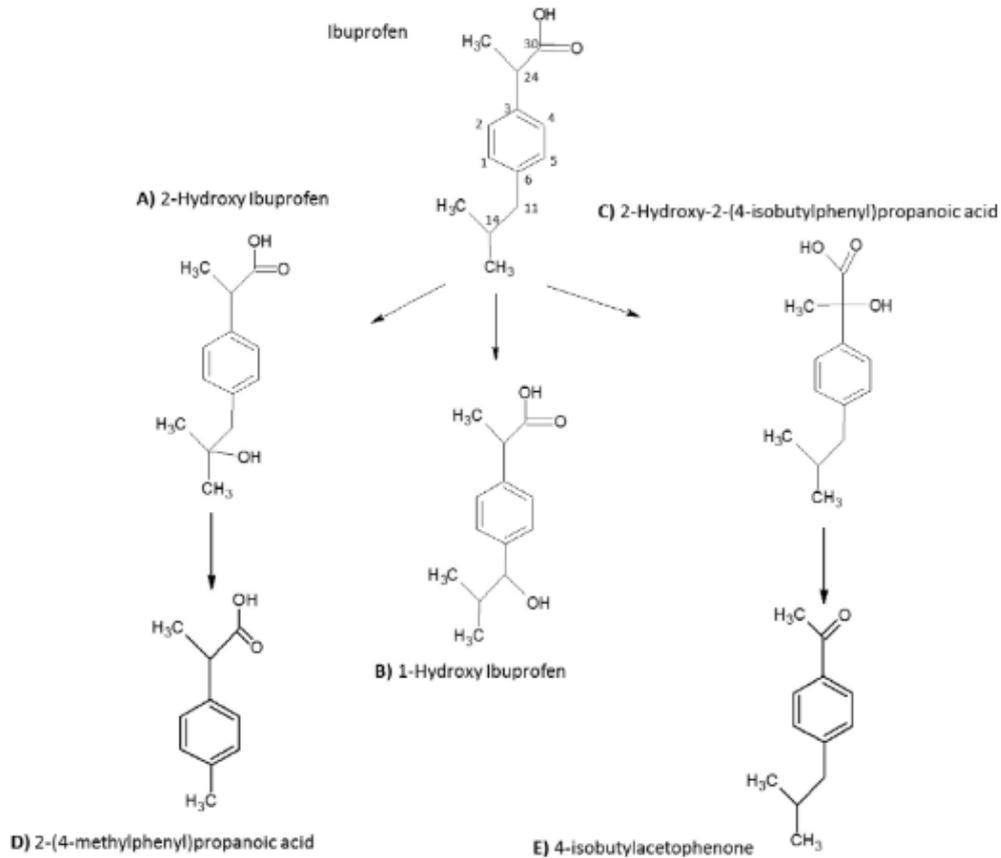
Raut-Jadhav *et al.* (2015) testaram a decomposição do pesticida metomil, que causa danos a organismos humanos e aquáticos, utilizando cavitação hidrodinâmica como único método e, também, combinada com outros métodos para intensificação dos resultados, em processos híbridos. As técnicas utilizadas foram adição de H₂O₂, Fenton e ozonização. Depois de serem inicialmente regulados o pH e a pressão ótimos, foram realizados os testes. Os melhores resultados foram obtidos com cavitação combinada com ozonização. Também, nesse estudo, são mostrados os possíveis compostos intermediários, ou seja, as moléculas menores em que o composto original pode ser quebrado.

O estudo de Gałol, Przyjazny e Boczka (2018) mostra que foi obtida degradação de p-nitrotolueno, p-aminofenol, 1,4-dioxano, alacloro, clorofórmio, tricloroetileno e tetracloro de carbono, utilizando cavitação acústica e hidrodinâmica separadamente, e de mais outros diversos compostos, aliando as técnicas de cavitação com outros POAs. Eles chegaram à conclusão de que é mais vantajoso investir na cavitação hidrodinâmica, em comparação com o uso da tecnologia ultrassônica, pelos menores custos de equipamentos e menor consumo de energia.

O trabalho de Musmarra *et al.* (2016) apresenta a degradação de mais de 60% de ibuprofeno, utilizando apenas cavitação hidrodinâmica por 60 minutos. Dular *et al.* (2016) também estudaram a cavitação hidrodinâmica na degradação de fármacos, entre eles, ácido clofbrico, ibuprofeno, cetoprofeno, diclofenaco e carbamazepina, chegando a 82% de remoção, no melhor resultado.

É importante o estudo dos compostos intermediários, principalmente quando o objeto de estudo é um fármaco ou uma substância prejudicial à saúde. Durante o processo de tratamento, esses fármacos podem ser quebrados em compostos menores nas reações e eles, ainda assim, podem ser nocivos, ou até mais nocivos que o composto original. Por isso, deve-se ter a certeza de que os tratamentos para degradação dos compostos geram subprodutos seguros (DE ANDRADE *et al.*, 2018). Musmarra *et al.* (2016) mostraram os prováveis compostos intermediários resultantes da degradação do ibuprofeno pela cavitação, como mostrado na Figura 4.

Figura 4. Compostos intermediários resultantes da degradação de ibuprofeno por cavitação



Fonte: Musmarra *et al.* (2016).

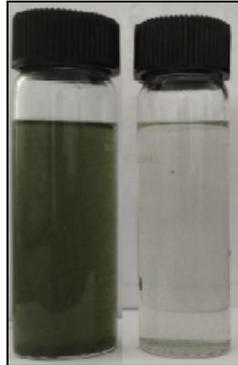
Rajoriya *et al.* (2017) utilizaram oito tipos de equipamento para gerar cavitação, entre placas de orifício e tubos de Venturi. Foi estudada a degradação do corante *reactive blue 13* utilizando cavitação hidrodinâmica, chegando-se à conclusão de que a geometria interfere nos resultados. A degradação máxima foi obtida com o tubo de Venturi a uma pressão ótima de 0,4 MPa, com índice de cavitação 0,08. Também, concluíram que o pH da solução interfere nos resultados, chegando a um ótimo de pH=2. A eficiência de degradação aumentou com a combinação da cavitação com POAs, sendo testados ozônio, oxigênio, H₂O₂ e íon ferroso. A combinação da cavitação com ozônio foi a que apresentou os melhores resultados.

Yi *et al.* (2018) também estudaram a degradação de corante, mas dessa vez, a Rodamina B. Foram comparados os métodos por cavitação hidrodinâmica, cavitação acústica e a combinação dos dois. Foram analisadas e otimizadas diversas variáveis que poderiam interferir na degradação da Rodamina B. São eles: pressão, tempo de tratamento, temperatura, concentração inicial e potência, no caso da cavitação acústica. A cavitação hidrodinâmica,

utilizando Venturi, apresentou melhores resultados que a acústica, mas a combinação das duas foi a que se mostrou mais eficiente em termos de energia e degradação.

Rajoriya *et al.* (2018) analisaram a eficiência da cavitação gerada por um Venturi com a combinação de processos híbridos da cavitação com diversos tipos de POAs para tratamento de efluente de indústria têxtil. Parâmetros como índice de cavitação e pressão, entre outros, foram estudados e os processos foram avaliados quando ao seu efeito sinérgico. A Figura 5 mostra o efluente antes e depois de passar por 60 minutos de tratamento combinando cavitação hidrodinâmica e Fenton. Os processos causaram diminuição de DQO, TOC e cor nas amostras, sendo os híbridos melhores alternativas para o tratamento do efluente de indústria têxtil.

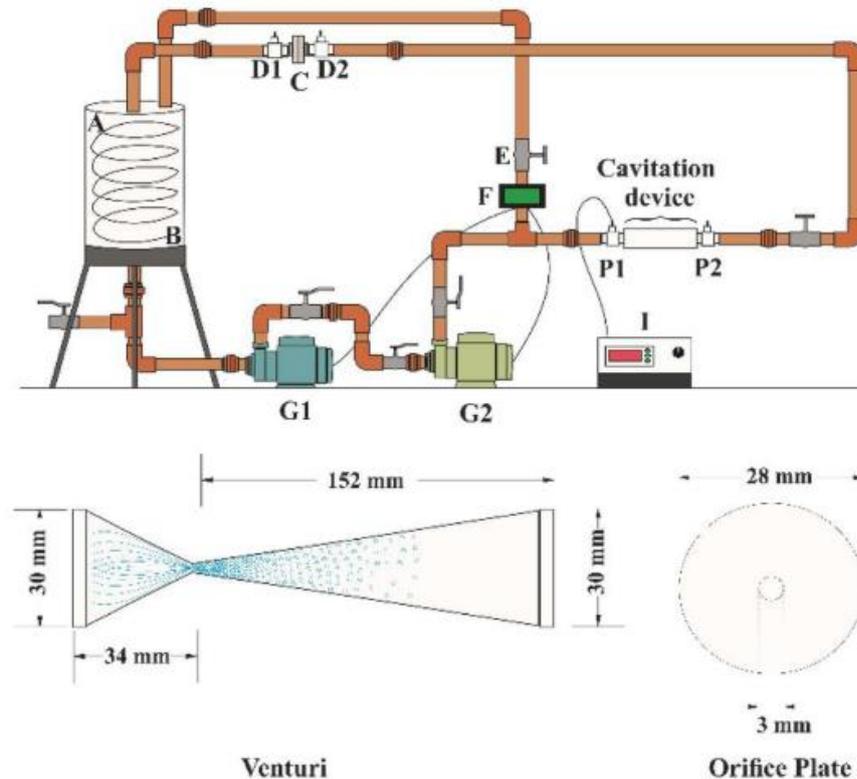
Figura 5. Efluentes antes e depois de tratamento híbrido (cavitação hidrodinâmica e Fenton)



Fonte: Rajoriya *et al.* (2018).

No estudo de Alves *et al.* (2019), foi realizada uma comparação da eficiência entre um Venturi e uma placa de orifício na degradação, em termos de remoção de DQO, de uma solução de sacarose e no tratamento de um efluente real de uma indústria de refrigerante, à base de sacarose. Os autores fizeram a otimização da pressão de entrada e testaram também a sinergia da combinação da cavitação com H_2O_2 , sendo o híbrido muito mais eficiente. Como conclusão, verificou-se que o sistema de cavitação com Venturi tem grande potencial para remover elevadas concentrações de matéria orgânica em um curto tempo de tratamento. Na Figura 6 é possível observar o esquema do equipamento utilizado, assim como o Venturi e a placa de orifício empregados.

Figura 6. Esquema do equipamento utilizado por Alves *et al.* (2019)



Fonte: Alves *et al.* (2019).

Kumar, Sonawane e Pandit (2017) empregaram a cavitação hidrodinâmica para degradação de azul de metileno em solução aquosa. Foi estudada a combinação da degradação com outros processos oxidativos avançados, com peróxido de hidrogênio e dióxido de titânio. A maior degradação do azul de metileno foi obtida a uma pressão de 5 bar e pH 2. O efeito sinérgico dessa combinação de tratamentos foi comprovado, sendo a combinação de cavitação com peróxido de hidrogênio mais eficiente.

Wang, Wang e Su (2022) estudaram a degradação de azul de metileno por cavitação hidrodinâmica, investigando os efeitos da pressão, do pH e da concentração inicial de corante na degradação do azul de metileno. A degradação máxima foi obtida à pressão de 0,3 MPa, pH 2 e concentração inicial de 10 mg/L. Também foi explorada a combinação de cavitação com persulfato de sódio e ozônio, sendo que este último apresentou melhor efeito sinérgico com a cavitação. Com o ozônio a 0,12 g/h, a degradação de azul de metileno foi maior que 99%.

Pode-se afirmar que o uso da cavitação hidrodinâmica empregada no tratamento de água e efluentes apresenta diversas vantagens. A cavitação é um fenômeno físico, não havendo necessidade de adição de produtos químicos à água, como o cloro. Assim, não há geração de subprodutos nocivos durante o processo (LI; SONG; YU, 2014). A formação de subprodutos é

limitada aos compostos intermediários provenientes da decomposição, não havendo risco de reação com outras substâncias nocivas, como o cloro. Também, a cavitação permite a combinação com outras técnicas para melhor eficiência e apresenta bons resultados de decomposição, até mesmo para compostos que são resistentes aos tratamentos tradicionais (DULAR *et al.*, 2016; GAÇOL; PRZYJAZNY; BOCZKAJ, 2018). A cavitação hidrodinâmica tem grande potencial industrial por permitir tratamento contínuo e pode ser aplicada em maior escala, apresentando boa relação custo-benefício (LI; SONG; YU, 2014; PATIL; BOTE; GOGATE, 2014).

Quando comparada à cavitação acústica, a cavitação hidrodinâmica apresenta menores custos. Aliás, a cavitação acústica apresenta algumas desvantagens significantes: longos períodos de tratamento que consomem muita energia; ela suporta apenas pequenos volumes em tratamento contínuo; a aplicação em escala industrial é difícil (KOSEL *et al.*, 2017).

Porém, a cavitação hidrodinâmica também apresenta algumas limitações. A natureza violenta do fenômeno faz com que seja necessária inspeção e manutenção frequentes da parte interna do reator. Além disso, pode não haver degradação total dos compostos, principalmente dos mais complexos, mas esse é um problema que ocorre com todos os POAs. A maioria dos estudos é feita em escala de laboratório, portanto, a viabilidade técnico-econômica e a eficiência energética para maior escala devem ser verificadas em cada situação, apesar de que, inicialmente, pode-se dizer que é possível e viável a aplicação em maior escala (DULAR *et al.*, 2016; GAÇOL; PRZYJAZNY; BOCZKAJ, 2018).

Por fim, a cavitação se mostra como uma técnica eficiente no auxílio ao tratamento de água e efluentes, com vantagens que superam as limitações, levando à hipótese de que seu estudo e aplicação são promissores para a finalidade de degradação de compostos.

3 METODOLOGIA

3.1 Cafeína

Na parte experimental da pesquisa, inicialmente avaliou-se isoladamente o efeito da cavitação na degradação de cafeína. Em seguida, observou-se o efeito de agentes oxidantes na degradação de cafeína e, finalmente, investigou-se a existência de sinergia entre os métodos, combinando cavitação e agentes oxidantes.

Considerando-se a análise do efeito da cavitação isoladamente na degradação de cafeína, os ensaios foram realizados em duas etapas, sendo:

- I. Ensaios de degradação de cafeína por cavitação, em que foram realizados os testes empregando o equipamento tipo jato cavitante;
- II. Análises físico-químicas, em que foram realizadas as análises dos parâmetros físico-químicos das amostras colhidas durante os ensaios de degradação.

Sabendo-se que é possível combinar a cavitação com outros métodos de degradação para aproveitar o efeito sinérgico da combinação em busca de melhores resultados, procedeu-se com a investigação da eficiência da adição de agentes oxidantes ao processo, de forma a catalisar as reações de oxidação. Logo, espera-se que a combinação de cavitação e agente oxidante apresente melhores resultados que a cavitação isolada. O procedimento adotado foi:

1. Escolha dos reagentes;
2. Teste de degradação de cafeína pelo agente oxidante, sem cavitação,
3. Teste de degradação de cafeína pela combinação de cavitação e agente oxidante.

Para a escolha dos reagentes, buscou-se na literatura substâncias comprovadas para a degradação de poluentes em água, chegando-se às seguintes:

- i. Hipoclorito de sódio;
- ii. Persulfato de potássio.

Então, foram realizados os testes de degradação de cafeína pelos reagentes citados, um por vez. Em seguida, foi realizado o teste de degradação combinando cavitação com cada um dos reagentes. Dessa forma, pode-se comparar a degradação promovida pelos seguintes métodos: empregando-se apenas a cavitação, empregando-se apenas o reagente e, finalmente, a combinação de cavitação e reagente no resultado de degradação da cafeína. A descrição dos equipamentos e procedimentos utilizados nos testes mencionados é apresentado nos itens 3.1 a 3.4.

3.1.1 Testes iniciais

3.1.1.1 Método espectrofotométrico para determinação da cafeína

O monitoramento da degradação de cafeína se deu por uma análise espectrofotométrica. Para isso, foi necessário determinar o comprimento de onda em que seria feita a leitura da absorbância das amostras. Então, procedeu-se com a análise de varredura em função do comprimento de onda, empregando o espectrofotômetro Shimadzu, de uma amostra de solução

de cafeína com concentração 10 mg/L, a mesma que seria utilizada nos testes, preparada com água da torneira. Assim, obtém-se a curva que indica o melhor valor de comprimento de onda para leitura da absorbância da cafeína

3.1.1.2 Curva de calibração da cafeína

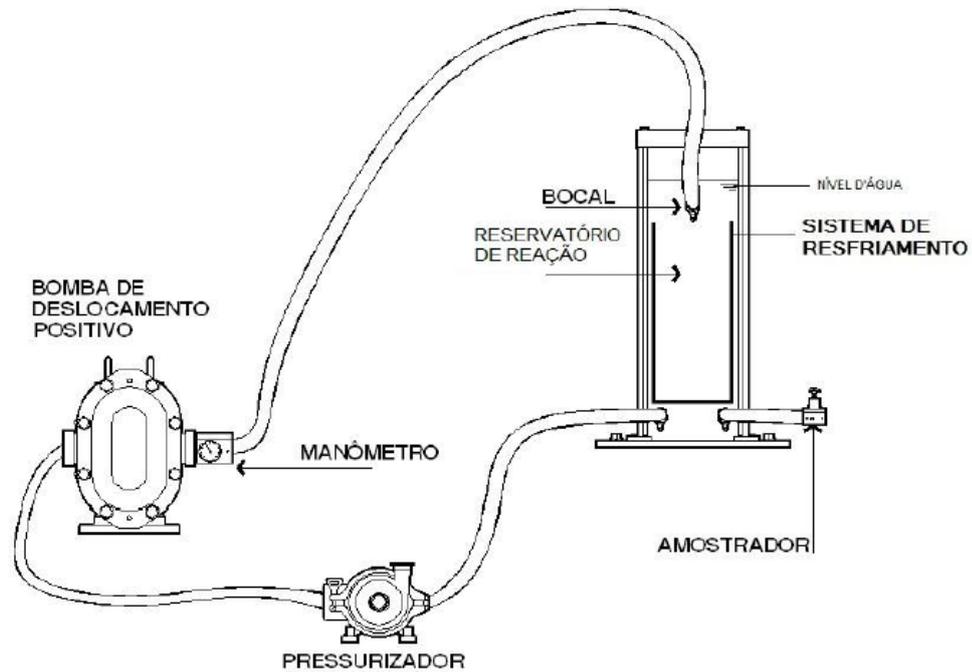
Procedeu-se, então, com a elaboração da curva analítica da cafeína, que permite relacionar a absorbância obtida por espectrofotometria com a concentração de cafeína da amostra, com base em análise gráfica. A absorbância foi medida no comprimento de onda 274 nm.

3.1.2 Ensaio de degradação de cafeína por cavitação

3.1.2.1 Ensaio de degradação

Os ensaios de degradação da cafeína foram realizados com o equipamento tipo jato cavitante, na instalação que se encontra no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos (LHMF) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Um esquema da instalação pode ser visualizado na Figura 7 (Patente: privilégio de Inovação. Número do registro: BR10201501304; DALFRÉ FILHO; GENOVEZ; ASSIS, 2015).

Figura 7. Esquema do equipamento tipo jato cavitante



Fonte: Assis, 2014.

O equipamento apresenta um reservatório cilíndrico confeccionado em aço inoxidável, com diâmetro de 0,68 m e 0,75 m de altura. A capacidade é de 0,246 m³. Há janelas de vidro que possibilitam a visualização da parte interna do reservatório durante os testes. Uma bomba de deslocamento positivo de alta pressão (Prominas, BPS-328-025-MP) recircula a água. Uma bomba centrífuga, que atua como “*booster*”, garante a pressão mínima de operação na entrada da tubulação de sucção da bomba de deslocamento positivo e encontra-se entre o reservatório e a bomba de deslocamento positivo. No reservatório está a água a ser testada, que circula pelo equipamento. A tubulação de recalque possui uma válvula reguladora de pressão, para controlar as pressões dos testes, um manômetro e uma válvula de alívio para garantir a segurança da operação, caso ocorra um aumento súbito da pressão da bomba de deslocamento direto. O equipamento também apresenta uma serpentina de resfriamento em aço inox, acoplada à tampa do reservatório. A serpentina mantém a temperatura constante para evitar a influência da temperatura nos testes. Os equipamentos foram adquiridos e construídos com o auxílio da FAPESP, dos processos 2009/54278-4, 2012/09843-8 e 2019/12166-7. Uma imagem do equipamento pode ser vista na Figura 8.

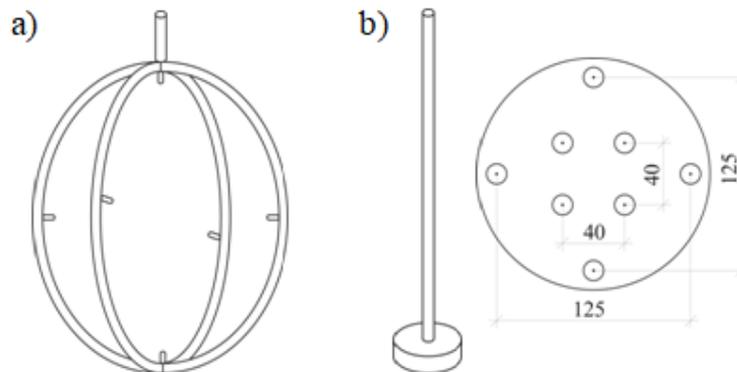
Figura 8. Foto do equipamento tipo jato cavitante



Fonte: a autora.

Na saída da tubulação de recalque e dentro do reservatório, encontram-se os bocais em aço inox. Durante os testes, com o reservatório cheio, os bocais ficam submersos, possibilitando a formação dos jatos cavitantes. É possível utilizar diferentes configurações de bocais, que permitem a realização de ensaios com jato único ou múltiplos jatos. O sistema tridimensional da Figura 9(a) permite testar até seis bocais intercambiáveis em conjunto e o sistema plano da Figura 9(b) permite testar até oito bocais intercambiáveis em conjunto.

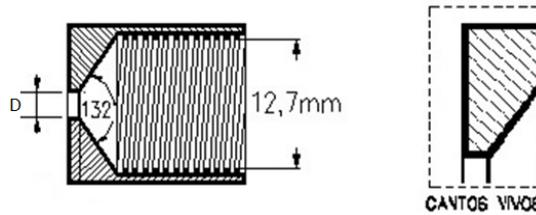
Figura 9. Esquema das configurações de bocais a) tridimensional e b) plana (medidas em dm)



Fonte: a autora.

A Figura 10 mostra o esquema do bocal simples de geometria interna cônica de 132° , desenvolvido por Dalfré Filho (2005). Neste trabalho, todos os bocais possuem geometria cônica de 132° , mas apresentam diâmetros de orifício diferentes. Os jatos que saem pelos bocais não causam qualquer desgaste nos componentes da instalação.

Figura 10. Bocal de geometria cônica de 132°



Fonte: Dalfré Filho (2005).

Foram utilizadas três configurações de bocais, já utilizadas em pesquisas realizadas anteriormente, descritas por Assis (2014):

- a) configuração tridimensional com seis bocais com diâmetro de orifício 0,5 mm;
- b) configuração tridimensional com bocal único com diâmetro de orifício de 1,5 mm, localizado na posição superior da configuração;
- c) configuração plana com 8 bocais com orifício de 0,5 mm.

Serão testadas três pressões pré-estabelecidas: 5,0, 15,0 e 25,0 MPa. Todas as configurações de bocais foram testadas com todas as pressões.

A cafeína foi adicionada à água no reservatório do equipamento tipo jato cavitante antes do início dos testes em concentração próxima às verificadas em estudos semelhantes da literatura. Apesar de não retratar a realidade da concentração de cafeína encontrada em corpos hídricos naturalmente (CANELA *et al.*, 2014), a concentração estabelecida mais elevada é convencional em estudos que visam análise de degradação desse composto (FAGNANI *et al.*, 2013), dados os limites de detecção dos equipamentos para análise. Foram adicionados 2,46 gramas de cafeína em pó aos 246 litros de água presentes no reservatório, resultando em uma solução de concentração 10 mg/L, mantendo a recirculação da água no equipamento sem pressão por 5 minutos para homogeneização da cafeína no reservatório. Essa concentração foi mantida em todos os testes. Foi utilizada água da rede de abastecimento para os testes.

Com o equipamento funcionando, a solução de cafeína recircula pelo equipamento, passando diversas vezes pela zona de cavitação dentro do reservatório, onde é promovida a degradação. Amostras da solução foram retiradas antes do início do teste de degradação por cavitação, logo após a adição da cafeína, e em intervalos determinados, durante todo o tempo de ensaio. O tempo total de ensaio foi de 60 minutos, com amostras coletadas nos seguintes tempos: 0, 15, 30 e 60 min. As amostras foram analisadas como descrito no item a seguir.

É importante destacar que, como premissa, o sistema aqui estudado é de simples operação, com testes rápidos e o menor emprego de químicos para a degradação.

3.1.2.2 Análise das amostras

Ao final do ensaio de degradação, as amostras foram analisadas no Laboratório Multiusuário de Saneamento (LABSAN) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.

Para a análise da degradação de cafeína, foi realizada a análise da absorvância das amostras, obtida por espectrofotometria na região do UV-Vis.

Foram, ainda, realizados testes físico-químicos nas amostras, sendo:

- condutividade, empregando condutivímetro MicroNal B330;
- pH, utilizando pHmetro Digimed DM-20;
- temperatura, com termômetro;
- turbidez, com turbidímetro HACH 2100N;
- oxigênio dissolvido, com oxímetro EcoSense DO200A.

Os resultados de tais testes indicam as condições das amostras antes e após passarem pelo tratamento com cavitação, indicando a qualidade da água tratada e se tais fatores podem ter influenciado nos resultados de degradação.

3.1.3 Ensaios de degradação de cafeína por agentes oxidantes

Os testes de degradação de cafeína por agentes oxidantes foram realizados no Laboratório Multiusuário de Saneamento (LABSAN) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.

Esses testes foram realizados em béquer sobre agitador magnético. No béquer, foram adicionados somente as soluções de cafeína e de reagente, preparadas com água da rede de abastecimento. As condições de ensaio encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Condições de ensaio para testes de degradação de cafeína por agentes oxidantes

| Teste | Concentração de reagente | Concentração de cafeína |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Hipoclorito de sódio | 111,1 mg/L | 10 mg/L |
| Persulfato de potássio | 403,6 mg/L | 10 mg/L |

Fonte: a autora.

O tempo total de cada ensaio foi de 60 minutos, com amostras coletadas nos seguintes tempos: 0, 15, 30 e 60 min.

A análise das amostras também foi feita no LABSAN. Para a análise da degradação de cafeína, foi realizada a análise da absorbância das amostras, obtida por espectrofotometria na região do UV-Vis.

3.1.4 Ensaios de degradação de cafeína por cavitação associada a agentes oxidantes

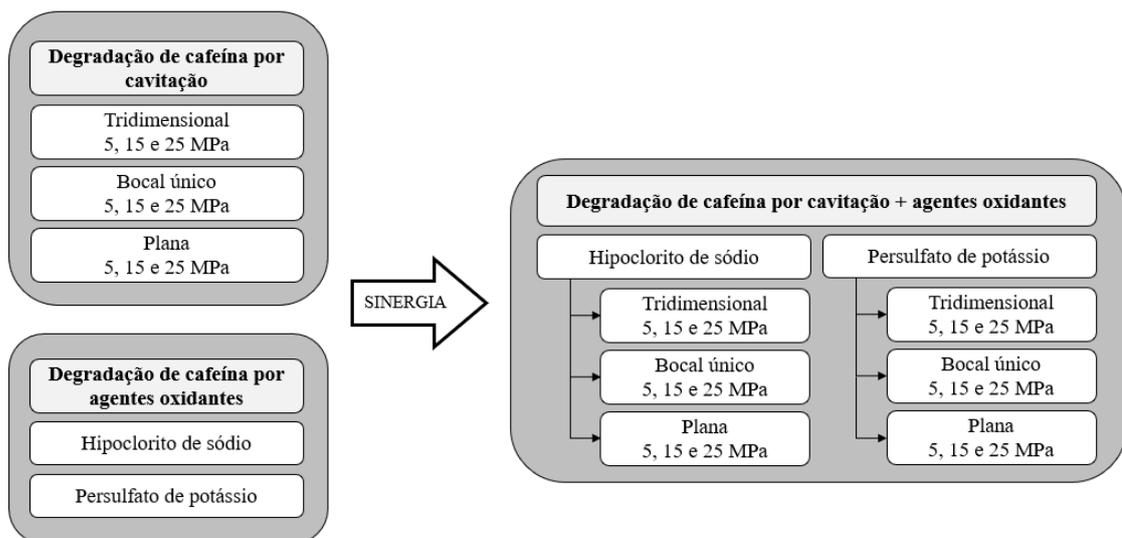
Os testes de degradação combinando cavitação com cada um dos reagentes foram realizados seguindo a metodologia exposta no item 3.1.2, porém, adicionando o reagente no início do teste, juntamente com a cafeína. As concentrações utilizadas foram as mesmas apresentadas na Tabela 2.

As análises procederam como mencionado no item 3.1.2.2.

Dessa forma, pôde-se comparar a degradação promovida pelos seguintes métodos: apenas cavitação, apenas agente oxidante e combinação de cavitação e agente oxidante, para diferentes configurações de bocais do equipamento e pressões de teste, a fim de se obter o sistema mais eficiente.

A Figura 11, a seguir, ilustra, em resumo, o esquema de ensaios com cafeína.

Figura 11. Esquema de ensaios com a cafeína



Fonte: a autora.

3.2 Azul de metileno

3.2.1 Ensaios de degradação do azul de metileno por cavitação

Para o azul de metileno, inicialmente, avaliou-se isoladamente o efeito da cavitação na degradação de cafeína. Utilizou-se o corante azul de metileno em pó, adicionado à água do reservatório em uma concentração de 10 mg/L.

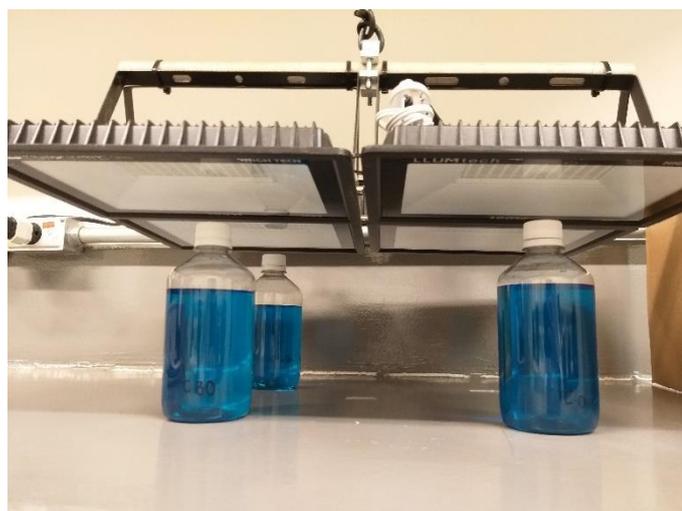
Os ensaios de degradação no LHMF e as análises das amostras no LABSAN seguem a mesma metodologia apresentada para a cafeína no item 3.1.2.1, porém, empregando apenas a pressão de 25,0 MPa.

3.2.2 Ensaios de degradação do azul de metileno por fotólise empregando luz artificial

A etapa seguinte consistiu na avaliação do efeito de luz artificial sobre o azul de metileno, a fim de se avaliar o efeito de degradação do mesmo por fotólise.

Para isso, amostras de água da rede de abastecimento adicionadas de azul de metileno na concentração 10 mg/L foram expostas a quatro lâmpadas de LED, do tipo refletor, de 100 W cada e comprimento de onda 380-840 nm. A configuração das lâmpadas e das amostras é mostrada na figura a seguir. As amostras foram mantidas imóveis em suas posições sob as lâmpadas durante todo o teste.

Figura 12. Esquema de ensaios com o azul de metileno



Fonte: a autora.

3.2.3 Ensaios de degradação do azul de metileno por cavitação associada à fotólise

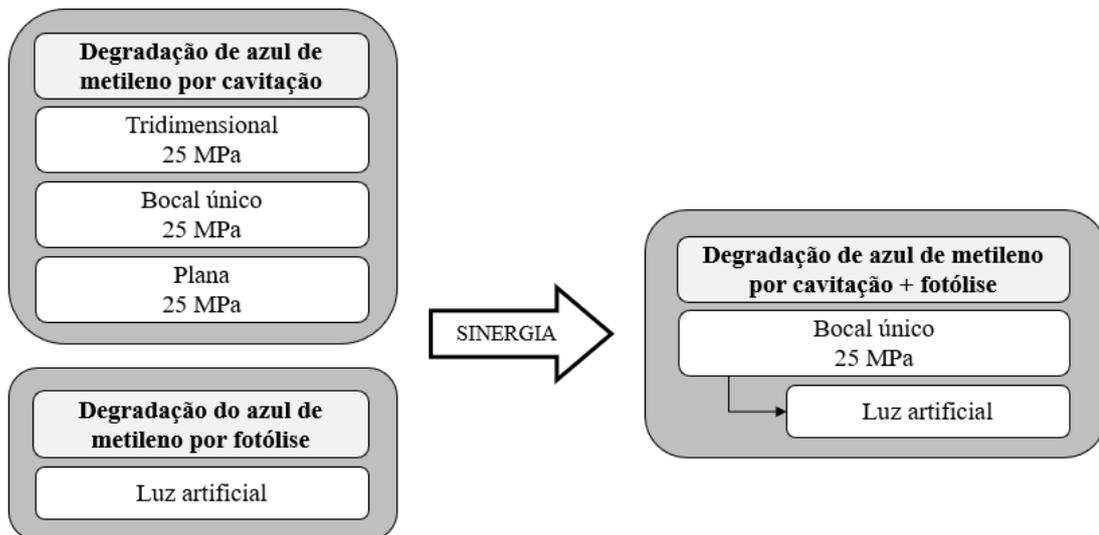
Os testes de degradação combinando cavitação e fotólise foram realizados seguindo a metodologia exposta no item 3.1.2, porém, após a etapa de cavitação, as amostras foram expostas à luz de LED, como mencionado no item 3.2.2.

As análises procederam como mencionado no item 3.1.2.2.

Dessa forma, pôde-se comparar a degradação promovida pelos seguintes métodos: apenas cavitação, apenas fotólise e combinação de cavitação e fotólise.

A figura a seguir ilustra, em resumo, o esquema de ensaios com o azul de metileno.

Figura 13. Esquema de ensaios com o azul de metileno



Fonte: a autora.

4 RESULTADOS

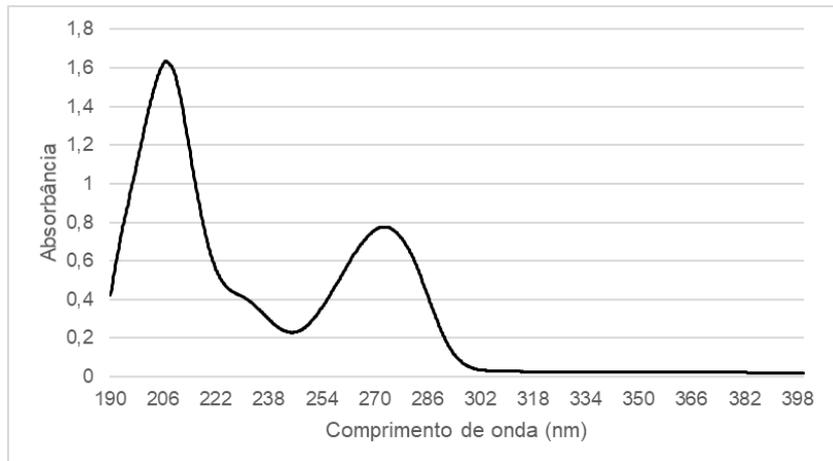
4.1 Cafeína

4.1.1 Testes iniciais

- Método espectrofotométrico para determinação da cafeína

Como mencionado na metodologia, determinou-se o comprimento de onda em que seria feita a leitura da absorbância das amostras. Na Figura 14 apresentado o resultado dessa análise.

Figura 14. Análise de varredura de solução de cafeína a 10 mg/L no espectrofotômetro



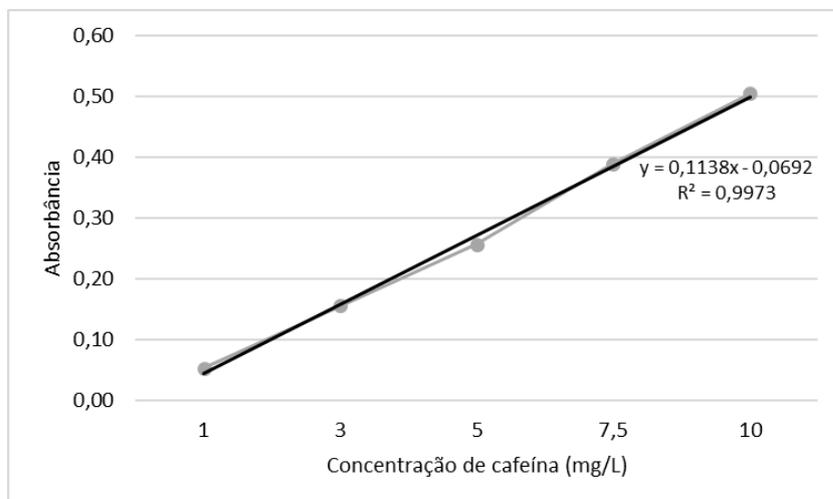
Fonte: a autora.

A Figura 14 indica que o melhor valor de comprimento de onda para leitura da absorvância da cafeína é em torno de 274 nm, indicado pelo pico em que há maior absorção de luz apenas pelo composto que se quer analisar. O valor de 274 nm é condizente com o encontrado na literatura especializada.

- Curva de calibração da cafeína

O resultado da elaboração da curva analítica da cafeína é apresentado na Figura 15. A partir da equação obtida, é possível obter o valor da concentração de cafeína na amostra (x) a partir da absorvância lida nas amostras (y).

Figura 15. Curva de calibração da cafeína

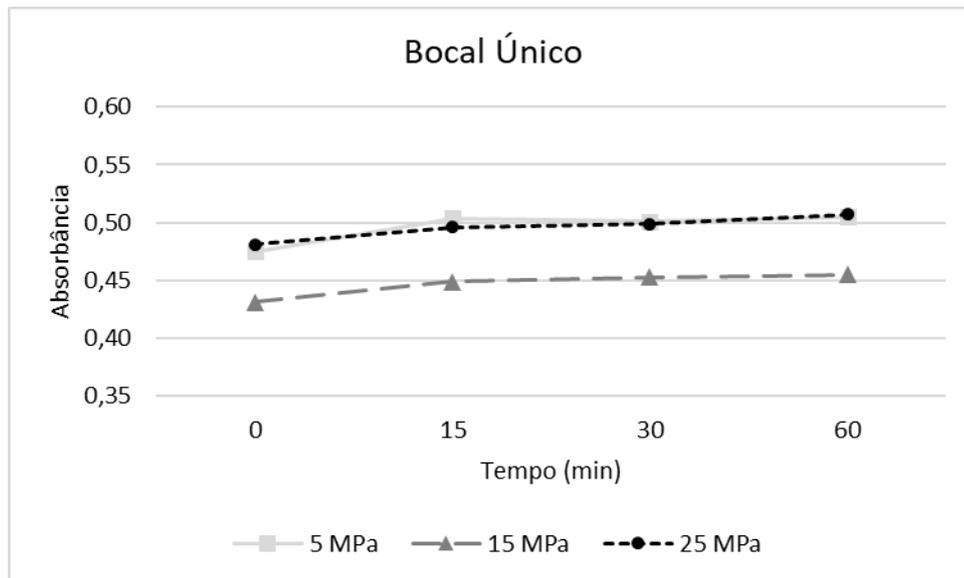


Fonte: a autora.

4.1.2 Ensaios de degradação de cafeína por cavitação

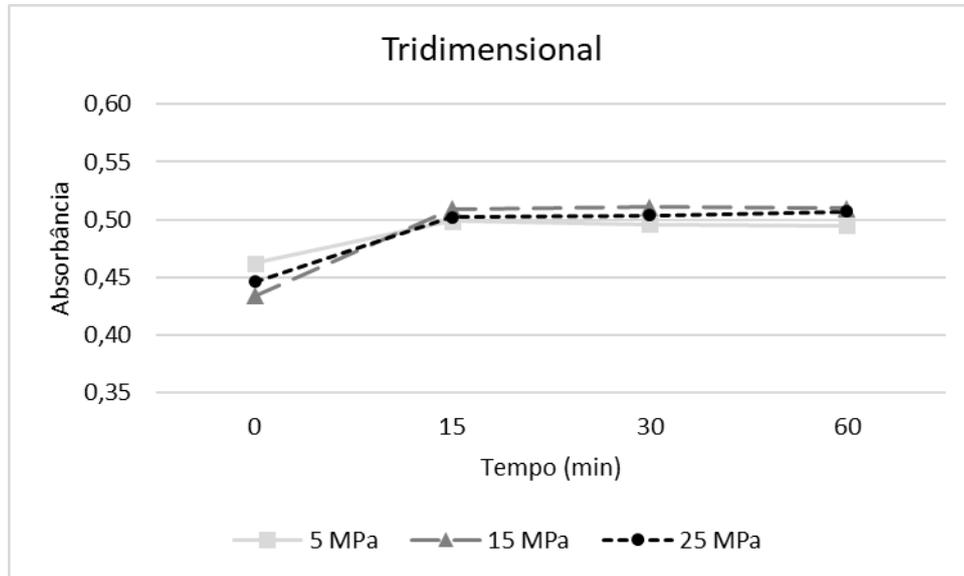
Inicialmente, os ensaios foram realizados como planejado, testando-se a degradação da cafeína por cavitação para três configurações diferentes de bocais, a três pressões distintas para cada configuração. Os resultados das análises de absorbância, obtidos a partir da leitura em 274 nm, são apresentados nos gráficos das Figuras 16,17 e 18 em que a absorbância é analisada em relação ao tempo de ensaio para cada configuração de bocal, a saber Figura 16, bocal único, Figura 17, tridimensional e Figura 18, plano. Os valores para cada ponto foram obtidos apenas uma vez.

Figura 16. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com bocal único e diferentes pressões



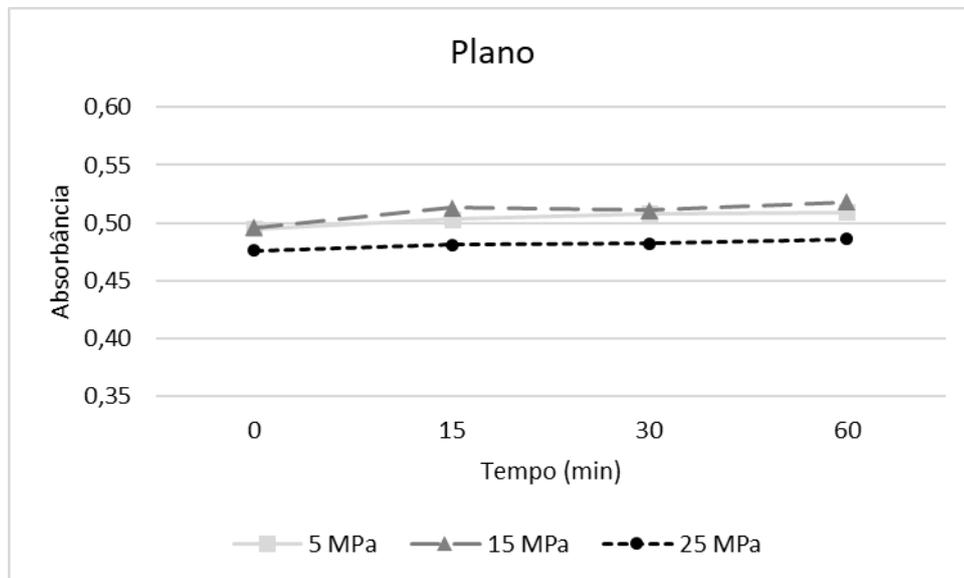
Fonte: a autora.

Figura 17. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração tridimensional com 6 bocais e diferentes pressões



Fonte: a autora.

Figura 18. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração plana com 8 bocais e diferentes pressões



Fonte: a autora.

Como observado nos gráficos das Figuras 16,17 e 18, não foram obtidos os resultados esperados nessa primeira etapa de testes, visto que não houve degradação da cafeína nas condições estabelecidas. Nota-se, para todas as configurações de bocais e pressões, que a absorbância se mantém constante, ou seja, não há diminuição da concentração da cafeína ao longo do ensaio e, portanto, observa-se que não houve degradação. Tal resultado pode ser

devido ao fato de que o tempo de ensaio, dadas as condições de volume de teste, não é suficiente para causar degradação, visto que o volume todo pode passar poucas vezes pela região de cavitação, onde ocorreria a degradação. As variações de leitura em um mesmo teste podem ser atribuídas a erros de leitura no espectrofotômetro.

Pode-se, ainda, verificar os resultados das análises físico-químicas, realizadas como descrito na metodologia apresentada. As Tabelas 3 a 7 apresentam esses resultados.

Tabela 3. Resultados das análises de temperatura

| Temperatura (°C) | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Tempo (min) | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 25,8 | 24,4 | 26,7 | 24,5 | 25,5 | 24,0 | 24,9 | 23,3 | 25,5 |
| 15 | 26,2 | 26,6 | 30,0 | 25,6 | 26,7 | 27,2 | 25,9 | 26,1 | 28,3 |
| 30 | 26,2 | 27,5 | 31,0 | 26,2 | 27,2 | 28,4 | 26,1 | 26,9 | 29,2 |
| 60 | 25,4 | 27,3 | 32,0 | 26,5 | 27,8 | 29,4 | 26,4 | 27,4 | 30,8 |

Fonte: a autora.

Nota-se que a temperatura aumenta com o passar do tempo durante o ensaio, o que esperado e condizente com a pressão utilizada. Deve-se ressaltar que o sistema foi projetado com uma serpentina de maneira a manter a temperatura dos testes o mais constante possível, com temperaturas variando entre 20 e 30 °C. A temperatura foi medida em todos os testes, garantindo-se a manutenção da solução testada nessa faixa de temperatura, dado que temperaturas elevadas prejudicam o equipamento tipo jato cavitante.

Tabela 4. Resultados das análises de oxigênio dissolvido

| Oxigênio dissolvido (mg/L) | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Tempo (min) | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 6,4 | 6,4 | 6,1 | 7,4 | 6,6 | 6,8 | 7,1 | 6,6 | 6,3 |
| 15 | 5,8 | 5,4 | 4,9 | 7,4 | 6,2 | 6,3 | 7,1 | 6,1 | 5,6 |
| 30 | 5,6 | 5,2 | 5,7 | 7,2 | 5,8 | 5,4 | 7,0 | 5,9 | 5,2 |
| 60 | 6,4 | 5,3 | 5,8 | 7,0 | 5,8 | 5,0 | 6,8 | 5,8 | 5,1 |

Fonte: a autora.

Da mesma forma, nota-se que o oxigênio dissolvido variou pouco, entre 5,0 e 7,4, não apresentando uma tendência. A variação observada pode ser devida à incorporação natural de ar do processo, ocasionada pela turbulência.

Tabela 5. Resultados das análises de pH

| pH | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Tempo (min) | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 5,87 | 7,23 | 7,27 | 6,96 | 6,92 | 7,16 | 7,16 | 7,13 | 7,11 |
| 15 | 6,58 | 7,41 | 7,46 | 7,05 | 7,38 | 7,31 | 7,43 | 7,37 | 7,36 |
| 30 | 7,04 | 7,31 | 7,49 | 7,14 | 7,50 | 7,41 | 7,52 | 7,49 | 7,52 |
| 60 | 7,16 | 7,39 | 7,45 | 7,41 | 7,15 | 7,15 | 7,54 | 7,57 | 7,61 |

Fonte: a autora.

Como uma das premissas do sistema seria trabalhar com a menor introdução de produtos químicos para tratamento e, também, pelo desgaste que o sistema sofre com a introdução de reagentes, manteve-se o pH constante, próximo do neutro, sem alterações provocadas para favorecimento de reações, por exemplo. Observa-se que o pH medido é próximo do neutro em todos os ensaios.

Tabela 6. Resultados das análises de condutividade

| Condutividade (μS) | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Tempo (min) | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 296 | 290 | 304 | 253 | 256 | 256 | 265 | 256 | 267 |
| 15 | 306 | 302 | 296 | 253 | 265 | 273 | 270 | 270 | 284 |
| 30 | 310 | 310 | 314 | 260 | 235 | 276 | 269 | 273 | 288 |
| 60 | 308 | 312 | 338 | 262 | 271 | 280 | 271 | 274 | 294 |

Fonte: a autora.

A condutividade também não apresenta grandes variações, permanecendo entre 235 e 338 μS .

Tabela 7. Resultados das análises de turbidez

| Turbidez (UT) | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Tempo (min) | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 2,02 | 1,31 | 0,80 | 4,35 | 3,97 | 4,22 | 1,61 | 2,84 | 1,22 |
| 15 | 1,72 | 1,01 | 1,26 | 1,00 | 0,88 | 2,90 | 1,73 | 1,31 | 1,51 |
| 30 | 1,87 | 1,10 | 1,83 | 1,02 | 0,88 | 3,22 | 1,83 | 1,44 | 1,76 |
| 60 | 1,89 | 1,24 | 4,28 | 1,12 | 1,06 | 3,62 | 1,98 | 1,64 | 2,30 |

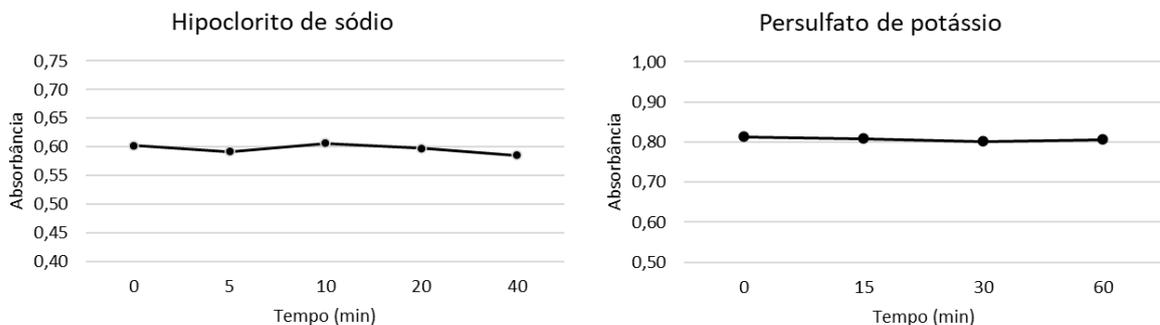
Fonte: a autora.

Nota-se que os valores da turbidez apresentaram comportamento bastante variado entre os testes. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que a água recirculava pelo sistema e poderia incorporar impurezas incrustadas nas tubulações e na bomba, comumente encontradas em instalações do tipo, que se misturam à água do reservatório, porém, sem prejudicar as análises propostas.

4.1.3 Ensaio de degradação de cafeína por agente oxidante

Considerando-se os resultados das Figuras 16 a 18, decidiu-se pela adição de novos testes à programação de ensaios, de forma a buscar uma degradação eficiente da cafeína em água. A seguir, são apresentados os resultados dos testes de degradação de cafeína apenas por agentes oxidantes. As leituras de absorbância foram realizadas no comprimento de onda 274 nm.

Figura 19. Resultados de degradação de cafeína por agentes oxidantes



Fonte: a autora.

Nota-se, pelos gráficos apresentados nas figuras, que nenhum dos reagentes foi capaz de degradar a cafeína de modo eficiente durante o tempo de ensaio. Assim como nas análises anteriores, a absorvância se mantém constante ao longo do tempo de teste, para todos os ensaios.

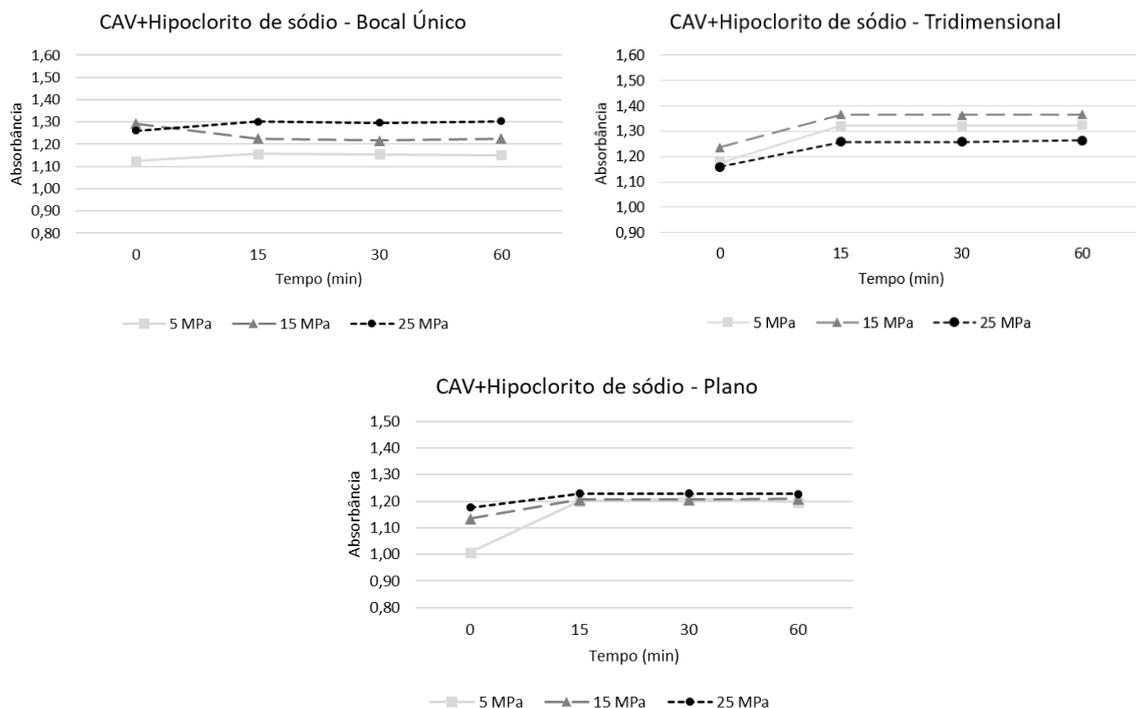
Assim, esperava-se que houvesse sinergia na combinação de processos, ou seja, que os testes de degradação de cafeína por cavitação e agentes oxidantes apresentassem resultados significativos de degradação.

4.1.4 Ensaios de degradação de cafeína por cavitação associada a agentes oxidantes

Buscando-se o efeito sinérgico da combinação de métodos em busca de melhores resultados, procedeu-se com a investigação da eficiência da adição de reagentes ao processo. Logo, espera-se que a combinação de cavitação e agente oxidante apresente melhores resultados que a cavitação isolada.

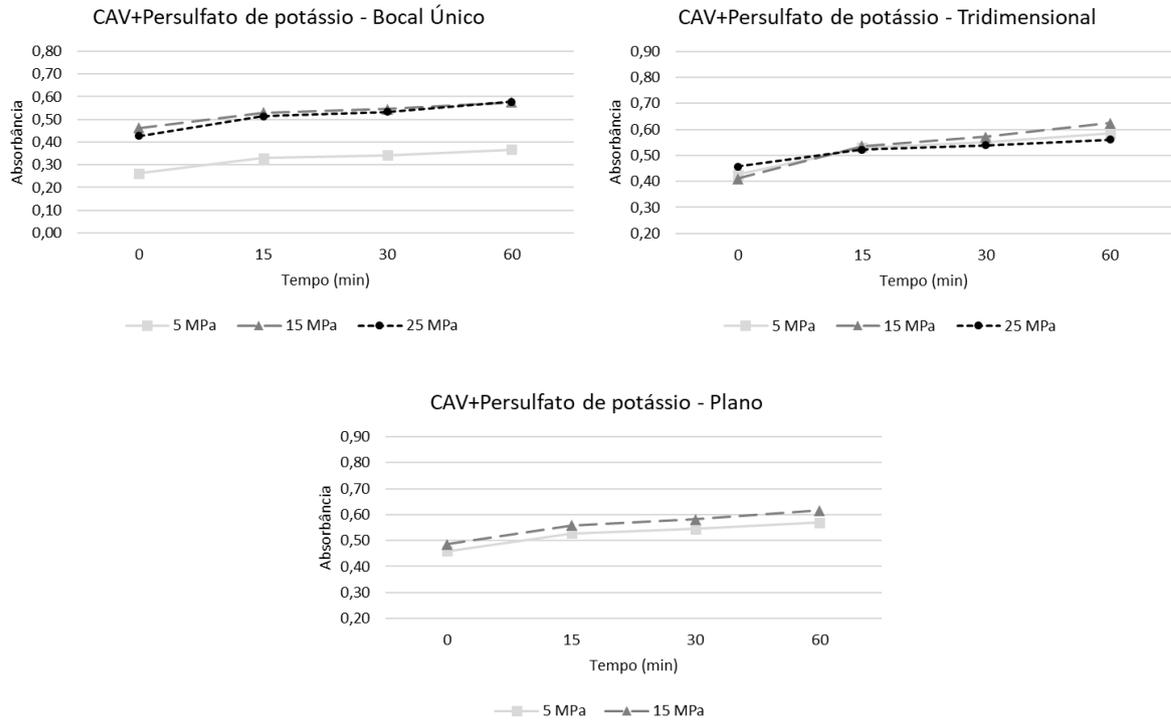
Na Figura 20 mostra-se o resultado da degradação da cafeína por cavitação (CAV) e hipoclorito de sódio, pelo tempo, para cada tipo de bocal empregado no sistema. A Figura 21 apresenta o resultado da degradação de cafeína por cavitação (CAV) e persulfato de potássio. São apresentados os resultados das leituras de absorvância desses testes, realizadas no comprimento de onda 274nm.

Figura 20. Resultados de degradação dos ensaios de cavitação e hipoclorito de sódio



Fonte: a autora.

Figura 21. Resultados de degradação dos ensaios de cavitação e persulfato de potássio



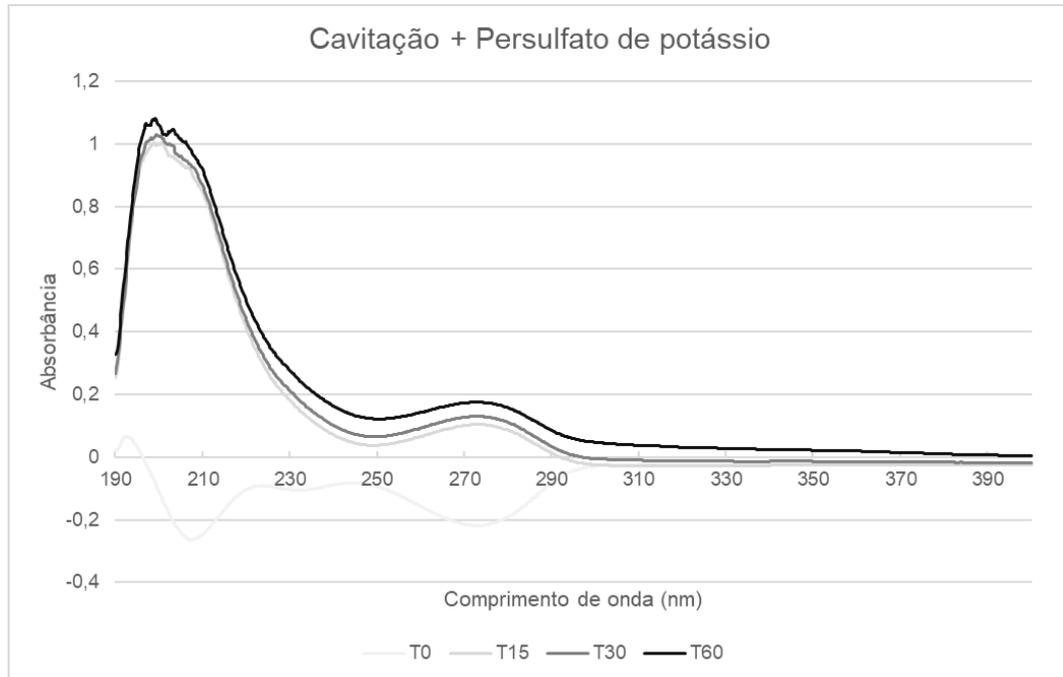
Fonte: a autora.

Analisando os gráficos apresentados para cavitação combinada com hipoclorito de sódio e persulfato de potássio, observa-se que as leituras de absorbância não decaem ao longo do tempo de teste. Assim, pode-se afirmar que não houve degradação e que a ação sinérgica dos métodos não foi eficiente na degradação de cafeína.

Porém, da análise do persulfato, nota-se um aumento da absorbância com o passar do tempo. Assim, decidiu-se pela realização de uma investigação mais aprofundada para descobrir a causa desse aumento, com base na hipótese de que poderia ser um indicativo de que estariam sendo formados subprodutos resultantes da degradação de cafeína, cuja leitura, feita no mesmo comprimento de onda da cafeína, causaria o valor aumentado da absorbância.

Procedeu-se, então, com a análise da absorbância por espectrofotometria de varredura, cujo resultado é apresentado na Figura 22.

Figura 22. Análise de varredura das amostras do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com persulfato de potássio



Fonte: a autora.

Analisando a Figura 22, nota-se leve aumento da absorvância no comprimento de onda 274 nm, região de absorção da cafeína. Opta-se por não considerar a leitura T0, já que os dados são inconsistentes devido a erro de análise ou de tratamento de dados. Essa análise apresenta resultado instigante, visto que em análises anteriores a absorvância se mantinha constante e, aqui, aumentou.

Uma hipótese para o aumento da absorvância ao longo do tempo de ensaio é a de que não há homogeneidade no meio. Sem a introdução de mais azul de metileno no reservatório, não seria possível o aumento da absorvância e, conseqüentemente, da concentração da solução ao longo do ensaio. Assim, supõe-se que, quando as amostras foram tiradas, a solução não estava totalmente homogeneizada, ou seja, havia pontos, dentro do volume de teste, com diferentes concentrações. Com os dados obtidos, não é possível afirmar que a condição de homogeneidade foi obtida aos 60 minutos de teste.

Assim, identificou-se a necessidade de atentar para a homogeneização da solução testada. Nota-se que a absorvância no instante inicial de testes é menor que a absorvância obtida nas amostras seguintes. Isso pode ser explicado pela falta de homogeneização da cafeína no volume total de teste. O reservatório utilizado apresenta um volume grande de solução e, para que todos os pontos do volume possuam a mesma concentração de cafeína, deve-se garantir

que a solução esteja homogênea, o que não parece ser o caso nos testes realizados. Portanto, optou-se por adaptar a metodologia de forma a obter uma solução homogênea antes do início dos testes, o que será descrito adiante.

4.1.5 Homogeneização da solução de teste e novos ensaios de degradação

Como mencionado no Item 4.2.1, verificou-se falta de homogeneidade da solução nos testes de degradação de cafeína por cavitação inicialmente realizados. Assim, optou-se por ajustar a metodologia da pesquisa de forma a garantir a homogeneização antes do início de cada ensaio.

O reservatório do equipamento tipo jato cavitante foi adaptado para que fosse incluído um *mixer* industrial, que misturasse o volume intensamente de forma eficiente. Na Figura 23, apresenta-se o *mixer* instalado. O *mixer* é móvel, podendo ser removido nas etapas em que ele não é utilizado.

Figura 23: *Mixer* instalado no reservatório do equipamento tipo jato cavitante

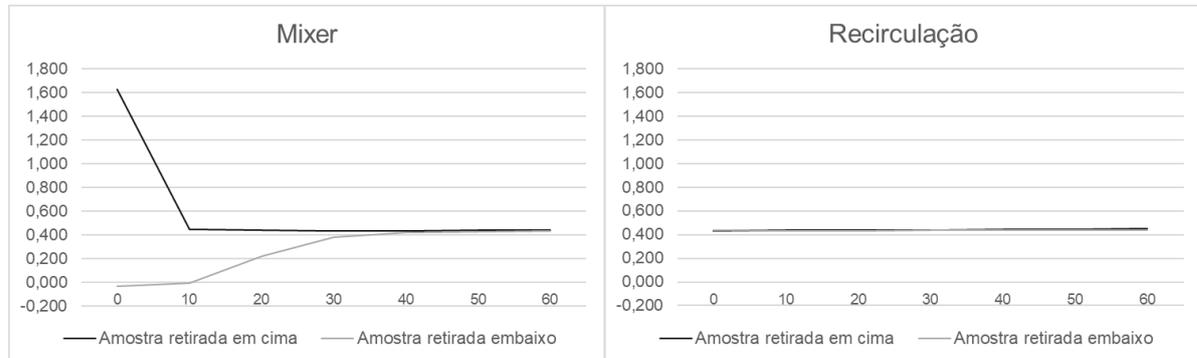


Fonte: a autora.

Foram realizados testes iniciais de homogeneização para definir o tempo em que o *mixer* seria utilizado antes dos testes de degradação. Para isso, adicionou-se cafeína à água do reservatório em concentração de 10 mg/L e mediu-se a absorvância de amostras coletadas a cada 10 minutos, durante uma hora. As amostras de cada tempo foram coletadas na parte superior e na parte inferior do reservatório, a fim de se comparar os valores. Em caso de valores

diferentes em pontos diferentes do reservatório, a solução de teste não estaria homogênea, ou seja, a concentração de cafeína não estaria igual em todo o volume.

Figura 24: Resultados de absorvância obtidos ao coletar amostras de pontos diferentes do reservatório durante o uso do *mixer* e posterior recirculação



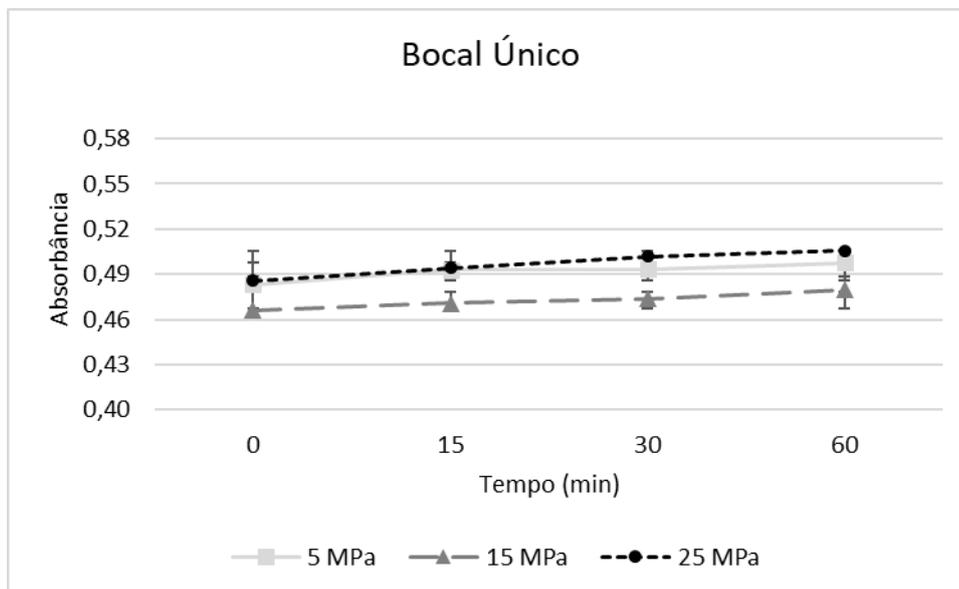
Fonte: a autora.

Nota-se, da Figura 24, que os resultados obtidos com o *mixer* para as amostras coletadas em cima e embaixo passam a ser equivalentes a partir de aproximadamente 60 minutos, ou seja, a partir desse tempo com o *mixer* em funcionamento obtém-se a homogeneidade da solução.

Assim, definiu-se por uma hora de utilização do *mixer* para homogeneização, seguida de 20 minutos de recirculação, sem pressão. Esse procedimento foi seguido antes do início dos testes de cavitação para todos os demais ensaios realizados.

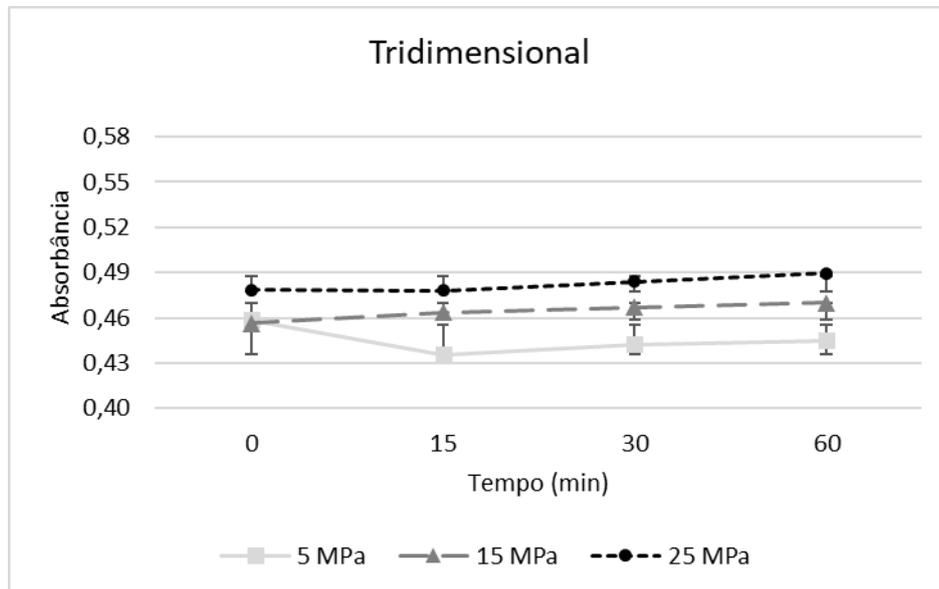
Então, realizou-se uma nova leva de testes para investigação da degradação de cafeína por cavitação, agora utilizando a metodologia ajustada, incluindo a homogeneização antes da cavitação. Os resultados das leituras e absorvância no comprimento de onda 274 nm são apresentados a seguir para os testes realizados com bocal único, tridimensional e plano (Figuras 25, 26 e 27, respectivamente), às pressões de 5, 15 e 25 MPa, durante 60 minutos de ensaio. As medidas foram feitas em triplicata e os resultados apresentados representam a média dos valores obtidos.

Figura 25. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com bocal único e diferentes pressões



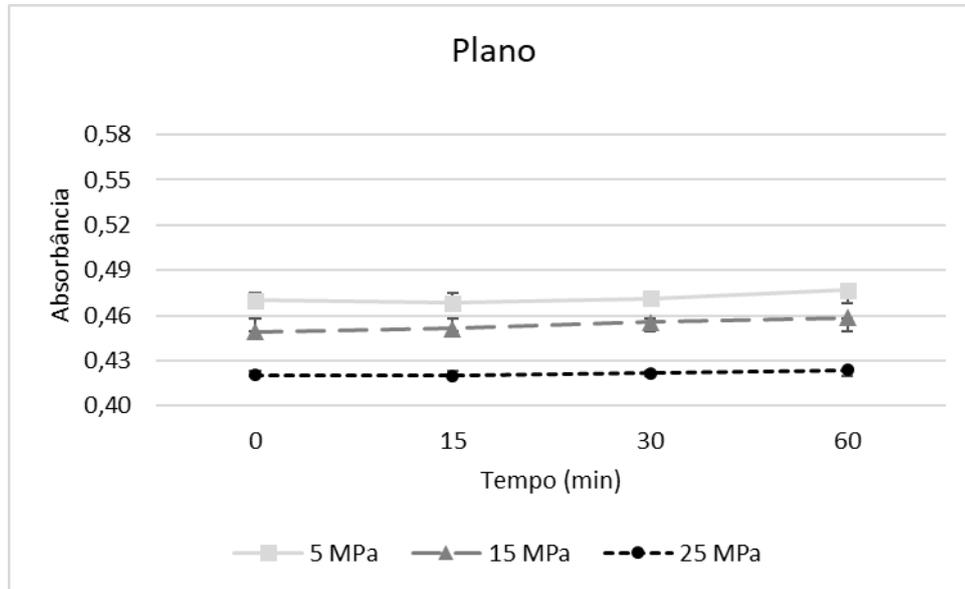
Fonte: a autora.

Figura 26. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração tridimensional com 6 bocais e diferentes pressões



Fonte: a autora.

Figura 27. Resultado do ensaio de degradação de cafeína por cavitação com configuração plana com 8 bocais e diferentes pressões

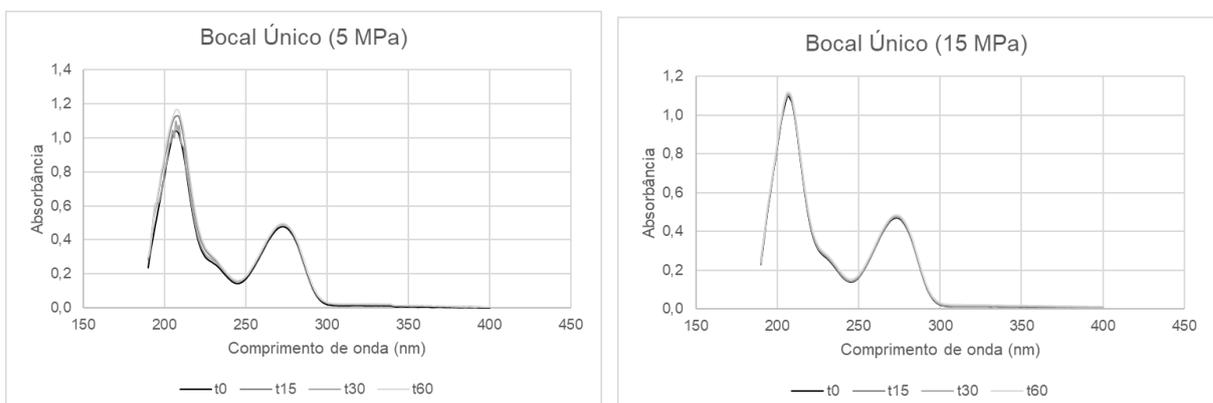


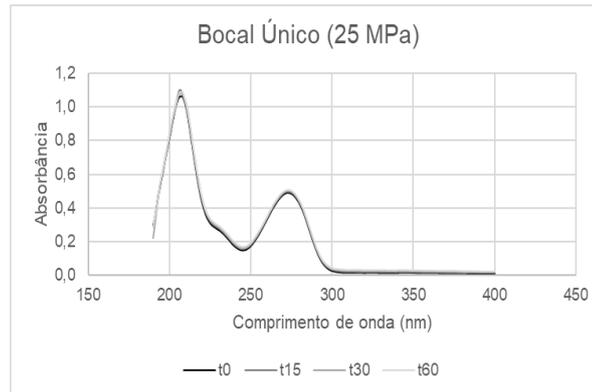
Fonte: a autora.

Como esperado, os resultados obtidos evidenciam uma melhora em relação à homogeneização da solução testada, devido à utilização do *mixer* e da recirculação antes do início dos testes com cavitação.

Porém, não houve degradação da cafeína provocada pela cavitação, dada a manutenção da absorvância durante o período de teste, corroborando os resultados obtidos anteriormente. Essa análise também pode ser feita a partir dos gráficos obtidos com espectrofotometria de varredura, apresentados a seguir. Nota-se que as curvas se sobrepõem, não havendo diminuição da absorvância com o tempo, o que indica que a cavitação não degradou a cafeína presente na solução durante o tempo de ensaio.

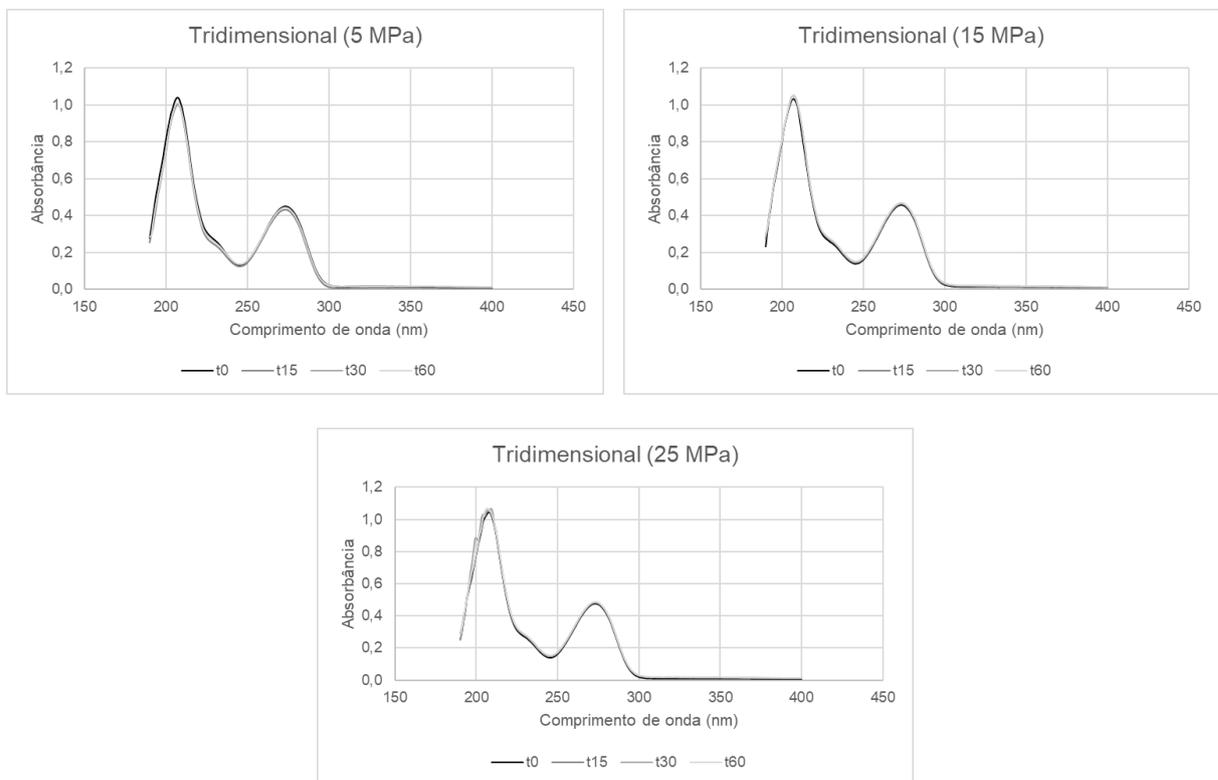
Figura 28: Análise de varredura dos ensaios realizados com bocal único e diferentes pressões





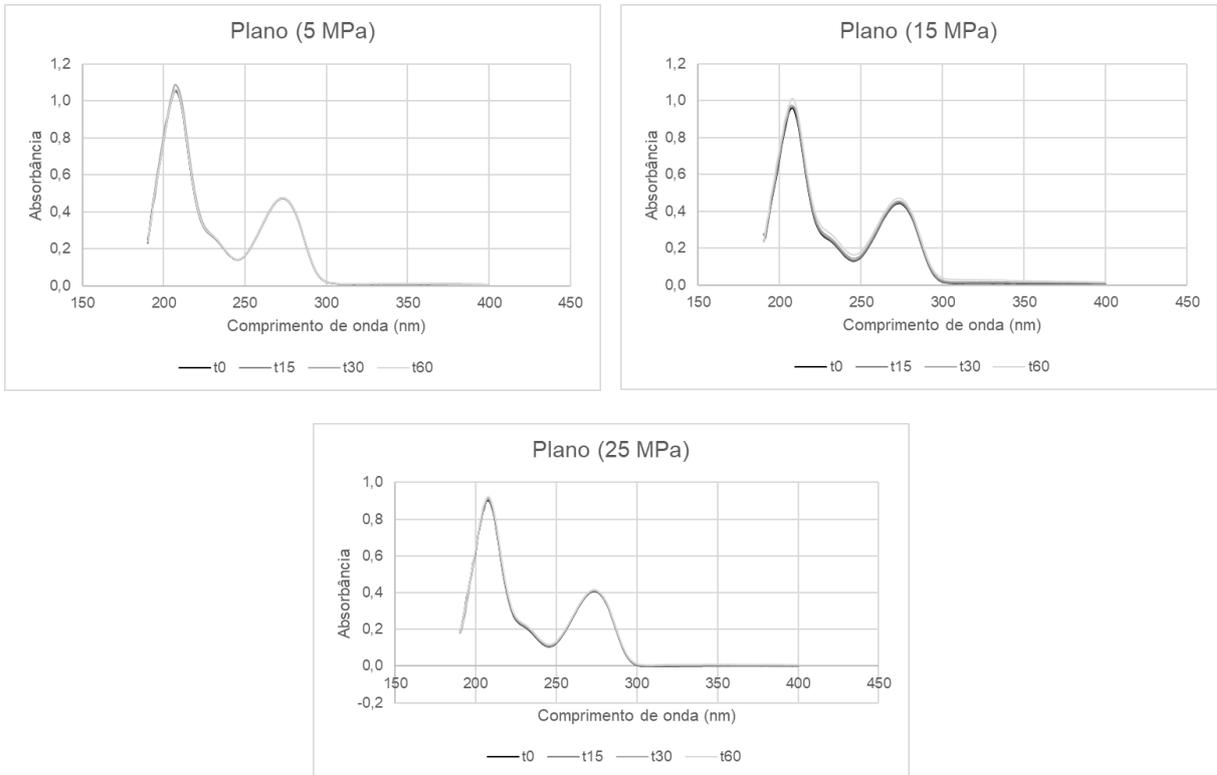
Fonte: a autora.

Figura 29: Análise de varredura dos ensaios realizados com configuração tridimensional com 6 bocais e diferentes pressões



Fonte: a autora.

Figura 30: Análise de varredura dos ensaios realizados com configuração plana com 8 bocais e diferentes pressões



Fonte: a autora.

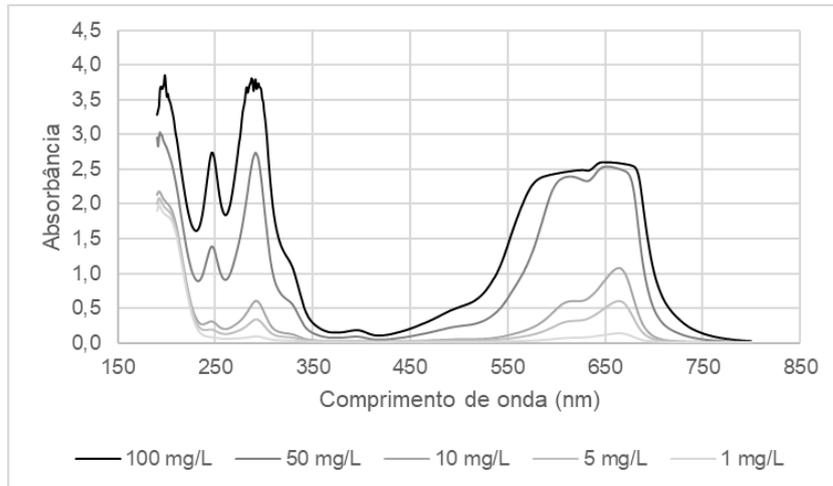
4.2 Azul de metileno

4.2.1 Testes iniciais

- Determinação do comprimento de onda de leitura do azul de metileno

Para a realização da análise da degradação de azul de metileno por espectrofotometria, inicialmente, determinou-se o comprimento de onda em que seria feita a leitura da absorbância das amostras. Então, procedeu-se com a análise de varredura em função do comprimento de onda, empregando o espectrofotômetro Shimadzu, de amostras de solução de azul de metileno com concentrações variadas, preparada com água da torneira. Na Figura 31, é apresentado o resultado dessa análise.

Figura 31: Análise de varredura de solução de azul de metileno a 10 mg/L no espectrofotômetro

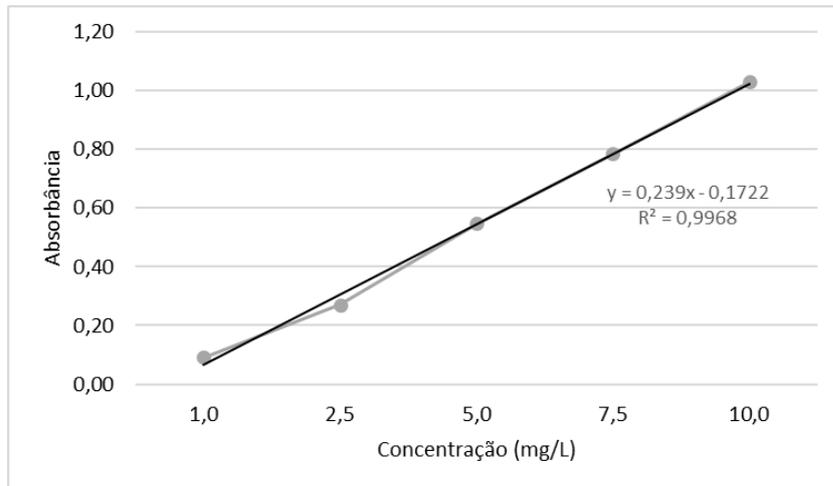


Na Figura 31, observa-se um pico entre 650 e 750 nm para o azul de metileno, condizente com o encontrado na literatura especializada, indicando o pico em que há maior absorção de luz apenas pelo composto que se quer analisar, no caso, o azul de metileno. Adotou-se, então, o valor de 670 nm para comprimento de onda para leitura da absorvância do azul de metileno.

- Curva de calibração do azul de metileno

Procedeu-se, então, com a elaboração da curva analítica do azul de metileno, que permite relacionar a absorvância obtida por espectrofotometria com a concentração de azul de metileno da amostra, com base em análise gráfica. A absorvância foi medida no comprimento de onda 670 nm.

Figura 32: Curva de calibração do azul de metileno



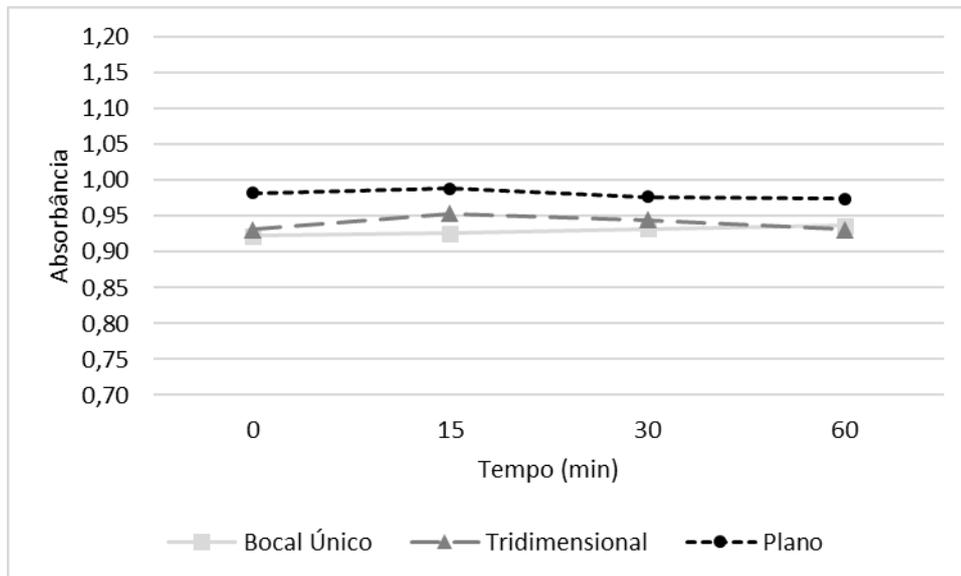
Fonte: a autora.

A partir da equação obtida, é possível obter o valor da concentração de azul de metileno na amostra (x) a partir da absorbância lida nas amostras (y).

4.2.2 Ensaios de degradação do azul de metileno por cavitação

A degradação do azul de metileno por cavitação foi testada para três configurações diferentes de bocais, desta vez, apenas para a pressão de 25 MPa. Os resultados das análises de absorbância, obtidos a partir da leitura em espectrofotômetro em 670 nm, são apresentados no gráfico da Figura 33, em que a absorbância é analisada em relação ao tempo de ensaio para cada configuração de bocal, sendo bocal único, tridimensional e plano.

Figura 33: Resultado do ensaio de degradação de azul de metileno por cavitação com três configurações de bocais a 25 MPa



Fonte: a autora.

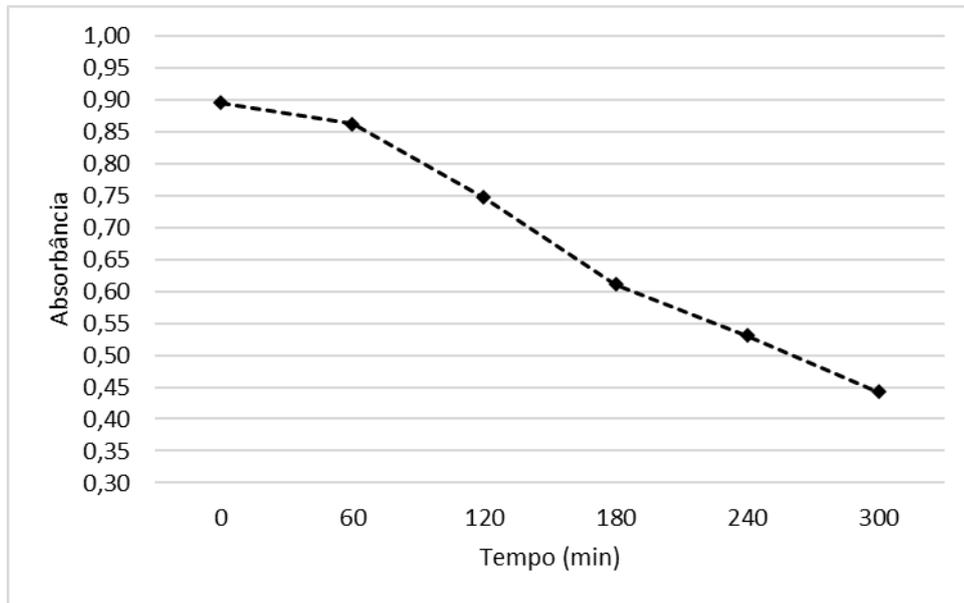
Nota-se que, para todas as configurações de bocais à pressão de 25 MPa, não há grandes variações de absorbância, ou seja, não há diminuição da concentração da azul de metileno ao longo do tempo de ensaio e, portanto, observa-se que não houve degradação.

4.2.3 Ensaio de degradação do azul de metileno por fotólise

Assim como foi feito para a cafeína, buscando-se o efeito sinérgico da combinação de métodos em busca de melhores resultados, decidiu-se por investigar sua eficiência. Assim, espera-se que a combinação de cavitação com posterior fotólise apresente melhores resultados que a cavitação isolada.

Para isso, apresenta-se, inicialmente, o efeito apenas da fotólise sobre uma amostra de solução de azul de metileno a 10 mg/L, sem passar por cavitação. A amostra foi exposta à luz artificial de 4 lâmpadas de LED, como descrito na metodologia. O resultado das análises de absorbância é apresentado a seguir.

Figura 34: Resultado do ensaio de degradação de azul de metileno por fotólise



Fonte: a autora.

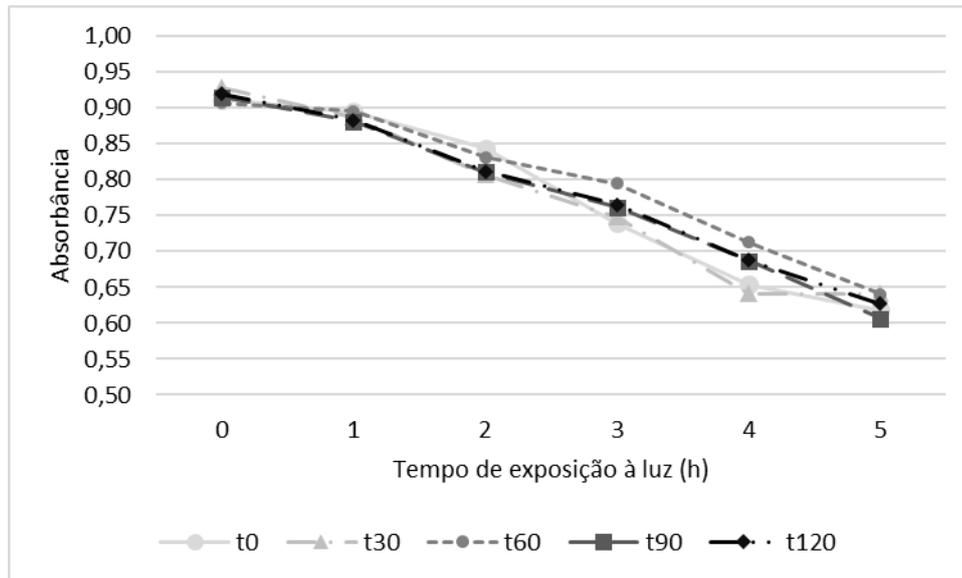
Pelo gráfico apresentado na Figura 34, é possível perceber que o azul de metileno é degradado por fotólise, dada a diminuição da absorbância ao longo do tempo de exposição da amostra à luz. A concentração de azul de metileno na amostra diminuiu ao longo das 5 horas em que ela ficou exposta ao LED, sendo comprovada a degradação do composto por fotólise. No resultado obtido, em 5 horas observou-se degradação de cerca de 50% do azul de metileno.

Logo, resta avaliar se a combinação dos tratamentos cavitação e fotólise promove resultados ainda melhores de degradação, ou seja, busca-se verificar se há sinergia entre os processos que favoreça a degradação do azul de metileno.

4.2.4 Ensaios de degradação do azul de metileno por cavitação associada à fotólise

Para a verificação da combinação de métodos, optou-se por expor a solução à cavitação por duas horas. Portanto, o procedimento para esta etapa foi o seguinte: adição do azul de metileno à água do reservatório na concentração de 10 mg/L, uma hora de *mixer*, 20 minutos de recirculação, 2 horas de cavitação (bocal único a 25 MPa) e posterior exposição à luz por 5 horas. Os resultados são apresentados a seguir.

Figura 35: Resultado do ensaio de degradação de azul de metileno por cavitação e fotólise



Fonte: a autora.

Observa-se, pelo decréscimo dos valores de absorbância, que há degradação do azul de metileno durante o tempo de exposição à luz. Porém, não há uma diferença significativa entre a amostra que não passou por cavitação (t0) e as demais amostras que passaram por 30, 60, 90 ou 120 minutos de cavitação.

É importante mencionar que, durante as duas horas de cavitação, não houve alteração da absorbância das amostras, logo, não houve degradação. A partir do momento em que as amostras foram expostas à luz, iniciou-se a degradação. Ao final das 5 horas de exposição à luz, as amostras t0, t30, t60, t90 e t120 apresentaram, respectivamente, 32,19; 36,05; 29,43; 33,71 e 31,76% de degradação do azul de metileno. Tais valores encontram-se abaixo da porcentagem de degradação obtida pela fotólise sem cavitação, não sendo possível verificar a eficiência da combinação de técnicas.

Portanto, pelos testes realizados, não é possível afirmar que a cavitação tem algum efeito sobre a degradação do azul de metileno.

5 CONCLUSÕES

A metodologia planejada inicialmente para análise da degradação da cafeína e do azul de metileno empregando o equipamento tipo jato cavitante, seguindo a iniciativa de trabalhos anteriores, mostrou-se bastante adequada, sendo necessárias pequenas alterações, as quais se mostraram necessárias no decorrer dos testes. A principal sugestão de modificação foi a adição

da etapa de homogeneização antes do início dos testes com cavitação, composta de uma hora de mixer, seguida de 20 minutos de recirculação sem pressão. Assim, garante-se homogeneidade da solução de teste.

Não foi possível comprovar o efeito da cavitação hidrodinâmica na degradação de cafeína, visto que o método não foi capaz de degradar o composto. Uma hipótese para explicar o ocorrido seria a de que nem todo o volume testado passava pela região de cavitação por vezes suficientes para causar a degradação.

Os agentes oxidantes hipoclorito de sódio e persulfato de potássio adicionados à solução de cafeína também não foram eficazes na degradação.

Testou-se, então, a possibilidade de sinergia entre métodos, combinando a cavitação com os agentes oxidantes mencionados, um por vez. Nesses testes, também não foi obtido resultado satisfatório de degradação.

Quanto ao azul de metileno, inicialmente, a cavitação, isoladamente, não foi capaz de degradá-lo. Porém, como já apresentado vastamente na Literatura, o azul de metileno sofre degradação por fotólise. Assim, a exposição das amostras à luz de LED foi capaz de degradar o azul de metileno.

Por fim, a combinação de cavitação com fotólise não apresentou resultados significativos. Assim, conclui-se que a cavitação não é capaz de degradar a cafeína e o azul de metileno.

Para trabalhos futuros, sugere-se a adequação do equipamento tipo jato cavitante para a diminuição do volume de teste, de forma a aumentar o número de vezes em que a solução passa pela região de cavitação, potencializando os possíveis efeitos da cavitação sobre a degradação de compostos indesejáveis em água.

Sugere-se, ainda, que a serpentina resfriadora seja retirada, de forma a verificar se o aumento de temperatura influencia na degradação.

Outros processos sinérgicos também podem ser explorados. É o caso da ozonização associada à cavitação.

Por fim, pode-se alterar os parâmetros físico-químicos da solução testada, buscando favorecer a reação de oxidação causada pela cavitação hidrodinâmica e eventuais processos sinérgicos que venham a ser testados em combinação com a cavitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, A.; NG, W. J.; LIU, Y. Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. **Chemosphere**, v. 84, n. 9, p. 1175–1180, 2011.

ALVES, P. H. L. *et al.* COD removal from sucrose solution using hydrodynamic cavitation and hydrogen peroxide: A comparison between Venturi device and orifice plate. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, p. 1–8, 2019.

ALVES FILHO, M. Potável, porém contaminada. **Jornal da Unicamp**, p. 3. Campinas, 21 a 27 de maio de 2012.

ASSIS, M. P. **Estudo comparativo de tratamento de água por cavitação**. Trabalho de Graduação Interdisciplinar. Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira. 2010.

ASSIS, M. P. **Avaliação de equipamento tipo jato cavitante para inativação de *Escherichia coli* empregando múltiplos jatos**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. 2014.

BATISTA, M. D.; ANHÊ, A. C. B. M.; GONÇALVES, J. C. Use of Hydrodynamic Cavitation for Algae Removal: Effect on the Inactivation of Microalgae Belonging to Genus *Scenedesmus*. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 228, n. 11, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação N° 5 de 28 de Setembro de 2017**. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em 29/04/2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS N° 888, de 4 de Maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BUERGE, I. J. *et al.* Caffeine, an anthropogenic marker for wastewater contamination of surface waters. **Environmental Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 691–700, 2003.

CANELA, M. C.; JARDIM, W. F.; SODRÉ, F. F.; GRASSI, M. T. **Cafeína em águas de abastecimento público no Brasil**. 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2014. v. 1. 96p.

CLARA, M. *et al.* Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants. **Water Research**, v. 39, n. 19, p. 4797–4807, 2005.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Tratamento de água**. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=47>. Acesso em 07/10/2019. (a)

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Tratamento de esgotos**. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>. Acesso em 10/10/2019. (b)

CONAMA. **Resolução Nº. 430 de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 29/04/2019.

COUTO JUNIOR, O. M. Adsorção de cafeína e paracetamol em carvão ativado funcionalizado. Universidade Estadual de Maringá, 2014.

DALFRÉ FILHO, J.G. **Equipamento tipo jato cavitante para avaliação de desgaste por cavitação**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 122p, 2005.

DALFRÉ FILHO, J. G.; ASSIS, M. P.; GENOVEZ, A. I. B. Bacterial inactivation in artificially and naturally contaminated water using a cavitating jet apparatus. **Journal of Hydro-Environment Research**, v. 9, n. 2, p. 259–267, 2015.

DALFRÉ FILHO, J. G.; GENOVEZ, A. I. B.; ASSIS, M.P. **Equipamento tipo jato cavitante para inativação/desinfecção de bactérias empregando único ou múltiplos jatos**. 2015, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR10201501304, título: "Equipamento tipo jato cavitante para inativação/desinfecção de bactérias empregando único ou múltiplos jatos", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 03/06/2015.

DALMÁZIO, Ilsa. Aplicação da espectrometria de massas com ionizaçãoelectrospray no monitoramento de processo oxidativos avançados de interesse ambiental:degradação de fármacos, avaliação de sistemas oxidativos e oxidação do isopreno. 2007. Doutorado (QuímicaAnalítica). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/SFSA-876V7M>. Acessoem: 18 de jan. de 2021.

DE ANDRADE, J. R. *et al.* Adsorption of Pharmaceuticals from Water and Wastewater Using Nonconventional Low-Cost Materials: A Review. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 57, n. 9, p. 3103–3127, 2018.

DE SOUSA, D. N. R. *et al.* Electrical conductivity and emerging contaminant as markers of surface freshwater contamination by wastewater. **Science of the Total Environment**, v. 484,

n. 1, p. 19–26, 2014.

DELAZARE, T.; NEU R. S.; RIBEIRO, E. S. Degradação do corante azul de metileno por Nb₂O₅ suportado em SiO₂. As engenharias e seu papel no desenvolvimento autossustentado [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Viviane Teleginski Mazur. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

DIOGO, J. S. G. *et al.* Risk assessment of additives through soft drinks and nectars consumption on Portuguese population: A 2010 survey. **Food and Chemical Toxicology**, v. 62, p. 548–553, 2013.

DOLTADE, S. B. *et al.* Hydrodynamic cavitation as an imperative technology for the treatment of petroleum refinery effluent. **Journal of Water Process Engineering**, v. 29, n. January, p. 100768, 2019.

DULAR, M. *et al.* Use of hydrodynamic cavitation in (waste)water treatment. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 577–588, 2016.

FABRÍCIO, TAILENA M.; BRAGA MARYLIA A.; GOMES, THAMARA R. S.; VASCONCELOS, ANA K. P.; AQUINO, MARISETE D.; ARAÚJO, RINALDO. Produção de Biossurfactante e Biodegradação no Cultivo de *Geobacillus stearothermophilus* com Corante Azul de Metileno. V CONNEPI – Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, 2010.

FADAEI-KERMANI, E.; BARANI, G. A.; GHAEINI-HESSAROEYEH, M. Numerical Detection of Cavitation Damage on Dam Spillway. **Civil Engineering Journal**, v. 2, n. 9, p. 484–490, 2016.

FAGNANI, E.; GUADAGNINI, R.A.; SILVA, G.A.; GUIMARÃES, J.R. Degradação de cafeína e azul de metileno por processos oxidativos avançados (POA). **Holos Environment**, v. 13 n. 1, p. 85, 2013.

FONSECA, C. G. M. **Remoção de micropoluentes de interesse emergente em matriz aquosa por adsorção em carvão ativado em pó e superfino**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. 2019.

FRANÇOIS, L. L. *et al.* Remoção de Cafeína por Adsorção em Carvão Ativado. **5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves – RS. 2016.

GAEKWAD, R. R.; PATEL, P. R. L. Pesticide Wastewater Treatment By Hydrodynamic

Cavitation Process. *International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology (IJAREST)*, v. 2, n. 5, p. 1–5, 2015.

GĄGOL, M.; PRZYJAZNY, A.; BOCZKAJ, G. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes based on cavitation – A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 338, n. January, p. 599–627, 2018.

GARDINALI, P. R.; ZHAO, X. Trace determination of caffeine in surface water samples by liquid chromatography - Atmospheric pressure chemical ionization - Mass spectrometry (LC-APCI-MS). **Environment International**, v. 28, n. 6, p. 521–528, 2002.

GELSLEICHTER, J.; SZABO, N. J. Uptake of human pharmaceuticals in bull sharks (*Carcharhinus leucas*) inhabiting a wastewater-impacted river. **Science of the Total Environment**, v. 456–457, p. 196–201, 2013.

GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. A review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 12, n. 1- 2 SPEC. ISS., p. 21–27, 2005.

GOGATE, P. R.; PATIL, P. N. Combined treatment technology based on synergism between hydrodynamic cavitation and advanced oxidation processes. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 25, n. 1, p. 60–69, 2015.

GOGATE, P. R.; TAYAL, R. K.; PANDIT, A. B. Cavitation: A technology on the horizon. **Current Science**, v. 91, n. 1, p. 35–46, 2006.

GOJKOVIC, Z.; R.H. LINDBERG, M. TYSKLIND, C. FUNK. **Northern green algae have the capacity to remove active pharmaceutical ingredients**. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 170 (2019), pp. 644-656. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0147651318313198?token=C860F7FDFD6B5FB5FAFF1B35BD6FF9E1C0113FC7667B9C5B30C6C9C5AF59565A6F6D16EB1D7C32B2C19738559D0BC0EF56>. Acesso em: 8 de fev. de 2021.

GONÇALVES, F.P.; OMIDO, T. V.; DALFRE FILHO, J. G. Perspectivas da degradação de cafeína em água por cavitação hidrodinâmica. In: **XXIX Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP**, 2021, Campinas. XXIX Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP, 2021.

GRATIERI, M.P.A.; OMIDO, T. V.; GENOVEZ, A. I. B.; DALFRE FILHO, J. G. A inativação

de Echerichia Coli e o comportamento físico-químico da água em um equipamento tipo jato cavitante. In: **XXVIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica**, 2018, Buenos Aires. XXVIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica, 2018.

GUAN, Y. *et al.* Occurrence and Fate of Antibiotics in the Aqueous Environment and Their Removal by Constructed Wetlands in China: A review. **Pedosphere**, v. 27, n. 1, p. 42–51, 2017.

HECKMAN, M. A.; WEIL, J.; DE MEJIA, E. G. Caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) in foods: A comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 3, p. 77–87, 2010.

HOU, C.; HU, B.; ZHU, J. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue over TiO₂ Pretreated with Varying Concentrations of NaOH. **Catalysts**, 8, 575, 2018.

IDE, A. H. *et al.* Occurrence of Pharmaceutical Products, Female Sex Hormones and Caffeine in a Subtropical Region in Brazil. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 9, 1 set. 2017.

JAWALE, R. H.; DAPURKAR, O.; GOGATE, P. R. Treatment of atrazine containing wastewater using cavitation based hybrid treatment approaches. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 130, n. April, p. 275–283, 2018.

KAMIŃSKA, G.; ADAMCZAK, M.; BOHDZIEWICZ, J. Retention of bisphenol a and caffeine on PES/PES-CNTs membranes— Performance and effect of different conditions. **Desalination and Water Treatment**, v. 134, n. December 2017, p. 109–114, 2018.

KELLER, P. P. R. **Diagnóstico do Estresse Hídrico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2015.

KHURANA, S.; NAVTEJ; SINGH, H. Effect of cavitation on hydraulic turbines - a review. **Int J Curr Eng Technol**, v. 2, p. 172–177, 1 jan. 2012.

KIM, S. D.; CHO, J.; KIM, I. S.; VANDERFORD, B. J.; SNYDER, S. A. Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. *Water Research*, 41, p. 1013-1021, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135406003794>. Acesso em: 18 de jan. de 2021.

KIM, M. K.; ZOH, K. D. Occurrence and removals of micropollutants in water environment. **Environmental Engineering Research**, v. 21, n. 4, p. 319–332, 2016.

KOSEL, J. *et al.* Efficient inactivation of MS-2 virus in water by hydrodynamic cavitation. **Water Research**, v. 124, p. 465–471, 2017.

LAUTERBORN, W.; OHL, C. D. Cavitation bubble dynamics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 4, n. 2, p. 65–75, 1997.

LI, P.; SONG, Y.; YU, S. Removal of *Microcystis aeruginosa* using hydrodynamic cavitation: Performance and mechanisms. **Water Research**, v. 62, p. 241–248, 2014.

LOHRBERG, H.; STOFFEL, B. Measurement of cavitation erosive aggressiveness by means of structure born noise. **Http://Resolver. Caltech. Edu/ ...**, p. 1–8, 2001.

LUO, Y.; GUO, W.; NGO, H. H.; NGHIEM, L. D.; HAI, F. I.; ZHANG, J.; LIANG, S.; WANG, X. C. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v. 473-474, p. 619–641, 2014.

MACHADO, K. C. *et al.* A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 572, p. 138–146, 2016.

MAFIOLETI, Joseane Parizzi. Avaliação da degradação da cafeína em amostras de água usando espectrofotometria após tratamento com processos oxidativos avançados. 2014. Centro Universitário UNIVATES, Lajeado. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/1045>. Acesso em 21 de jan. de 2021.

MAILLER, R. *et al.* Removal of emerging micropollutants from wastewater by activated carbon adsorption: Experimental study of different activated carbons and factors influencing the adsorption of micropollutants in wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1102–1109, 2016.

MATAMOROS, V. *et al.* Assessment of the mechanisms involved in the removal of emerging contaminants by microalgae from wastewater: a laboratory scale study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 301, p. 197–205, 2016.

MELO, S. A. S. *et al.* Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 188–197, 2009.

MIZUKAWA, A. *et al.* Caffeine as a chemical tracer for contamination of urban rivers. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, 2019.

MUSMARRA, D. *et al.* Degradation of ibuprofen by hydrodynamic cavitation: Reaction pathways and effect of operational parameters. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 76–83, 2016.

NAM, S. W. *et al.* Removal of Selected Micropollutants during Conventional and Advanced Water Treatment Processes. **Environmental Engineering Science**, v. 34, n. 10, p. 752–761, 2017.

NAWROT, P. *et al.* Effects of caffeine on human health. **Food Additives and Contaminants**, v. 20, n. 1, p. 1–30, 2003.

OHRDES, H. *et al.* A control system for ultrasound devices utilized for inactivating *E. coli* in wastewater. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 40, n. April 2017, p. 158–162, 2018.

OLIVEIRA, J. L. **Fotodegradação de Corantes Têxteis e Aplicação da Quitosana como Tratamento Terciário destes Efluentes**. Dissertação. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

OLIVEIRA, M. F. **Avaliação da argila verde-lodo calcinada como adsorvente na remoção de cafeína**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. 2018.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em 22/10/2019.

PAÍGA, P.; DELERUE-MATOS, C. Anthropogenic contamination of Portuguese coastal waters during the bathing season: Assessment using caffeine as a chemical marker. **Marine Pollution Bulletin**, v. 120, n. 1–2, p. 355–363, 2017.

PATIL, P. N.; BOTE, S. D.; GOGATE, P. R. Degradation of imidacloprid using combined advanced oxidation processes based on hydrodynamic cavitation. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 21, n. 5, p. 1770–1777, 2014.

PERTILE, C. *et al.* Evaluation of membrane microfiltration fouling in landfill leachate treatment. **Revista Materia**, v. 23, n. 1, 2018.

POSSER, YáskaraMatielli (2016). Degradação da cafeína através dos processos oxidativos avançados Fenton e foto-Fenton. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Degrada%C3%A7%C3%A3o-da-cafe%C3%ADna-atrav%C3%A9s-dos-processos-oxidativos-avan%C3%A7ados-fenton-e-fotofenton.pdf>. Acesso em: 8 de nov. de 2020.

RAJORIYA, S. *et al.* Hydrodynamic cavitation: An advanced oxidation process for the degradation of bio-refractory pollutants. **Reviews in Chemical Engineering**, v. 32, n. 4, p. 379–411, 2016.

RAJORIYA, S. *et al.* Treatment of textile dyeing industry effluent using hydrodynamic cavitation in combination with advanced oxidation reagents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 344, p. 1109–1115, 2018.

RAJORIYA, S.; BARGOLE, S.; SAHARAN, V. K. Degradation of reactive blue 13 using hydrodynamic cavitation: Effect of geometrical parameters and different oxidizing additives. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 37, p. 192–202, 2017.

RAMOS, U. *et al.* Degradação do corante azul de metileno pelo processo de fotólise em um reator tubular de fluxo contínuo utilizando radiação artificial. Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação – VI ENPG Vol.1 (2017).

RAUT-JADHAV, S. *et al.* Effect of process intensifying parameters on the hydrodynamic cavitation based degradation of commercial pesticide (methomyl) in the aqueous solution. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 28, p. 283–293, 2015.

RIGUETO, C. V. T. *et al.* Alternative techniques for caffeine removal from wastewater: An overview of opportunities and challenges. **Journal of Water Process Engineering**, v. 35, 2020.

ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (Org.). **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012. 412p.

ROUDBARI, A.; REZAKAZEMI, M. Hormones removal from municipal wastewater using ultrasound. **AMB Express**, v. 8, n. 1, 2018.

ŠARC, A. *et al.* The issue of cavitation number value in studies of water treatment by hydrodynamic cavitation. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, 2017.

SANTOS, V. S. **Remoção de microorganismos patogênicos em sistema de separação com membrana de ultrafiltração**. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2014.

SCIPIONI, B. **Avaliação da interferência antrópica na Bacia do Alto e Médio Iguaçu, utilizando contaminantes emergentes como indicadores de qualidade da água**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

SNYDER, S. A.; ADHAM, S.; REDDING, A. M.; CANNON, F. S.; DECAROLIS, J.; OPPENHEIMER, J.; WERT, E. C.; YOON, Y. Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. *Desalination*, 202, p. 156 – 181, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916406012094>. Acesso em: 8 de fev. de 2021.

SOTELO, J. L. *et al.* Competitive adsorption studies of caffeine and diclofenac aqueous solutions by activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 240, p. 443–453, 2014.

SOUZA, N. C. **Avaliação de micropoluentes emergentes em esgoto e águas superficiais**. Doutorado. Pós-graduação em Engenharia Civil – área de concentração saneamento ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SOUZA, J. R. DE *et al.* **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil**. v. 8, n. 01, p. 26–45, 2014.

SOUZA, F. S.; FÉRIS, L. A. Degradation of caffeine by advanced oxidative processes: O₃ and o₃/UV. **Ozone: Science and Engineering**, v. 37, n. 4, p. 379–384, 2015.

SREEDHAR, B. K.; ALBERT, S. K.; PANDIT, A. B. Cavitation damage: Theory and measurements – A review. **Wear**, v. 372–373, p. 177–196, 2017.

SUBEDI, B. *et al.* Occurrence of pharmaceuticals and personal care products in German fish tissue: A national study. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 16, p. 9047–9054, 2012.

TANG-LIU, D.; WILLIAMS, R.; RIEGELMAN, S. Disposition of caffeine and its metabolites in man. **Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics**, v.24, p. 180—185, 1983.

TAKASHINA, Thiago Atsushi. Tratamento de efluente sintético de café com uso de processos baseados em ozônio. 2018. 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

TAO, Y. *et al.* Application of Hydrodynamic Cavitation to Wastewater Treatment. **Chemical Engineering and Technology**, v. 39, n. 8, p. 1363–1376, 2016.

TONG, Y; JIANG, B.; CHEN, X.; REN, X.; LU, J.; DING, L. Synergistic degradation of methylene blue by laser cavitation and activated carbon fiber. **Optics & Laser Technology**, v. 155, 2022.

TULLIS, J.P. **Hydraulics of pipelines: Pumps, Valves, Cavitation, Transients**. 1 ed. New York: John Wiley & Sons, 1989. 266p.

VAN DER MAAS, A. S.; SILVA, N. J. R. DA; COSTA, A. S. V. DA; BARROS, A. R.; BOMFETI, C. A. The degradation of methylene blue dye by the strains of *Pleurotus* sp. with potential applications in bioremediation processes. *Rev. Ambient. Água* [online]. 2018

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. 6 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 880p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water sanitation hygiene**. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/en/. Acesso em: 22/10/2019.

YANG, G.C.; TANG, P.L.; YEN, C.H. Removal of micropollutants from municipal wastewater by graphene adsorption and simultaneous electrocoagulation/electrofiltration process. *WaterSci. Technol.*, 75 (8) (2017), pp. 1882-1888, 10.2166/wst.2017.074 Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article/75/8/1882/19502/Removal-of-micropollutants-from-municipal>. Acesso em: 8 de fev. de 2021.

YI, C. *et al.* Degradation of organic wastewater by hydrodynamic cavitation combined with acoustic cavitation. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 43, n. 28, p. 156–165, 2018.

YOON, Y.; WESTERHOFF, P.; SNYDER, S. A.; WERT, E. C.; YOON, J. Removal of endocrine disrupting compounds and pharmaceuticals by nanofiltration and ultrafiltration membranes. *Desalination*, 202, p. 16-23, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916406011908>. Acesso em: 10 de fev. de 2021.

ZUPANC, M. *et al.* Effects of cavitation on different microorganisms: The current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals

for further research. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 57, n. May, p. 147–165, 2019.

ANEXO

Para todos os dados abaixo, exceto análises de varredura, a absorvância para a cafeína foi medida a 274 nm e, para o azul de metileno, a 670 nm.

1. Dados para determinação da curva de calibração da cafeína

| Concentração de cafeína (mg/L) | Absorvância |
|--------------------------------|-------------|
| 0,5 | 0,028 |
| 1 | 0,053 |
| 3 | 0,156 |
| 5 | 0,257 |
| 7,5 | 0,39 |
| 10 | 0,505 |

2. Ensaio de degradação de cafeína (apenas cavitação)

| Tempo (min) | Absorvância | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 0,475 | 0,431 | 0,481 | 0,462 | 0,434 | 0,446 | 0,495 | 0,496 | 0,476 |
| 15 | 0,504 | 0,449 | 0,496 | 0,499 | 0,509 | 0,502 | 0,503 | 0,513 | 0,481 |
| 30 | 0,501 | 0,453 | 0,499 | 0,496 | 0,511 | 0,504 | 0,508 | 0,511 | 0,482 |
| 60 | 0,505 | 0,455 | 0,507 | 0,495 | 0,51 | 0,507 | 0,509 | 0,518 | 0,486 |

Análises físico-químicas:

| Tempo (min) | Temperatura (°C) | | | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 25,8 | 24,4 | 26,7 | 24,5 | 25,5 | 24 | 24,9 | 23,3 | 25,5 |
| 15 | 26,2 | 26,6 | 30 | 25,6 | 26,7 | 27,2 | 25,9 | 26,1 | 28,3 |
| 30 | 26,2 | 27,5 | 31 | 26,2 | 27,2 | 28,4 | 26,1 | 26,9 | 29,2 |
| 60 | 25,4 | 27,3 | 32 | 26,5 | 27,8 | 29,4 | 26,4 | 27,4 | 30,8 |

| Tempo (min) | Oxigênio Dissolvido (mg/L) | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 6,4 | 6,4 | 6,1 | 7,4 | 6,6 | 6,8 | 7,1 | 6,6 | 6,3 |
| 15 | 5,8 | 5,4 | 4,9 | 7,4 | 6,2 | 6,3 | 7,1 | 6,1 | 5,6 |
| 30 | 5,6 | 5,2 | 5,7 | 7,2 | 5,8 | 5,4 | 7 | 5,9 | 5,2 |
| 60 | 6,4 | 5,3 | 5,8 | 7 | 5,8 | 5 | 6,8 | 5,8 | 5,1 |

pH

| Tempo (min) | pH | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 5,87 | 7,23 | 7,27 | 6,96 | 6,92 | 7,16 | 7,16 | 7,13 | 7,11 |
| 15 | 6,58 | 7,41 | 7,46 | 7,05 | 7,38 | 7,31 | 7,43 | 7,37 | 7,36 |
| 30 | 7,04 | 7,31 | 7,49 | 7,14 | 7,5 | 7,41 | 7,52 | 7,49 | 7,52 |
| 60 | 7,16 | 7,39 | 7,45 | 7,41 | 7,15 | 7,15 | 7,54 | 7,57 | 7,61 |

Condutividade (μ S)

| Tempo (min) | Condutividade (μ S) | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 296 | 290 | 304 | 253 | 256 | 256 | 265 | 256 | 267 |
| 15 | 306 | 302 | 296 | 253 | 265 | 273 | 270 | 270 | 284 |
| 30 | 310 | 310 | 314 | 260 | 235 | 276 | 269 | 273 | 288 |
| 60 | 308 | 312 | 338 | 262 | 271 | 280 | 271 | 274 | 294 |

Turbidez (UT)

| Tempo (min) | Turbidez (UT) | | | | | | | | |
|-------------|---------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 2,02 | 1,31 | 0,8 | 4,35 | 3,97 | 4,22 | 1,61 | 2,84 | 1,22 |
| 15 | 1,72 | 1,01 | 1,26 | 1 | 0,88 | 2,9 | 1,73 | 1,31 | 1,51 |
| 30 | 1,87 | 1,1 | 1,83 | 1,02 | 0,88 | 3,22 | 1,83 | 1,44 | 1,76 |
| 60 | 1,89 | 1,24 | 4,28 | 1,12 | 1,06 | 3,62 | 1,98 | 1,64 | 2,3 |

3. Ensaio de degradação de cafeína (apenas agentes oxidantes)

Hipoclorito de sódio 111,1 mg/L

| Tempo (min) | Absorbância |
|-------------|-------------|
| 0 | 0,602 |
| 5 | 0,592 |
| 10 | 0,606 |
| 20 | 0,597 |
| 40 | 0,585 |

Persulfato de potássio 403,6 mg/L

| Tempo (min) | Absorbância |
|-------------|-------------|
| 0 | 0,813 |
| 15 | 0,808 |
| 30 | 0,802 |
| 60 | 0,806 |

4. Ensaio de degradação de cafeína (cavitação associada a agentes oxidantes)

CAVITAÇÃO E HIPOCLORITO DE SÓDIO

| Tempo (min) | Absorbância | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 1,124 | 1,292 | 1,261 | 1,176 | 1,237 | 1,16 | 1,007 | 1,134 | 1,177 |
| 15 | 1,156 | 1,225 | 1,301 | 1,322 | 1,366 | 1,258 | 1,199 | 1,205 | 1,229 |
| 30 | 1,155 | 1,216 | 1,296 | 1,322 | 1,365 | 1,259 | 1,209 | 1,206 | 1,229 |
| 60 | 1,15 | 1,226 | 1,303 | 1,325 | 1,366 | 1,265 | 1,197 | 1,209 | 1,228 |

CAVITAÇÃO E PERSULFATO DE POTÁSSIO

| Tempo (min) | Absorbância | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 0,263 | 0,462 | 0,427 | 0,426 | 0,411 | 0,457 | 0,459 | 0,486 | |
| 15 | 0,33 | 0,53 | 0,514 | 0,53 | 0,536 | 0,522 | 0,527 | 0,559 | |
| 30 | 0,343 | 0,546 | 0,534 | 0,552 | 0,572 | 0,539 | 0,544 | 0,582 | |
| 60 | 0,368 | 0,576 | 0,578 | 0,584 | 0,625 | 0,56 | 0,57 | 0,615 | |

5. Análise de varredura das amostras do ensaio de cavitação com persulfato de potássio

| Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 | Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|-------|
| 190 | 0,024 | 0,253 | 0,267 | 0,328 | 295,2 | -0,043 | -0,015 | 0,005 | 0,058 |
| 190,2 | 0,022 | 0,264 | 0,287 | 0,332 | 295,4 | -0,042 | -0,015 | 0,005 | 0,058 |
| 190,4 | 0,024 | 0,279 | 0,305 | 0,341 | 295,6 | -0,041 | -0,016 | 0,004 | 0,057 |
| 190,6 | 0,027 | 0,305 | 0,329 | 0,361 | 295,8 | -0,04 | -0,017 | 0,003 | 0,056 |
| 190,8 | 0,033 | 0,337 | 0,357 | 0,393 | 296 | -0,04 | -0,017 | 0,003 | 0,056 |
| 191 | 0,035 | 0,359 | 0,382 | 0,42 | 296,2 | -0,039 | -0,018 | 0,002 | 0,055 |
| 191,2 | 0,043 | 0,384 | 0,411 | 0,453 | 296,4 | -0,038 | -0,018 | 0,001 | 0,054 |
| 191,4 | 0,05 | 0,417 | 0,432 | 0,483 | 296,6 | -0,037 | -0,019 | 0,001 | 0,054 |
| 191,6 | 0,056 | 0,448 | 0,465 | 0,521 | 296,8 | -0,037 | -0,019 | 0 | 0,053 |
| 191,8 | 0,061 | 0,477 | 0,496 | 0,552 | 297 | -0,036 | -0,02 | 0 | 0,052 |
| 192 | 0,063 | 0,498 | 0,514 | 0,57 | 297,2 | -0,035 | -0,02 | -0,001 | 0,052 |
| 192,2 | 0,066 | 0,524 | 0,544 | 0,6 | 297,4 | -0,035 | -0,021 | -0,001 | 0,052 |
| 192,4 | 0,064 | 0,56 | 0,577 | 0,631 | 297,6 | -0,034 | -0,021 | -0,001 | 0,051 |
| 192,6 | 0,067 | 0,595 | 0,609 | 0,652 | 297,8 | -0,034 | -0,022 | -0,002 | 0,051 |
| 192,8 | 0,067 | 0,618 | 0,641 | 0,689 | 298 | -0,033 | -0,022 | -0,002 | 0,05 |
| 193 | 0,064 | 0,646 | 0,673 | 0,708 | 298,2 | -0,033 | -0,022 | -0,002 | 0,05 |
| 193,2 | 0,063 | 0,686 | 0,711 | 0,74 | 298,4 | -0,032 | -0,023 | -0,003 | 0,049 |
| 193,4 | 0,059 | 0,714 | 0,739 | 0,772 | 298,6 | -0,032 | -0,023 | -0,003 | 0,049 |
| 193,6 | 0,058 | 0,732 | 0,765 | 0,794 | 298,8 | -0,032 | -0,023 | -0,004 | 0,049 |
| 193,8 | 0,055 | 0,752 | 0,777 | 0,822 | 299 | -0,031 | -0,023 | -0,004 | 0,048 |
| 194 | 0,051 | 0,783 | 0,796 | 0,835 | 299,2 | -0,031 | -0,024 | -0,004 | 0,048 |
| 194,2 | 0,047 | 0,812 | 0,813 | 0,861 | 299,4 | -0,03 | -0,024 | -0,004 | 0,048 |
| 194,4 | 0,043 | 0,83 | 0,83 | 0,882 | 299,6 | -0,03 | -0,024 | -0,005 | 0,048 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 194,6 | 0,04 | 0,845 | 0,846 | 0,908 | 299,8 | -0,03 | -0,024 | -0,005 | 0,047 |
| 194,8 | 0,036 | 0,858 | 0,864 | 0,929 | 300 | -0,029 | -0,025 | -0,005 | 0,047 |
| 195 | 0,029 | 0,886 | 0,89 | 0,95 | 300,2 | -0,029 | -0,025 | -0,006 | 0,047 |
| 195,2 | 0,025 | 0,9 | 0,91 | 0,969 | 300,4 | -0,029 | -0,025 | -0,006 | 0,046 |
| 195,4 | 0,021 | 0,908 | 0,924 | 0,985 | 300,6 | -0,028 | -0,025 | -0,006 | 0,046 |
| 195,6 | 0,016 | 0,92 | 0,943 | 0,997 | 300,8 | -0,028 | -0,025 | -0,007 | 0,046 |
| 195,8 | 0,01 | 0,932 | 0,953 | 1,009 | 301 | -0,028 | -0,025 | -0,007 | 0,045 |
| 196 | 0,006 | 0,944 | 0,961 | 1,02 | 301,2 | -0,028 | -0,026 | -0,007 | 0,045 |
| 196,2 | 0,001 | 0,947 | 0,969 | 1,031 | 301,4 | -0,028 | -0,026 | -0,007 | 0,045 |
| 196,4 | -0,005 | 0,956 | 0,98 | 1,044 | 301,6 | -0,027 | -0,026 | -0,007 | 0,045 |
| 196,6 | -0,011 | 0,965 | 0,99 | 1,05 | 301,8 | -0,027 | -0,026 | -0,007 | 0,045 |
| 196,8 | -0,017 | 0,971 | 0,993 | 1,061 | 302 | -0,027 | -0,026 | -0,007 | 0,044 |
| 197 | -0,022 | 0,969 | 1,004 | 1,066 | 302,2 | -0,027 | -0,026 | -0,007 | 0,044 |
| 197,2 | -0,028 | 0,973 | 1,009 | 1,059 | 302,4 | -0,027 | -0,026 | -0,007 | 0,044 |
| 197,4 | -0,034 | 0,981 | 1,008 | 1,059 | 302,6 | -0,027 | -0,026 | -0,007 | 0,044 |
| 197,6 | -0,04 | 0,984 | 1,012 | 1,058 | 302,8 | -0,026 | -0,026 | -0,008 | 0,043 |
| 197,8 | -0,045 | 0,989 | 1,013 | 1,061 | 303 | -0,026 | -0,026 | -0,008 | 0,043 |
| 198 | -0,051 | 0,991 | 1,015 | 1,059 | 303,2 | -0,026 | -0,027 | -0,008 | 0,043 |
| 198,2 | -0,056 | 0,996 | 1,021 | 1,067 | 303,4 | -0,026 | -0,027 | -0,008 | 0,043 |
| 198,4 | -0,062 | 1,002 | 1,013 | 1,077 | 303,6 | -0,026 | -0,027 | -0,008 | 0,043 |
| 198,6 | -0,068 | 0,998 | 1,019 | 1,08 | 303,8 | -0,026 | -0,027 | -0,008 | 0,043 |
| 198,8 | -0,074 | 1,006 | 1,021 | 1,077 | 304 | -0,026 | -0,027 | -0,008 | 0,043 |
| 199 | -0,08 | 1,002 | 1,025 | 1,081 | 304,2 | -0,026 | -0,027 | -0,008 | 0,042 |
| 199,2 | -0,086 | 0,998 | 1,029 | 1,079 | 304,4 | -0,026 | -0,027 | -0,008 | 0,042 |
| 199,4 | -0,093 | 0,996 | 1,026 | 1,078 | 304,6 | -0,026 | -0,027 | -0,009 | 0,042 |
| 199,6 | -0,099 | 1 | 1,026 | 1,067 | 304,8 | -0,026 | -0,027 | -0,009 | 0,042 |
| 199,8 | -0,105 | 1 | 1,026 | 1,063 | 305 | -0,025 | -0,027 | -0,009 | 0,041 |
| 200 | -0,112 | 0,999 | 1,024 | 1,061 | 305,2 | -0,025 | -0,027 | -0,009 | 0,041 |
| 200,2 | -0,118 | 0,997 | 1,023 | 1,055 | 305,4 | -0,025 | -0,027 | -0,009 | 0,041 |
| 200,4 | -0,125 | 1,003 | 1,023 | 1,048 | 305,6 | -0,025 | -0,027 | -0,009 | 0,041 |
| 200,6 | -0,132 | 1,006 | 1,019 | 1,039 | 305,8 | -0,025 | -0,028 | -0,009 | 0,041 |
| 200,8 | -0,138 | 1,002 | 1,016 | 1,035 | 306 | -0,025 | -0,028 | -0,009 | 0,041 |
| 201 | -0,145 | 1,002 | 1,017 | 1,031 | 306,2 | -0,024 | -0,028 | -0,009 | 0,04 |
| 201,2 | -0,15 | 0,993 | 1,009 | 1,031 | 306,4 | -0,024 | -0,027 | -0,009 | 0,04 |
| 201,4 | -0,156 | 0,986 | 1,005 | 1,029 | 306,6 | -0,024 | -0,028 | -0,009 | 0,04 |
| 201,6 | -0,162 | 0,981 | 1,002 | 1,026 | 306,8 | -0,024 | -0,028 | -0,009 | 0,04 |
| 201,8 | -0,167 | 0,973 | 0,999 | 1,032 | 307 | -0,024 | -0,028 | -0,009 | 0,04 |
| 202 | -0,173 | 0,966 | 0,998 | 1,035 | 307,2 | -0,024 | -0,028 | -0,009 | 0,04 |
| 202,2 | -0,178 | 0,963 | 0,998 | 1,041 | 307,4 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,04 |
| 202,4 | -0,184 | 0,961 | 1,002 | 1,037 | 307,6 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,039 |
| 202,6 | -0,189 | 0,962 | 0,999 | 1,041 | 307,8 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,039 |
| 202,8 | -0,195 | 0,959 | 0,995 | 1,043 | 308 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,039 |
| 203 | -0,2 | 0,96 | 0,994 | 1,048 | 308,2 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,039 |
| 203,2 | -0,205 | 0,959 | 0,994 | 1,047 | 308,4 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,039 |
| 203,4 | -0,209 | 0,957 | 0,987 | 1,041 | 308,6 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,039 |
| 203,6 | -0,214 | 0,954 | 0,976 | 1,039 | 308,8 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,039 |
| 203,8 | -0,219 | 0,952 | 0,968 | 1,032 | 309 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,038 |
| 204 | -0,222 | 0,948 | 0,969 | 1,031 | 309,2 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,038 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 204,2 | -0,226 | 0,947 | 0,965 | 1,026 | 309,4 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,038 |
| 204,4 | -0,231 | 0,944 | 0,964 | 1,021 | 309,6 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,038 |
| 204,6 | -0,235 | 0,942 | 0,96 | 1,017 | 309,8 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,038 |
| 204,8 | -0,238 | 0,94 | 0,961 | 1,013 | 310 | -0,024 | -0,028 | -0,01 | 0,038 |
| 205 | -0,242 | 0,938 | 0,964 | 1,016 | 310,2 | -0,023 | -0,028 | -0,01 | 0,038 |
| 205,2 | -0,245 | 0,936 | 0,959 | 1,011 | 310,4 | -0,023 | -0,028 | -0,01 | 0,037 |
| 205,4 | -0,248 | 0,933 | 0,954 | 1,008 | 310,6 | -0,023 | -0,028 | -0,01 | 0,037 |
| 205,6 | -0,251 | 0,929 | 0,951 | 1,008 | 310,8 | -0,023 | -0,028 | -0,01 | 0,037 |
| 205,8 | -0,253 | 0,928 | 0,951 | 1,006 | 311 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,037 |
| 206 | -0,256 | 0,924 | 0,946 | 1,007 | 311,2 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,037 |
| 206,2 | -0,257 | 0,926 | 0,947 | 0,999 | 311,4 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,037 |
| 206,4 | -0,259 | 0,924 | 0,945 | 0,997 | 311,6 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 206,6 | -0,261 | 0,922 | 0,942 | 0,995 | 311,8 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 206,8 | -0,263 | 0,922 | 0,937 | 0,989 | 312 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 207 | -0,264 | 0,919 | 0,935 | 0,985 | 312,2 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 207,2 | -0,264 | 0,916 | 0,932 | 0,983 | 312,4 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 207,4 | -0,264 | 0,909 | 0,928 | 0,975 | 312,6 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 207,6 | -0,264 | 0,903 | 0,928 | 0,971 | 312,8 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 207,8 | -0,263 | 0,898 | 0,926 | 0,965 | 313 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,036 |
| 208 | -0,262 | 0,891 | 0,922 | 0,961 | 313,2 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 208,2 | -0,261 | 0,884 | 0,919 | 0,959 | 313,4 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 208,4 | -0,26 | 0,881 | 0,914 | 0,952 | 313,6 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 208,6 | -0,259 | 0,877 | 0,909 | 0,948 | 313,8 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 208,8 | -0,258 | 0,873 | 0,901 | 0,945 | 314 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 209 | -0,256 | 0,868 | 0,893 | 0,941 | 314,2 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 209,2 | -0,254 | 0,865 | 0,887 | 0,937 | 314,4 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 209,4 | -0,252 | 0,862 | 0,881 | 0,931 | 314,6 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 209,6 | -0,25 | 0,856 | 0,876 | 0,927 | 314,8 | -0,023 | -0,028 | -0,011 | 0,035 |
| 209,8 | -0,248 | 0,851 | 0,872 | 0,922 | 315 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,034 |
| 210 | -0,246 | 0,844 | 0,865 | 0,916 | 315,2 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,034 |
| 210,2 | -0,243 | 0,838 | 0,859 | 0,908 | 315,4 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,034 |
| 210,4 | -0,241 | 0,832 | 0,851 | 0,901 | 315,6 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,034 |
| 210,6 | -0,238 | 0,825 | 0,844 | 0,893 | 315,8 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,034 |
| 210,8 | -0,235 | 0,818 | 0,836 | 0,886 | 316 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,033 |
| 211 | -0,233 | 0,811 | 0,827 | 0,878 | 316,2 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,033 |
| 211,2 | -0,23 | 0,803 | 0,82 | 0,87 | 316,4 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,033 |
| 211,4 | -0,227 | 0,795 | 0,812 | 0,863 | 316,6 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,033 |
| 211,6 | -0,224 | 0,786 | 0,805 | 0,854 | 316,8 | -0,023 | -0,028 | -0,012 | 0,033 |
| 211,8 | -0,22 | 0,777 | 0,797 | 0,845 | 317 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,033 |
| 212 | -0,217 | 0,767 | 0,789 | 0,836 | 317,2 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,033 |
| 212,2 | -0,213 | 0,758 | 0,779 | 0,826 | 317,4 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |
| 212,4 | -0,21 | 0,748 | 0,769 | 0,817 | 317,6 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |
| 212,6 | -0,206 | 0,738 | 0,758 | 0,808 | 317,8 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |
| 212,8 | -0,202 | 0,728 | 0,749 | 0,799 | 318 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |
| 213 | -0,199 | 0,718 | 0,74 | 0,791 | 318,2 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |
| 213,2 | -0,196 | 0,708 | 0,73 | 0,782 | 318,4 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |
| 213,4 | -0,192 | 0,699 | 0,721 | 0,773 | 318,6 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |
| 213,6 | -0,189 | 0,689 | 0,712 | 0,764 | 318,8 | -0,022 | -0,028 | -0,012 | 0,032 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 213,8 | -0,186 | 0,68 | 0,702 | 0,755 | 319 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,032 |
| 214 | -0,182 | 0,67 | 0,692 | 0,745 | 319,2 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 214,2 | -0,179 | 0,66 | 0,683 | 0,736 | 319,4 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 214,4 | -0,176 | 0,651 | 0,673 | 0,726 | 319,6 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 214,6 | -0,172 | 0,641 | 0,663 | 0,717 | 319,8 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 214,8 | -0,169 | 0,631 | 0,653 | 0,707 | 320 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 215 | -0,166 | 0,622 | 0,644 | 0,698 | 320,2 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 215,2 | -0,163 | 0,612 | 0,635 | 0,689 | 320,4 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 215,4 | -0,159 | 0,603 | 0,626 | 0,68 | 320,6 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 215,6 | -0,156 | 0,593 | 0,616 | 0,671 | 320,8 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 215,8 | -0,153 | 0,584 | 0,607 | 0,662 | 321 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 216 | -0,15 | 0,575 | 0,598 | 0,654 | 321,2 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 216,2 | -0,147 | 0,565 | 0,588 | 0,645 | 321,4 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 216,4 | -0,144 | 0,557 | 0,58 | 0,637 | 321,6 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 216,6 | -0,141 | 0,548 | 0,571 | 0,628 | 321,8 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 216,8 | -0,138 | 0,539 | 0,562 | 0,62 | 322 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,031 |
| 217 | -0,135 | 0,53 | 0,554 | 0,611 | 322,2 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 217,2 | -0,133 | 0,522 | 0,545 | 0,603 | 322,4 | -0,022 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 217,4 | -0,13 | 0,513 | 0,538 | 0,595 | 322,6 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 217,6 | -0,128 | 0,505 | 0,529 | 0,587 | 322,8 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 217,8 | -0,125 | 0,497 | 0,521 | 0,579 | 323 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 218 | -0,123 | 0,489 | 0,513 | 0,572 | 323,2 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 218,2 | -0,121 | 0,481 | 0,505 | 0,564 | 323,4 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 218,4 | -0,119 | 0,472 | 0,496 | 0,555 | 323,6 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 218,6 | -0,116 | 0,463 | 0,488 | 0,548 | 323,8 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 218,8 | -0,114 | 0,455 | 0,48 | 0,54 | 324 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,03 |
| 219 | -0,112 | 0,447 | 0,472 | 0,532 | 324,2 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 219,2 | -0,11 | 0,44 | 0,464 | 0,525 | 324,4 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 219,4 | -0,108 | 0,432 | 0,457 | 0,518 | 324,6 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 219,6 | -0,107 | 0,425 | 0,45 | 0,511 | 324,8 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 219,8 | -0,105 | 0,418 | 0,443 | 0,504 | 325 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 220 | -0,104 | 0,412 | 0,437 | 0,498 | 325,2 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 220,2 | -0,102 | 0,405 | 0,43 | 0,491 | 325,4 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 220,4 | -0,101 | 0,397 | 0,423 | 0,484 | 325,6 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 220,6 | -0,1 | 0,391 | 0,416 | 0,478 | 325,8 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 220,8 | -0,099 | 0,384 | 0,41 | 0,471 | 326 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 221 | -0,098 | 0,377 | 0,403 | 0,465 | 326,2 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 221,2 | -0,097 | 0,371 | 0,397 | 0,459 | 326,4 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 221,4 | -0,096 | 0,365 | 0,391 | 0,453 | 326,6 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 221,6 | -0,095 | 0,358 | 0,385 | 0,447 | 326,8 | -0,021 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 221,8 | -0,094 | 0,352 | 0,379 | 0,442 | 327 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 222 | -0,094 | 0,346 | 0,373 | 0,436 | 327,2 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 222,2 | -0,093 | 0,34 | 0,367 | 0,43 | 327,4 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 222,4 | -0,093 | 0,334 | 0,361 | 0,424 | 327,6 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,029 |
| 222,6 | -0,092 | 0,329 | 0,356 | 0,419 | 327,8 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 222,8 | -0,092 | 0,323 | 0,35 | 0,414 | 328 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,029 |
| 223 | -0,092 | 0,317 | 0,345 | 0,408 | 328,2 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,028 |
| 223,2 | -0,092 | 0,312 | 0,34 | 0,404 | 328,4 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,028 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 223,4 | -0,092 | 0,307 | 0,335 | 0,399 | 328,6 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,028 |
| 223,6 | -0,091 | 0,302 | 0,33 | 0,394 | 328,8 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,028 |
| 223,8 | -0,092 | 0,297 | 0,325 | 0,389 | 329 | -0,02 | -0,028 | -0,013 | 0,028 |
| 224 | -0,092 | 0,292 | 0,32 | 0,384 | 329,2 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 224,2 | -0,092 | 0,288 | 0,315 | 0,38 | 329,4 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 224,4 | -0,092 | 0,283 | 0,311 | 0,375 | 329,6 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 224,6 | -0,092 | 0,278 | 0,306 | 0,37 | 329,8 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 224,8 | -0,093 | 0,273 | 0,301 | 0,366 | 330 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 225 | -0,093 | 0,268 | 0,296 | 0,361 | 330,2 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 225,2 | -0,093 | 0,264 | 0,292 | 0,356 | 330,4 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 225,4 | -0,093 | 0,259 | 0,287 | 0,352 | 330,6 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 225,6 | -0,094 | 0,254 | 0,283 | 0,348 | 330,8 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,028 |
| 225,8 | -0,094 | 0,25 | 0,279 | 0,344 | 331 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,027 |
| 226 | -0,095 | 0,246 | 0,275 | 0,34 | 331,2 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,027 |
| 226,2 | -0,095 | 0,242 | 0,271 | 0,336 | 331,4 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,027 |
| 226,4 | -0,096 | 0,239 | 0,268 | 0,333 | 331,6 | -0,02 | -0,027 | -0,013 | 0,027 |
| 226,6 | -0,096 | 0,235 | 0,264 | 0,329 | 331,8 | -0,02 | -0,028 | -0,014 | 0,027 |
| 226,8 | -0,097 | 0,231 | 0,261 | 0,326 | 332 | -0,02 | -0,028 | -0,014 | 0,027 |
| 227 | -0,097 | 0,228 | 0,257 | 0,322 | 332,2 | -0,02 | -0,028 | -0,014 | 0,027 |
| 227,2 | -0,098 | 0,225 | 0,254 | 0,319 | 332,4 | -0,02 | -0,028 | -0,014 | 0,027 |
| 227,4 | -0,098 | 0,221 | 0,251 | 0,316 | 332,6 | -0,02 | -0,028 | -0,014 | 0,027 |
| 227,6 | -0,099 | 0,218 | 0,248 | 0,312 | 332,8 | -0,02 | -0,028 | -0,014 | 0,027 |
| 227,8 | -0,1 | 0,214 | 0,244 | 0,309 | 333 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,027 |
| 228 | -0,1 | 0,211 | 0,241 | 0,306 | 333,2 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,027 |
| 228,2 | -0,101 | 0,208 | 0,238 | 0,303 | 333,4 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,027 |
| 228,4 | -0,101 | 0,204 | 0,235 | 0,299 | 333,6 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,027 |
| 228,6 | -0,102 | 0,201 | 0,231 | 0,296 | 333,8 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 228,8 | -0,102 | 0,198 | 0,229 | 0,294 | 334 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 229 | -0,102 | 0,195 | 0,226 | 0,291 | 334,2 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 229,2 | -0,103 | 0,192 | 0,223 | 0,288 | 334,4 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 229,4 | -0,103 | 0,189 | 0,22 | 0,285 | 334,6 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 229,6 | -0,104 | 0,187 | 0,217 | 0,282 | 334,8 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 229,8 | -0,104 | 0,184 | 0,214 | 0,279 | 335 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 230 | -0,104 | 0,181 | 0,212 | 0,276 | 335,2 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 230,2 | -0,105 | 0,178 | 0,209 | 0,273 | 335,4 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 230,4 | -0,105 | 0,176 | 0,206 | 0,271 | 335,6 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 230,6 | -0,105 | 0,173 | 0,204 | 0,268 | 335,8 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 230,8 | -0,106 | 0,17 | 0,201 | 0,265 | 336 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 231 | -0,106 | 0,167 | 0,198 | 0,262 | 336,2 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 231,2 | -0,106 | 0,164 | 0,195 | 0,259 | 336,4 | -0,02 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 231,4 | -0,106 | 0,161 | 0,192 | 0,256 | 336,6 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 231,6 | -0,106 | 0,158 | 0,189 | 0,253 | 336,8 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,026 |
| 231,8 | -0,106 | 0,155 | 0,186 | 0,25 | 337 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 232 | -0,106 | 0,152 | 0,183 | 0,247 | 337,2 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 232,2 | -0,106 | 0,15 | 0,181 | 0,245 | 337,4 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 232,4 | -0,106 | 0,147 | 0,178 | 0,242 | 337,6 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 232,6 | -0,106 | 0,145 | 0,176 | 0,24 | 337,8 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 232,8 | -0,106 | 0,142 | 0,173 | 0,237 | 338 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 233 | -0,106 | 0,14 | 0,171 | 0,234 | 338,2 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 233,2 | -0,106 | 0,137 | 0,168 | 0,232 | 338,4 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 233,4 | -0,106 | 0,135 | 0,166 | 0,229 | 338,6 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 233,6 | -0,105 | 0,133 | 0,163 | 0,227 | 338,8 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 233,8 | -0,105 | 0,13 | 0,161 | 0,225 | 339 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 234 | -0,105 | 0,128 | 0,159 | 0,222 | 339,2 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 234,2 | -0,104 | 0,126 | 0,157 | 0,22 | 339,4 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 234,4 | -0,104 | 0,124 | 0,154 | 0,218 | 339,6 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 234,6 | -0,103 | 0,122 | 0,152 | 0,216 | 339,8 | -0,021 | -0,027 | -0,014 | 0,025 |
| 234,8 | -0,103 | 0,119 | 0,15 | 0,213 | 340 | -0,021 | -0,027 | -0,013 | 0,025 |
| 235 | -0,103 | 0,117 | 0,148 | 0,211 | 340,2 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 235,2 | -0,102 | 0,115 | 0,146 | 0,209 | 340,4 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 235,4 | -0,102 | 0,113 | 0,144 | 0,207 | 340,6 | -0,02 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 235,6 | -0,101 | 0,111 | 0,141 | 0,205 | 340,8 | -0,02 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 235,8 | -0,101 | 0,108 | 0,139 | 0,202 | 341 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 236 | -0,1 | 0,106 | 0,137 | 0,2 | 341,2 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 236,2 | -0,1 | 0,104 | 0,135 | 0,198 | 341,4 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 236,4 | -0,099 | 0,103 | 0,133 | 0,196 | 341,6 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 236,6 | -0,099 | 0,101 | 0,132 | 0,194 | 341,8 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 236,8 | -0,098 | 0,099 | 0,13 | 0,192 | 342 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 237 | -0,098 | 0,097 | 0,128 | 0,19 | 342,2 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 237,2 | -0,097 | 0,095 | 0,126 | 0,188 | 342,4 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 237,4 | -0,096 | 0,093 | 0,124 | 0,186 | 342,6 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 237,6 | -0,095 | 0,091 | 0,122 | 0,184 | 342,8 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 237,8 | -0,095 | 0,089 | 0,12 | 0,182 | 343 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,025 |
| 238 | -0,094 | 0,087 | 0,118 | 0,18 | 343,2 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 238,2 | -0,094 | 0,085 | 0,116 | 0,178 | 343,4 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 238,4 | -0,093 | 0,084 | 0,114 | 0,176 | 343,6 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 238,6 | -0,092 | 0,082 | 0,112 | 0,175 | 343,8 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 238,8 | -0,092 | 0,08 | 0,11 | 0,173 | 344 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 239 | -0,091 | 0,079 | 0,109 | 0,171 | 344,2 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 239,2 | -0,091 | 0,077 | 0,107 | 0,169 | 344,4 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 239,4 | -0,09 | 0,076 | 0,105 | 0,168 | 344,6 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 239,6 | -0,09 | 0,074 | 0,104 | 0,166 | 344,8 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 239,8 | -0,089 | 0,073 | 0,102 | 0,164 | 345 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 240 | -0,089 | 0,071 | 0,101 | 0,163 | 345,2 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 240,2 | -0,088 | 0,07 | 0,099 | 0,161 | 345,4 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 240,4 | -0,087 | 0,068 | 0,098 | 0,16 | 345,6 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 240,6 | -0,087 | 0,067 | 0,097 | 0,158 | 345,8 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 240,8 | -0,087 | 0,065 | 0,095 | 0,156 | 346 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 241 | -0,086 | 0,064 | 0,094 | 0,155 | 346,2 | -0,021 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 241,2 | -0,086 | 0,063 | 0,092 | 0,154 | 346,4 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 241,4 | -0,085 | 0,062 | 0,091 | 0,153 | 346,6 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,024 |
| 241,6 | -0,085 | 0,06 | 0,09 | 0,151 | 346,8 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 241,8 | -0,085 | 0,059 | 0,089 | 0,15 | 347 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 242 | -0,084 | 0,058 | 0,087 | 0,149 | 347,2 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 242,2 | -0,084 | 0,057 | 0,086 | 0,147 | 347,4 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 242,4 | -0,084 | 0,056 | 0,085 | 0,146 | 347,6 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 242,6 | -0,084 | 0,055 | 0,084 | 0,145 | 347,8 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 242,8 | -0,083 | 0,054 | 0,083 | 0,144 | 348 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 243 | -0,083 | 0,053 | 0,082 | 0,142 | 348,2 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 243,2 | -0,083 | 0,052 | 0,081 | 0,141 | 348,4 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 243,4 | -0,083 | 0,051 | 0,079 | 0,14 | 348,6 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 243,6 | -0,082 | 0,05 | 0,079 | 0,139 | 348,8 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 243,8 | -0,082 | 0,049 | 0,078 | 0,138 | 349 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 244 | -0,082 | 0,048 | 0,077 | 0,137 | 349,2 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 244,2 | -0,082 | 0,047 | 0,076 | 0,136 | 349,4 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,023 |
| 244,4 | -0,082 | 0,047 | 0,075 | 0,135 | 349,6 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,022 |
| 244,6 | -0,082 | 0,046 | 0,074 | 0,134 | 349,8 | -0,022 | -0,026 | -0,013 | 0,022 |
| 244,8 | -0,082 | 0,045 | 0,073 | 0,133 | 350 | -0,022 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 245 | -0,082 | 0,044 | 0,072 | 0,132 | 350,2 | -0,022 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 245,2 | -0,082 | 0,044 | 0,072 | 0,132 | 350,4 | -0,022 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 245,4 | -0,083 | 0,043 | 0,071 | 0,131 | 350,6 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 245,6 | -0,083 | 0,043 | 0,071 | 0,13 | 350,8 | -0,022 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 245,8 | -0,083 | 0,042 | 0,07 | 0,129 | 351 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 246 | -0,083 | 0,041 | 0,07 | 0,129 | 351,2 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 246,2 | -0,083 | 0,041 | 0,069 | 0,128 | 351,4 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 246,4 | -0,084 | 0,041 | 0,068 | 0,127 | 351,6 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 246,6 | -0,084 | 0,04 | 0,068 | 0,127 | 351,8 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 246,8 | -0,084 | 0,04 | 0,068 | 0,126 | 352 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 247 | -0,085 | 0,039 | 0,067 | 0,126 | 352,2 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,022 |
| 247,2 | -0,085 | 0,039 | 0,067 | 0,125 | 352,4 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 247,4 | -0,085 | 0,039 | 0,067 | 0,125 | 352,6 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 247,6 | -0,086 | 0,039 | 0,066 | 0,124 | 352,8 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 247,8 | -0,086 | 0,038 | 0,066 | 0,124 | 353 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 248 | -0,087 | 0,038 | 0,066 | 0,124 | 353,2 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 248,2 | -0,087 | 0,038 | 0,066 | 0,124 | 353,4 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 248,4 | -0,088 | 0,038 | 0,066 | 0,123 | 353,6 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 248,6 | -0,089 | 0,038 | 0,066 | 0,123 | 353,8 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 248,8 | -0,089 | 0,038 | 0,065 | 0,123 | 354 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 249 | -0,09 | 0,038 | 0,065 | 0,123 | 354,2 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 249,2 | -0,091 | 0,038 | 0,065 | 0,122 | 354,4 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 249,4 | -0,091 | 0,038 | 0,065 | 0,122 | 354,6 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 249,6 | -0,092 | 0,038 | 0,065 | 0,122 | 354,8 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 249,8 | -0,093 | 0,038 | 0,065 | 0,122 | 355 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 250 | -0,094 | 0,038 | 0,065 | 0,122 | 355,2 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,021 |
| 250,2 | -0,095 | 0,038 | 0,065 | 0,122 | 355,4 | -0,023 | -0,026 | -0,014 | 0,02 |
| 250,4 | -0,096 | 0,038 | 0,066 | 0,122 | 355,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 250,6 | -0,097 | 0,039 | 0,066 | 0,122 | 355,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 250,8 | -0,098 | 0,039 | 0,066 | 0,122 | 356 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 251 | -0,099 | 0,039 | 0,066 | 0,122 | 356,2 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 251,2 | -0,1 | 0,039 | 0,066 | 0,122 | 356,4 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 251,4 | -0,101 | 0,039 | 0,066 | 0,122 | 356,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 251,6 | -0,102 | 0,04 | 0,067 | 0,122 | 356,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 251,8 | -0,103 | 0,04 | 0,067 | 0,122 | 357 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 252 | -0,104 | 0,041 | 0,067 | 0,123 | 357,2 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 252,2 | -0,105 | 0,041 | 0,068 | 0,123 | 357,4 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 252,4 | -0,106 | 0,041 | 0,068 | 0,123 | 357,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 252,6 | -0,107 | 0,042 | 0,069 | 0,123 | 357,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 252,8 | -0,108 | 0,042 | 0,069 | 0,124 | 358 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 253 | -0,109 | 0,043 | 0,069 | 0,124 | 358,2 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 253,2 | -0,11 | 0,043 | 0,07 | 0,124 | 358,4 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,02 |
| 253,4 | -0,112 | 0,043 | 0,07 | 0,125 | 358,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 253,6 | -0,113 | 0,044 | 0,071 | 0,125 | 358,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 253,8 | -0,114 | 0,044 | 0,071 | 0,125 | 359 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 254 | -0,115 | 0,045 | 0,072 | 0,126 | 359,2 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 254,2 | -0,116 | 0,045 | 0,072 | 0,126 | 359,4 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 254,4 | -0,118 | 0,046 | 0,073 | 0,126 | 359,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 254,6 | -0,119 | 0,047 | 0,073 | 0,127 | 359,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 254,8 | -0,12 | 0,047 | 0,074 | 0,127 | 360 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 255 | -0,122 | 0,048 | 0,075 | 0,128 | 360,2 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 255,2 | -0,123 | 0,049 | 0,075 | 0,128 | 360,4 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 255,4 | -0,124 | 0,049 | 0,076 | 0,129 | 360,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 255,6 | -0,126 | 0,05 | 0,076 | 0,129 | 360,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 255,8 | -0,127 | 0,05 | 0,077 | 0,13 | 361 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,019 |
| 256 | -0,128 | 0,051 | 0,078 | 0,13 | 361,2 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 256,2 | -0,13 | 0,052 | 0,079 | 0,131 | 361,4 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 256,4 | -0,131 | 0,052 | 0,079 | 0,131 | 361,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 256,6 | -0,133 | 0,053 | 0,08 | 0,132 | 361,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 256,8 | -0,134 | 0,054 | 0,081 | 0,132 | 362 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 257 | -0,136 | 0,054 | 0,081 | 0,133 | 362,2 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 257,2 | -0,137 | 0,055 | 0,082 | 0,134 | 362,4 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 257,4 | -0,138 | 0,056 | 0,083 | 0,134 | 362,6 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 257,6 | -0,14 | 0,057 | 0,084 | 0,135 | 362,8 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 257,8 | -0,141 | 0,057 | 0,084 | 0,135 | 363 | -0,023 | -0,025 | -0,014 | 0,018 |
| 258 | -0,142 | 0,058 | 0,085 | 0,136 | 363,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,018 |
| 258,2 | -0,144 | 0,059 | 0,086 | 0,137 | 363,4 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,018 |
| 258,4 | -0,145 | 0,06 | 0,087 | 0,137 | 363,6 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,018 |
| 258,6 | -0,147 | 0,061 | 0,087 | 0,138 | 363,8 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,017 |
| 258,8 | -0,148 | 0,061 | 0,088 | 0,139 | 364 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,017 |
| 259 | -0,15 | 0,062 | 0,089 | 0,139 | 364,2 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,017 |
| 259,2 | -0,151 | 0,063 | 0,09 | 0,14 | 364,4 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,017 |
| 259,4 | -0,153 | 0,064 | 0,09 | 0,14 | 364,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,017 |
| 259,6 | -0,154 | 0,064 | 0,091 | 0,141 | 364,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,017 |
| 259,8 | -0,156 | 0,065 | 0,092 | 0,142 | 365 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 260 | -0,157 | 0,066 | 0,093 | 0,143 | 365,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 260,2 | -0,158 | 0,067 | 0,094 | 0,143 | 365,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 260,4 | -0,16 | 0,067 | 0,094 | 0,144 | 365,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 260,6 | -0,162 | 0,068 | 0,095 | 0,145 | 365,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 260,8 | -0,163 | 0,069 | 0,096 | 0,145 | 366 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 261 | -0,164 | 0,07 | 0,097 | 0,146 | 366,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 261,2 | -0,166 | 0,071 | 0,097 | 0,147 | 366,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 261,4 | -0,167 | 0,072 | 0,098 | 0,147 | 366,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 261,6 | -0,169 | 0,072 | 0,099 | 0,148 | 366,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 261,8 | -0,17 | 0,073 | 0,1 | 0,149 | 367 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 262 | -0,172 | 0,074 | 0,101 | 0,15 | 367,2 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 262,2 | -0,174 | 0,075 | 0,102 | 0,15 | 367,4 | -0,024 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 262,4 | -0,175 | 0,076 | 0,103 | 0,151 | 367,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,016 |
| 262,6 | -0,176 | 0,077 | 0,104 | 0,152 | 367,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 262,8 | -0,178 | 0,078 | 0,104 | 0,153 | 368 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 263 | -0,179 | 0,079 | 0,105 | 0,154 | 368,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 263,2 | -0,18 | 0,08 | 0,106 | 0,154 | 368,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 263,4 | -0,182 | 0,081 | 0,107 | 0,155 | 368,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 263,6 | -0,183 | 0,082 | 0,108 | 0,156 | 368,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 263,8 | -0,184 | 0,082 | 0,109 | 0,157 | 369 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 264 | -0,185 | 0,083 | 0,109 | 0,157 | 369,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 264,2 | -0,187 | 0,083 | 0,11 | 0,158 | 369,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 264,4 | -0,188 | 0,084 | 0,111 | 0,158 | 369,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 264,6 | -0,189 | 0,085 | 0,111 | 0,159 | 369,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 264,8 | -0,19 | 0,085 | 0,112 | 0,159 | 370 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 265 | -0,192 | 0,086 | 0,112 | 0,16 | 370,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 265,2 | -0,193 | 0,087 | 0,113 | 0,16 | 370,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,015 |
| 265,4 | -0,194 | 0,087 | 0,114 | 0,161 | 370,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 265,6 | -0,195 | 0,088 | 0,115 | 0,162 | 370,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 265,8 | -0,196 | 0,089 | 0,116 | 0,162 | 371 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 266 | -0,197 | 0,09 | 0,116 | 0,163 | 371,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 266,2 | -0,198 | 0,09 | 0,117 | 0,164 | 371,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 266,4 | -0,199 | 0,091 | 0,118 | 0,164 | 371,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 266,6 | -0,2 | 0,092 | 0,119 | 0,165 | 371,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 266,8 | -0,201 | 0,092 | 0,119 | 0,166 | 372 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 267 | -0,203 | 0,093 | 0,12 | 0,166 | 372,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 267,2 | -0,204 | 0,093 | 0,12 | 0,167 | 372,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 267,4 | -0,205 | 0,094 | 0,121 | 0,167 | 372,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,014 |
| 267,6 | -0,206 | 0,095 | 0,122 | 0,168 | 372,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 267,8 | -0,206 | 0,095 | 0,122 | 0,168 | 373 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 268 | -0,207 | 0,096 | 0,123 | 0,169 | 373,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 268,2 | -0,208 | 0,097 | 0,123 | 0,169 | 373,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 268,4 | -0,209 | 0,097 | 0,124 | 0,17 | 373,6 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 268,6 | -0,21 | 0,098 | 0,124 | 0,17 | 373,8 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 268,8 | -0,21 | 0,098 | 0,125 | 0,171 | 374 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 269 | -0,211 | 0,098 | 0,125 | 0,171 | 374,2 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 269,2 | -0,212 | 0,099 | 0,125 | 0,172 | 374,4 | -0,023 | -0,025 | -0,015 | 0,013 |
| 269,4 | -0,213 | 0,099 | 0,126 | 0,172 | 374,6 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,013 |
| 269,6 | -0,213 | 0,1 | 0,126 | 0,172 | 374,8 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,013 |
| 269,8 | -0,214 | 0,1 | 0,127 | 0,173 | 375 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,013 |
| 270 | -0,215 | 0,101 | 0,127 | 0,173 | 375,2 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,013 |
| 270,2 | -0,215 | 0,101 | 0,127 | 0,173 | 375,4 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 270,4 | -0,216 | 0,101 | 0,128 | 0,174 | 375,6 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 270,6 | -0,216 | 0,102 | 0,128 | 0,174 | 375,8 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 270,8 | -0,216 | 0,102 | 0,128 | 0,174 | 376 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 271 | -0,217 | 0,102 | 0,128 | 0,174 | 376,2 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 271,2 | -0,217 | 0,102 | 0,129 | 0,175 | 376,4 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 271,4 | -0,217 | 0,103 | 0,129 | 0,175 | 376,6 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 271,6 | -0,218 | 0,103 | 0,129 | 0,175 | 376,8 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 271,8 | -0,218 | 0,103 | 0,13 | 0,175 | 377 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 272 | -0,218 | 0,104 | 0,13 | 0,175 | 377,2 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 272,2 | -0,218 | 0,104 | 0,13 | 0,175 | 377,4 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,012 |
| 272,4 | -0,218 | 0,104 | 0,13 | 0,175 | 377,6 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 272,6 | -0,218 | 0,104 | 0,13 | 0,175 | 377,8 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 272,8 | -0,219 | 0,104 | 0,13 | 0,175 | 378 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 273 | -0,219 | 0,104 | 0,13 | 0,175 | 378,2 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 273,2 | -0,218 | 0,104 | 0,129 | 0,175 | 378,4 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 273,4 | -0,218 | 0,104 | 0,129 | 0,175 | 378,6 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 273,6 | -0,218 | 0,104 | 0,129 | 0,175 | 378,8 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 273,8 | -0,218 | 0,104 | 0,129 | 0,175 | 379 | -0,023 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 274 | -0,218 | 0,103 | 0,129 | 0,175 | 379,2 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 274,2 | -0,218 | 0,103 | 0,129 | 0,175 | 379,4 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,011 |
| 274,4 | -0,217 | 0,103 | 0,129 | 0,174 | 379,6 | -0,024 | -0,024 | -0,016 | 0,01 |
| 274,6 | -0,217 | 0,103 | 0,128 | 0,174 | 379,8 | -0,024 | -0,024 | -0,016 | 0,01 |
| 274,8 | -0,216 | 0,103 | 0,128 | 0,174 | 380 | -0,024 | -0,024 | -0,016 | 0,01 |
| 275 | -0,216 | 0,102 | 0,128 | 0,174 | 380,2 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 275,2 | -0,215 | 0,102 | 0,128 | 0,173 | 380,4 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 275,4 | -0,215 | 0,102 | 0,127 | 0,173 | 380,6 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 275,6 | -0,214 | 0,101 | 0,127 | 0,173 | 380,8 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 275,8 | -0,214 | 0,101 | 0,127 | 0,172 | 381 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 276 | -0,213 | 0,101 | 0,126 | 0,172 | 381,2 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 276,2 | -0,212 | 0,1 | 0,126 | 0,171 | 381,4 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 276,4 | -0,211 | 0,1 | 0,125 | 0,171 | 381,6 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 276,6 | -0,211 | 0,099 | 0,125 | 0,17 | 381,8 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,01 |
| 276,8 | -0,21 | 0,098 | 0,124 | 0,17 | 382 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,009 |
| 277 | -0,209 | 0,098 | 0,123 | 0,169 | 382,2 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,009 |
| 277,2 | -0,208 | 0,097 | 0,123 | 0,169 | 382,4 | -0,024 | -0,025 | -0,016 | 0,009 |
| 277,4 | -0,207 | 0,097 | 0,122 | 0,168 | 382,6 | -0,024 | -0,025 | -0,017 | 0,009 |
| 277,6 | -0,206 | 0,096 | 0,121 | 0,167 | 382,8 | -0,024 | -0,025 | -0,017 | 0,009 |
| 277,8 | -0,205 | 0,095 | 0,12 | 0,167 | 383 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,009 |
| 278 | -0,204 | 0,095 | 0,12 | 0,166 | 383,2 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,009 |
| 278,2 | -0,203 | 0,094 | 0,119 | 0,165 | 383,4 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,009 |
| 278,4 | -0,202 | 0,093 | 0,118 | 0,165 | 383,6 | -0,023 | -0,024 | -0,016 | 0,009 |
| 278,6 | -0,201 | 0,092 | 0,117 | 0,164 | 383,8 | -0,023 | -0,024 | -0,016 | 0,009 |
| 278,8 | -0,199 | 0,091 | 0,116 | 0,163 | 384 | -0,023 | -0,024 | -0,016 | 0,009 |
| 279 | -0,198 | 0,09 | 0,116 | 0,162 | 384,2 | -0,023 | -0,024 | -0,016 | 0,009 |
| 279,2 | -0,197 | 0,09 | 0,115 | 0,161 | 384,4 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,009 |
| 279,4 | -0,196 | 0,089 | 0,114 | 0,16 | 384,6 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,009 |
| 279,6 | -0,194 | 0,088 | 0,113 | 0,159 | 384,8 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 279,8 | -0,192 | 0,087 | 0,112 | 0,158 | 385 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 280 | -0,191 | 0,086 | 0,111 | 0,157 | 385,2 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 280,2 | -0,189 | 0,085 | 0,11 | 0,156 | 385,4 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 280,4 | -0,188 | 0,084 | 0,109 | 0,155 | 385,6 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 280,6 | -0,186 | 0,083 | 0,108 | 0,154 | 385,8 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 280,8 | -0,185 | 0,082 | 0,106 | 0,153 | 386 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 281 | -0,183 | 0,081 | 0,105 | 0,152 | 386,2 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 281,2 | -0,182 | 0,08 | 0,104 | 0,151 | 386,4 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 281,4 | -0,18 | 0,079 | 0,103 | 0,15 | 386,6 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 281,6 | -0,178 | 0,077 | 0,101 | 0,148 | 386,8 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,008 |
| 281,8 | -0,176 | 0,076 | 0,1 | 0,147 | 387 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 282 | -0,174 | 0,075 | 0,099 | 0,146 | 387,2 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 282,2 | -0,172 | 0,074 | 0,097 | 0,145 | 387,4 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 282,4 | -0,17 | 0,072 | 0,096 | 0,144 | 387,6 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 282,6 | -0,168 | 0,071 | 0,095 | 0,143 | 387,8 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 282,8 | -0,166 | 0,069 | 0,093 | 0,141 | 388 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 283 | -0,164 | 0,068 | 0,092 | 0,14 | 388,2 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 283,2 | -0,162 | 0,066 | 0,09 | 0,138 | 388,4 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 283,4 | -0,159 | 0,065 | 0,088 | 0,137 | 388,6 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 283,6 | -0,157 | 0,063 | 0,087 | 0,135 | 388,8 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 283,8 | -0,155 | 0,062 | 0,085 | 0,133 | 389 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 284 | -0,153 | 0,06 | 0,083 | 0,132 | 389,2 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 284,2 | -0,15 | 0,059 | 0,082 | 0,13 | 389,4 | -0,024 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 284,4 | -0,148 | 0,057 | 0,08 | 0,128 | 389,6 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 284,6 | -0,145 | 0,055 | 0,078 | 0,127 | 389,8 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 284,8 | -0,143 | 0,054 | 0,076 | 0,125 | 390 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,007 |
| 285 | -0,14 | 0,052 | 0,075 | 0,123 | 390,2 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 285,2 | -0,138 | 0,05 | 0,073 | 0,122 | 390,4 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 285,4 | -0,135 | 0,049 | 0,071 | 0,12 | 390,6 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 285,6 | -0,133 | 0,047 | 0,069 | 0,119 | 390,8 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 285,8 | -0,131 | 0,046 | 0,068 | 0,117 | 391 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 286 | -0,129 | 0,044 | 0,066 | 0,116 | 391,2 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 286,2 | -0,127 | 0,043 | 0,065 | 0,115 | 391,4 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 286,4 | -0,124 | 0,041 | 0,063 | 0,113 | 391,6 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 286,6 | -0,122 | 0,04 | 0,062 | 0,112 | 391,8 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 286,8 | -0,12 | 0,038 | 0,06 | 0,11 | 392 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 287 | -0,117 | 0,036 | 0,058 | 0,108 | 392,2 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 287,2 | -0,114 | 0,035 | 0,056 | 0,107 | 392,4 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,006 |
| 287,4 | -0,112 | 0,033 | 0,055 | 0,105 | 392,6 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,005 |
| 287,6 | -0,109 | 0,031 | 0,053 | 0,104 | 392,8 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,005 |
| 287,8 | -0,107 | 0,03 | 0,051 | 0,102 | 393 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,005 |
| 288 | -0,105 | 0,028 | 0,05 | 0,101 | 393,2 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,005 |
| 288,2 | -0,102 | 0,027 | 0,048 | 0,099 | 393,4 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,005 |
| 288,4 | -0,1 | 0,025 | 0,047 | 0,098 | 393,6 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,005 |
| 288,6 | -0,098 | 0,024 | 0,045 | 0,096 | 393,8 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,005 |
| 288,8 | -0,095 | 0,022 | 0,043 | 0,094 | 394 | -0,023 | -0,024 | -0,017 | 0,005 |
| 289 | -0,093 | 0,021 | 0,042 | 0,093 | 394,2 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,005 |
| 289,2 | -0,091 | 0,019 | 0,04 | 0,091 | 394,4 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,005 |
| 289,4 | -0,089 | 0,017 | 0,038 | 0,09 | 394,6 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,005 |
| 289,6 | -0,087 | 0,016 | 0,037 | 0,088 | 394,8 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,005 |
| 289,8 | -0,085 | 0,014 | 0,035 | 0,087 | 395 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,005 |
| 290 | -0,083 | 0,013 | 0,034 | 0,085 | 395,2 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 290,2 | -0,08 | 0,012 | 0,032 | 0,084 | 395,4 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 290,4 | -0,078 | 0,01 | 0,031 | 0,083 | 395,6 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 290,6 | -0,076 | 0,009 | 0,03 | 0,081 | 395,8 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 290,8 | -0,074 | 0,007 | 0,028 | 0,08 | 396 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 291 | -0,072 | 0,006 | 0,027 | 0,079 | 396,2 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 291,2 | -0,071 | 0,005 | 0,026 | 0,077 | 396,4 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 291,4 | -0,069 | 0,004 | 0,024 | 0,076 | 396,6 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 291,6 | -0,067 | 0,002 | 0,023 | 0,075 | 396,8 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 291,8 | -0,065 | 0,001 | 0,022 | 0,074 | 397 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 292 | -0,064 | 0 | 0,021 | 0,073 | 397,2 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 292,2 | -0,062 | -0,001 | 0,019 | 0,072 | 397,4 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 292,4 | -0,06 | -0,002 | 0,018 | 0,07 | 397,6 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 292,6 | -0,059 | -0,004 | 0,017 | 0,069 | 397,8 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 292,8 | -0,057 | -0,005 | 0,016 | 0,068 | 398 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 293 | -0,056 | -0,006 | 0,015 | 0,067 | 398,2 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 293,2 | -0,055 | -0,007 | 0,014 | 0,066 | 398,4 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,004 |
| 293,4 | -0,053 | -0,007 | 0,013 | 0,065 | 398,6 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 293,6 | -0,052 | -0,008 | 0,012 | 0,065 | 398,8 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 293,8 | -0,051 | -0,009 | 0,011 | 0,064 | 399 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 294 | -0,049 | -0,01 | 0,01 | 0,063 | 399,2 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 294,2 | -0,048 | -0,011 | 0,009 | 0,062 | 399,4 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 294,4 | -0,047 | -0,012 | 0,008 | 0,061 | 399,6 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 294,6 | -0,046 | -0,013 | 0,008 | 0,06 | 399,8 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 294,8 | -0,045 | -0,013 | 0,007 | 0,059 | 400 | -0,023 | -0,024 | -0,018 | 0,003 |
| 295 | -0,044 | -0,014 | 0,006 | 0,059 | | | | | |

6. Teste para verificar o tempo necessário de mixer e recirculação para obtenção de solução homogênea

| Tempo (min) | Mixer | | | |
|-------------|--------------------------|-------|--------------------------|--------|
| | Amostra retirada em cima | | Amostra retirada embaixo | |
| | Valor | Média | Valor | Média |
| 0 | 1,608 | | -0,027 | |
| 0 | 1,632 | 1,630 | -0,035 | -0,032 |
| 0 | 1,650 | | -0,034 | |
| 10 | 0,447 | | 0,014 | |
| 10 | 0,446 | 0,446 | -0,009 | -0,004 |
| 10 | 0,444 | | -0,018 | |
| 20 | 0,444 | | 0,242 | |
| 20 | 0,437 | 0,440 | 0,215 | 0,219 |
| 20 | 0,438 | | 0,2 | |
| 30 | 0,433 | | 0,381 | |
| 30 | 0,436 | 0,435 | 0,379 | 0,378 |
| 30 | 0,435 | | 0,375 | |
| 40 | 0,438 | | 0,418 | |
| 40 | 0,435 | 0,437 | 0,42 | 0,417 |
| 40 | 0,437 | | 0,414 | |
| 50 | 0,445 | | 0,432 | |
| 50 | 0,447 | 0,443 | 0,426 | 0,428 |

| | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 50 | 0,438 | | 0,425 | |
| 60 | 0,438 | | 0,433 | |
| 60 | 0,442 | 0,439 | 0,432 | 0,432 |
| 60 | 0,436 | | 0,43 | |

Recirculação (após mixer)

| Tempo (min) | Amostra retirada em cima | | Amostra retirada embaixo | |
|-------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| | Valor | Média | Valor | Média |
| 0 | 0,428 | | 0,438 | |
| 0 | 0,429 | 0,429 | 0,432 | 0,435 |
| 0 | 0,429 | | 0,435 | |
| 10 | 0,436 | | 0,433 | |
| 10 | 0,435 | 0,435 | 0,431 | 0,432 |
| 10 | 0,435 | | 0,431 | |
| 20 | 0,436 | | 0,431 | |
| 20 | 0,436 | 0,436 | 0,435 | 0,434 |
| 20 | 0,437 | | 0,436 | |
| 30 | 0,441 | | 0,434 | |
| 30 | 0,44 | 0,440 | 0,435 | 0,434 |
| 30 | 0,44 | | 0,434 | |
| 40 | 0,447 | | 0,438 | |
| 40 | 0,448 | 0,447 | 0,44 | 0,438 |
| 40 | 0,447 | | 0,436 | |
| 50 | 0,445 | | 0,437 | |
| 50 | 0,448 | 0,446 | 0,436 | 0,438 |
| 50 | 0,445 | | 0,441 | |
| 60 | 0,453 | | 0,437 | |
| 60 | 0,446 | 0,449 | 0,441 | 0,438 |
| 60 | 0,447 | | 0,437 | |

7. Resultados dos ensaios de degradação de cafeína por cavitação (com homogeneização)

Bocal único 5 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 21,9 | 7,8 | 7,92 | 1,19 | 240 | 0,480 | 0,485 | 0,485 | 0,485 |
| 15 | 23,3 | 7 | 7,95 | 3,4 | 245 | 0,492 | 0,491 | 0,496 | 0,492 |
| 30 | 23,8 | 6,7 | 7,98 | 3,75 | 243 | 0,494 | 0,493 | 0,493 | 0,493 |
| 60 | 24,2 | 6,7 | 8,06 | 4,3 | 251 | 0,497 | 0,499 | 0,497 | 0,497 |

Bocal único 15 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 22,9 | 7 | 8,18 | 2,58 | 247 | 0,468 | 0,466 | 0,465 | 0,466 |
| 15 | 24,9 | 5,5 | 8,16 | 3,24 | 262 | 0,471 | 0,471 | 0,471 | 0,471 |
| 30 | 25,6 | 5,5 | 8,16 | 3,67 | 264 | 0,474 | 0,473 | 0,475 | 0,474 |

60 25,8 5,3 8,17 4,27 260 0,48 0,48 0,479 0,48

Bocal único 25 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 19,5 | 7 | 8,06 | 2,63 | 225 | 0,485 | 0,484 | 0,488 | 0,485 |
| 15 | 23,6 | 5,8 | 7,86 | 3,88 | 244 | 0,495 | 0,495 | 0,493 | 0,495 |
| 30 | 25,4 | 5,5 | 7,88 | 5,14 | 263 | 0,505 | 0,501 | 0,500 | 0,501 |
| 60 | 25,6 | 5,4 | 7,87 | 6,55 | 265 | 0,505 | 0,505 | 0,507 | 0,505 |

Tridimensional 6 bocais 5 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 19,5 | 8,4 | 7,69 | 1,85 | 231 | 0,478 | 0,446 | 0,452 | 0,452 |
| 15 | 21,7 | 7,4 | 7,79 | 2,14 | 237 | 0,435 | 0,437 | 0,435 | 0,435 |
| 30 | 22,2 | 7,1 | 7,81 | 6,77 | 239 | 0,444 | 0,442 | 0,442 | 0,442 |
| 60 | 22,6 | 6,9 | 7,55 | 7,71 | 239 | 0,446 | 0,445 | 0,444 | 0,445 |

Tridimensional 6 bocais 15 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 21,9 | 7,6 | 7,45 | 2,95 | 241 | 0,454 | 0,46 | 0,455 | 0,455 |
| 15 | 24 | 6,7 | 7,65 | 3,63 | 246 | 0,461 | 0,465 | 0,465 | 0,465 |
| 30 | 24,5 | 6,2 | 7,63 | 4,35 | 256 | 0,466 | 0,466 | 0,469 | 0,466 |
| 60 | 24,9 | 6,1 | 7,72 | 5,13 | 256 | 0,469 | 0,47 | 0,471 | 0,47 |

Tridimensional 6 bocais 25 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 22 | 7,4 | 7,76 | 2,08 | 247 | 0,476 | 0,484 | 0,475 | 0,476 |
| 15 | 22,4 | 5,8 | 7,85 | 3,19 | 253 | 0,477 | 0,477 | 0,48 | 0,477 |
| 30 | 26,6 | 6,1 | 7,9 | 4,02 | 263 | 0,484 | 0,484 | 0,484 | 0,484 |
| 60 | 26,9 | 6 | 7,96 | 5,16 | 264 | 0,49 | 0,491 | 0,487 | 0,49 |

Plana 8 bocais 5 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 21,4 | 8 | 7,56 | 1,62 | 233 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 |
| 15 | 22,8 | 7,4 | 7,58 | 2,02 | 241 | 0,466 | 0,47 | 0,469 | 0,469 |
| 30 | 23,4 | 7,1 | 7,55 | 2,23 | 241 | 0,472 | 0,471 | 0,471 | 0,471 |
| 60 | 23,9 | 6,7 | 7,86 | 2,69 | 247 | 0,476 | 0,476 | 0,478 | 0,476 |

Plana 8 bocais 15 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 21,4 | 7,5 | 7,7 | 1,91 | 243 | 0,448 | 0,452 | 0,448 | 0,448 |
| 15 | 23,8 | 6,4 | 7,76 | 2,4 | 249 | 0,452 | 0,45 | 0,452 | 0,452 |
| 30 | 24,3 | 6 | 7,77 | 2,9 | 251 | 0,456 | 0,456 | 0,455 | 0,456 |
| 60 | 24,6 | 6 | 7,76 | 3,39 | 252 | 0,457 | 0,46 | 0,459 | 0,459 |

Plana 8 bocais 25 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 21,4 | 7,5 | 7,67 | 1,58 | 235 | 0,423 | 0,419 | 0,419 | 0,419 |
| 15 | 24,7 | 6,2 | 7,77 | 2,22 | 255 | 0,419 | 0,422 | 0,419 | 0,419 |
| 30 | 25,7 | 5,9 | 7,87 | 2,55 | 257 | 0,419 | 0,424 | 0,422 | 0,422 |
| 60 | 26,3 | 5,6 | 7,86 | 3,15 | 261 | 0,423 | 0,424 | 0,425 | 0,424 |

Médias dos resultados da cavitação (após 1 h de mixer e 20 min de recirculação)

| Tempo (min) | Absorbância | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Bocal Único | | | Tridimensional | | | Plano | | |
| | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa | 5 MPa | 15 MPa | 25 MPa |
| 0 | 0,483 | 0,466 | 0,486 | 0,459 | 0,456 | 0,478 | 0,470 | 0,449 | 0,420 |
| 15 | 0,493 | 0,471 | 0,494 | 0,436 | 0,464 | 0,478 | 0,468 | 0,451 | 0,420 |
| 30 | 0,493 | 0,474 | 0,502 | 0,443 | 0,467 | 0,484 | 0,471 | 0,456 | 0,422 |
| 60 | 0,498 | 0,480 | 0,506 | 0,445 | 0,470 | 0,489 | 0,477 | 0,459 | 0,424 |

| Varredura – Bocal único 5 MPa | | | | | Varredura – Bocal único 15 MPa | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 | Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 |
| 400 | 0,001 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 400 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 399 | 0,002 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 399 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 398 | 0,002 | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 398 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 397 | 0,002 | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 397 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 396 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 396 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 395 | 0,002 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 395 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 394 | 0,002 | 0,004 | 0,005 | 0,007 | 394 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,014 |
| 393 | 0,002 | 0,006 | 0,004 | 0,008 | 393 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 392 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 392 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,013 |
| 391 | 0,004 | 0,005 | 0,004 | 0,006 | 391 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,014 |
| 390 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 390 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,014 |
| 389 | 0,003 | 0,006 | 0,006 | 0,005 | 389 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,014 |
| 388 | 0,003 | 0,007 | 0,007 | 0,007 | 388 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,014 |
| 387 | 0,003 | 0,006 | 0,007 | 0,007 | 387 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,014 |
| 386 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,007 | 386 | 0,007 | 0,01 | 0,009 | 0,014 |
| 385 | 0,004 | 0,006 | 0,005 | 0,007 | 385 | 0,007 | 0,009 | 0,01 | 0,014 |
| 384 | 0,003 | 0,007 | 0,006 | 0,007 | 384 | 0,007 | 0,009 | 0,009 | 0,014 |
| 383 | 0,003 | 0,006 | 0,005 | 0,007 | 383 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,014 |
| 382 | 0,002 | 0,006 | 0,005 | 0,007 | 382 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,014 |
| 381 | 0,003 | 0,006 | 0,005 | 0,008 | 381 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 380 | 0,003 | 0,006 | 0,005 | 0,008 | 380 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 379 | 0,004 | 0,007 | 0,005 | 0,008 | 379 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 378 | 0,004 | 0,008 | 0,006 | 0,009 | 378 | 0,007 | 0,01 | 0,009 | 0,015 |
| 377 | 0,004 | 0,007 | 0,006 | 0,008 | 377 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 376 | 0,004 | 0,007 | 0,007 | 0,009 | 376 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 375 | 0,004 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 375 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 374 | 0,004 | 0,007 | 0,007 | 0,009 | 374 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 373 | 0,004 | 0,008 | 0,007 | 0,009 | 373 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 372 | 0,004 | 0,009 | 0,007 | 0,01 | 372 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,015 |
| 371 | 0,005 | 0,009 | 0,007 | 0,01 | 371 | 0,007 | 0,01 | 0,011 | 0,015 |
| 370 | 0,005 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 370 | 0,007 | 0,01 | 0,011 | 0,016 |
| 369 | 0,005 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 369 | 0,008 | 0,01 | 0,011 | 0,016 |
| 368 | 0,005 | 0,008 | 0,008 | 0,012 | 368 | 0,008 | 0,01 | 0,011 | 0,016 |
| 367 | 0,005 | 0,008 | 0,009 | 0,011 | 367 | 0,008 | 0,011 | 0,011 | 0,016 |
| 366 | 0,004 | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 366 | 0,008 | 0,011 | 0,011 | 0,016 |
| 365 | 0,004 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 365 | 0,008 | 0,011 | 0,011 | 0,016 |
| 364 | 0,004 | 0,01 | 0,009 | 0,011 | 364 | 0,008 | 0,011 | 0,011 | 0,017 |
| 363 | 0,006 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 363 | 0,009 | 0,011 | 0,011 | 0,017 |
| 362 | 0,006 | 0,009 | 0,01 | 0,013 | 362 | 0,008 | 0,011 | 0,011 | 0,017 |
| 361 | 0,006 | 0,008 | 0,009 | 0,012 | 361 | 0,008 | 0,011 | 0,011 | 0,017 |
| 360 | 0,006 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 360 | 0,008 | 0,011 | 0,012 | 0,017 |
| 359 | 0,006 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 359 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,017 |
| 358 | 0,006 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 358 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,017 |
| 357 | 0,006 | 0,01 | 0,01 | 0,014 | 357 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,017 |
| 356 | 0,005 | 0,011 | 0,01 | 0,013 | 356 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,017 |
| 355 | 0,006 | 0,01 | 0,01 | 0,012 | 355 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,017 |
| 354 | 0,007 | 0,011 | 0,01 | 0,013 | 354 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 353 | 0,008 | 0,011 | 0,01 | 0,013 | 353 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 352 | 0,007 | 0,01 | 0,01 | 0,012 | 352 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 351 | 0,007 | 0,012 | 0,01 | 0,013 | 351 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 350 | 0,007 | 0,012 | 0,01 | 0,013 | 350 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 349 | 0,006 | 0,011 | 0,01 | 0,013 | 349 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 348 | 0,007 | 0,012 | 0,011 | 0,014 | 348 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 347 | 0,007 | 0,012 | 0,01 | 0,013 | 347 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 346 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 346 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 345 | 0,008 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 345 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 344 | 0,007 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 344 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 343 | 0,006 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 343 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 342 | 0,007 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 342 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,018 |
| 341 | 0,009 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 341 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,019 |
| 340 | 0,011 | 0,015 | 0,016 | 0,018 | 340 | 0,009 | 0,013 | 0,013 | 0,019 |
| 339 | 0,013 | 0,018 | 0,019 | 0,021 | 339 | 0,009 | 0,013 | 0,013 | 0,019 |
| 338 | 0,013 | 0,018 | 0,019 | 0,021 | 338 | 0,009 | 0,013 | 0,013 | 0,02 |
| 337 | 0,013 | 0,018 | 0,018 | 0,021 | 337 | 0,009 | 0,013 | 0,013 | 0,02 |
| 336 | 0,013 | 0,018 | 0,018 | 0,022 | 336 | 0,009 | 0,013 | 0,013 | 0,02 |
| 335 | 0,013 | 0,018 | 0,018 | 0,022 | 335 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 334 | 0,013 | 0,018 | 0,019 | 0,022 | 334 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 333 | 0,014 | 0,018 | 0,019 | 0,022 | 333 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,02 |
| 332 | 0,013 | 0,019 | 0,019 | 0,022 | 332 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,02 |
| 331 | 0,013 | 0,019 | 0,019 | 0,022 | 331 | 0,009 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 330 | 0,014 | 0,019 | 0,02 | 0,022 | 330 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 329 | 0,013 | 0,019 | 0,019 | 0,022 | 329 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 328 | 0,013 | 0,019 | 0,019 | 0,022 | 328 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,021 |
| 327 | 0,013 | 0,019 | 0,019 | 0,022 | 327 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,021 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 326 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,022 | 326 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,021 |
| 325 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,022 | 325 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,021 |
| 324 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,022 | 324 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 323 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 323 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 322 | 0,014 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 322 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 321 | 0,014 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 321 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 320 | 0,014 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 320 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 319 | 0,014 | 0,019 | 0,019 | 0,023 | 319 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 318 | 0,014 | 0,019 | 0,019 | 0,023 | 318 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 317 | 0,014 | 0,02 | 0,02 | 0,023 | 317 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 316 | 0,014 | 0,02 | 0,02 | 0,023 | 316 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,021 |
| 315 | 0,014 | 0,02 | 0,021 | 0,023 | 315 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 314 | 0,013 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 314 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 313 | 0,013 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 313 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 312 | 0,013 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 312 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 311 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 311 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 310 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 310 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 309 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 309 | 0,01 | 0,014 | 0,014 | 0,022 |
| 308 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 308 | 0,01 | 0,014 | 0,015 | 0,022 |
| 307 | 0,013 | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 307 | 0,01 | 0,015 | 0,015 | 0,022 |
| 306 | 0,014 | 0,02 | 0,021 | 0,024 | 306 | 0,01 | 0,015 | 0,015 | 0,023 |
| 305 | 0,014 | 0,02 | 0,021 | 0,024 | 305 | 0,011 | 0,016 | 0,016 | 0,024 |
| 304 | 0,014 | 0,021 | 0,022 | 0,025 | 304 | 0,012 | 0,017 | 0,017 | 0,024 |
| 303 | 0,015 | 0,022 | 0,023 | 0,026 | 303 | 0,013 | 0,018 | 0,018 | 0,025 |
| 302 | 0,017 | 0,023 | 0,024 | 0,027 | 302 | 0,015 | 0,019 | 0,019 | 0,027 |
| 301 | 0,018 | 0,025 | 0,025 | 0,029 | 301 | 0,016 | 0,021 | 0,021 | 0,029 |
| 300 | 0,021 | 0,028 | 0,028 | 0,032 | 300 | 0,019 | 0,024 | 0,024 | 0,032 |
| 299 | 0,024 | 0,031 | 0,032 | 0,035 | 299 | 0,023 | 0,028 | 0,028 | 0,036 |
| 298 | 0,029 | 0,036 | 0,036 | 0,04 | 298 | 0,028 | 0,033 | 0,033 | 0,041 |
| 297 | 0,035 | 0,042 | 0,042 | 0,046 | 297 | 0,035 | 0,04 | 0,04 | 0,049 |
| 296 | 0,043 | 0,05 | 0,05 | 0,055 | 296 | 0,043 | 0,049 | 0,049 | 0,057 |
| 295 | 0,054 | 0,061 | 0,061 | 0,065 | 295 | 0,055 | 0,06 | 0,06 | 0,068 |
| 294 | 0,066 | 0,073 | 0,073 | 0,077 | 294 | 0,068 | 0,073 | 0,073 | 0,082 |
| 293 | 0,081 | 0,089 | 0,089 | 0,093 | 293 | 0,083 | 0,089 | 0,089 | 0,098 |
| 292 | 0,099 | 0,107 | 0,107 | 0,111 | 292 | 0,101 | 0,108 | 0,108 | 0,116 |
| 291 | 0,119 | 0,127 | 0,128 | 0,132 | 291 | 0,123 | 0,129 | 0,13 | 0,138 |
| 290 | 0,143 | 0,152 | 0,152 | 0,156 | 290 | 0,147 | 0,154 | 0,154 | 0,162 |
| 289 | 0,169 | 0,178 | 0,178 | 0,183 | 289 | 0,173 | 0,179 | 0,18 | 0,188 |
| 288 | 0,196 | 0,206 | 0,206 | 0,21 | 288 | 0,201 | 0,207 | 0,208 | 0,216 |
| 287 | 0,225 | 0,235 | 0,236 | 0,239 | 287 | 0,23 | 0,237 | 0,237 | 0,245 |
| 286 | 0,254 | 0,264 | 0,264 | 0,268 | 286 | 0,258 | 0,265 | 0,265 | 0,273 |
| 285 | 0,282 | 0,293 | 0,293 | 0,297 | 285 | 0,286 | 0,293 | 0,293 | 0,301 |
| 284 | 0,312 | 0,323 | 0,323 | 0,327 | 284 | 0,315 | 0,322 | 0,322 | 0,33 |
| 283 | 0,341 | 0,352 | 0,352 | 0,356 | 283 | 0,342 | 0,35 | 0,35 | 0,359 |
| 282 | 0,367 | 0,379 | 0,379 | 0,383 | 282 | 0,367 | 0,375 | 0,375 | 0,383 |
| 281 | 0,39 | 0,401 | 0,402 | 0,406 | 281 | 0,388 | 0,396 | 0,396 | 0,404 |
| 280 | 0,41 | 0,421 | 0,422 | 0,426 | 280 | 0,406 | 0,414 | 0,414 | 0,423 |
| 279 | 0,428 | 0,439 | 0,44 | 0,444 | 279 | 0,423 | 0,431 | 0,431 | 0,44 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 278 | 0,442 | 0,455 | 0,454 | 0,459 | 278 | 0,437 | 0,444 | 0,445 | 0,454 |
| 277 | 0,455 | 0,467 | 0,467 | 0,472 | 277 | 0,448 | 0,456 | 0,456 | 0,465 |
| 276 | 0,465 | 0,477 | 0,477 | 0,481 | 276 | 0,458 | 0,466 | 0,466 | 0,475 |
| 275 | 0,472 | 0,485 | 0,485 | 0,489 | 275 | 0,464 | 0,472 | 0,472 | 0,481 |
| 274 | 0,477 | 0,49 | 0,49 | 0,494 | 274 | 0,468 | 0,475 | 0,475 | 0,484 |
| 273 | 0,479 | 0,492 | 0,492 | 0,496 | 273 | 0,469 | 0,476 | 0,476 | 0,485 |
| 272 | 0,478 | 0,49 | 0,491 | 0,495 | 272 | 0,467 | 0,475 | 0,475 | 0,484 |
| 271 | 0,475 | 0,487 | 0,488 | 0,492 | 271 | 0,463 | 0,471 | 0,471 | 0,48 |
| 270 | 0,47 | 0,482 | 0,482 | 0,486 | 270 | 0,457 | 0,465 | 0,464 | 0,473 |
| 269 | 0,462 | 0,474 | 0,474 | 0,479 | 269 | 0,449 | 0,456 | 0,456 | 0,465 |
| 268 | 0,452 | 0,464 | 0,464 | 0,468 | 268 | 0,438 | 0,445 | 0,445 | 0,454 |
| 267 | 0,44 | 0,452 | 0,452 | 0,457 | 267 | 0,426 | 0,433 | 0,433 | 0,442 |
| 266 | 0,427 | 0,439 | 0,439 | 0,443 | 266 | 0,413 | 0,42 | 0,419 | 0,429 |
| 265 | 0,413 | 0,424 | 0,425 | 0,429 | 265 | 0,398 | 0,405 | 0,405 | 0,414 |
| 264 | 0,399 | 0,41 | 0,41 | 0,415 | 264 | 0,384 | 0,391 | 0,391 | 0,4 |
| 263 | 0,382 | 0,394 | 0,394 | 0,398 | 263 | 0,367 | 0,374 | 0,374 | 0,382 |
| 262 | 0,364 | 0,375 | 0,375 | 0,38 | 262 | 0,349 | 0,356 | 0,356 | 0,364 |
| 261 | 0,345 | 0,356 | 0,357 | 0,361 | 261 | 0,331 | 0,338 | 0,337 | 0,346 |
| 260 | 0,327 | 0,338 | 0,338 | 0,343 | 260 | 0,313 | 0,319 | 0,319 | 0,328 |
| 259 | 0,31 | 0,32 | 0,32 | 0,325 | 259 | 0,296 | 0,302 | 0,302 | 0,31 |
| 258 | 0,291 | 0,302 | 0,302 | 0,307 | 258 | 0,278 | 0,285 | 0,284 | 0,293 |
| 257 | 0,274 | 0,285 | 0,285 | 0,29 | 257 | 0,261 | 0,267 | 0,267 | 0,276 |
| 256 | 0,257 | 0,267 | 0,268 | 0,272 | 256 | 0,244 | 0,25 | 0,25 | 0,259 |
| 255 | 0,24 | 0,251 | 0,251 | 0,256 | 255 | 0,228 | 0,234 | 0,234 | 0,243 |
| 254 | 0,225 | 0,235 | 0,235 | 0,24 | 254 | 0,212 | 0,218 | 0,218 | 0,227 |
| 253 | 0,209 | 0,22 | 0,22 | 0,225 | 253 | 0,198 | 0,203 | 0,203 | 0,212 |
| 252 | 0,195 | 0,206 | 0,205 | 0,211 | 252 | 0,184 | 0,19 | 0,189 | 0,199 |
| 251 | 0,182 | 0,192 | 0,192 | 0,197 | 251 | 0,172 | 0,178 | 0,177 | 0,187 |
| 250 | 0,171 | 0,181 | 0,181 | 0,186 | 250 | 0,161 | 0,167 | 0,166 | 0,176 |
| 249 | 0,162 | 0,172 | 0,172 | 0,177 | 249 | 0,152 | 0,158 | 0,158 | 0,167 |
| 248 | 0,154 | 0,164 | 0,164 | 0,169 | 248 | 0,145 | 0,151 | 0,151 | 0,161 |
| 247 | 0,149 | 0,159 | 0,159 | 0,164 | 247 | 0,14 | 0,146 | 0,146 | 0,156 |
| 246 | 0,145 | 0,156 | 0,156 | 0,162 | 246 | 0,138 | 0,144 | 0,144 | 0,154 |
| 245 | 0,144 | 0,155 | 0,155 | 0,16 | 245 | 0,137 | 0,143 | 0,143 | 0,153 |
| 244 | 0,145 | 0,156 | 0,156 | 0,162 | 244 | 0,139 | 0,145 | 0,145 | 0,155 |
| 243 | 0,148 | 0,16 | 0,159 | 0,166 | 243 | 0,143 | 0,149 | 0,148 | 0,159 |
| 242 | 0,153 | 0,165 | 0,164 | 0,171 | 242 | 0,148 | 0,154 | 0,154 | 0,165 |
| 241 | 0,16 | 0,172 | 0,172 | 0,178 | 241 | 0,155 | 0,161 | 0,161 | 0,172 |
| 240 | 0,169 | 0,182 | 0,181 | 0,188 | 240 | 0,163 | 0,169 | 0,17 | 0,181 |
| 239 | 0,178 | 0,191 | 0,19 | 0,198 | 239 | 0,173 | 0,179 | 0,18 | 0,191 |
| 238 | 0,188 | 0,203 | 0,201 | 0,209 | 238 | 0,184 | 0,191 | 0,191 | 0,202 |
| 237 | 0,199 | 0,214 | 0,212 | 0,221 | 237 | 0,195 | 0,202 | 0,203 | 0,214 |
| 236 | 0,21 | 0,226 | 0,222 | 0,233 | 236 | 0,206 | 0,213 | 0,214 | 0,225 |
| 235 | 0,221 | 0,239 | 0,234 | 0,246 | 235 | 0,217 | 0,225 | 0,225 | 0,236 |
| 234 | 0,232 | 0,251 | 0,245 | 0,259 | 234 | 0,228 | 0,236 | 0,236 | 0,247 |
| 233 | 0,242 | 0,262 | 0,255 | 0,271 | 233 | 0,238 | 0,246 | 0,246 | 0,258 |
| 232 | 0,251 | 0,273 | 0,264 | 0,282 | 232 | 0,247 | 0,255 | 0,255 | 0,267 |
| 231 | 0,258 | 0,282 | 0,272 | 0,291 | 231 | 0,256 | 0,264 | 0,264 | 0,276 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 230 | 0,264 | 0,291 | 0,278 | 0,301 | 230 | 0,263 | 0,271 | 0,272 | 0,283 |
| 229 | 0,271 | 0,3 | 0,285 | 0,31 | 229 | 0,27 | 0,278 | 0,279 | 0,291 |
| 228 | 0,276 | 0,308 | 0,291 | 0,32 | 228 | 0,277 | 0,285 | 0,286 | 0,298 |
| 227 | 0,283 | 0,318 | 0,297 | 0,33 | 227 | 0,285 | 0,293 | 0,294 | 0,306 |
| 226 | 0,291 | 0,329 | 0,305 | 0,342 | 226 | 0,295 | 0,303 | 0,304 | 0,316 |
| 225 | 0,301 | 0,343 | 0,316 | 0,357 | 225 | 0,308 | 0,316 | 0,317 | 0,33 |
| 224 | 0,317 | 0,362 | 0,332 | 0,379 | 224 | 0,325 | 0,333 | 0,335 | 0,347 |
| 223 | 0,335 | 0,384 | 0,351 | 0,403 | 223 | 0,346 | 0,354 | 0,356 | 0,369 |
| 222 | 0,359 | 0,412 | 0,375 | 0,433 | 222 | 0,371 | 0,38 | 0,382 | 0,395 |
| 221 | 0,389 | 0,447 | 0,405 | 0,469 | 221 | 0,403 | 0,412 | 0,415 | 0,428 |
| 220 | 0,425 | 0,487 | 0,442 | 0,512 | 220 | 0,442 | 0,451 | 0,454 | 0,467 |
| 219 | 0,471 | 0,537 | 0,488 | 0,564 | 219 | 0,486 | 0,496 | 0,498 | 0,512 |
| 218 | 0,52 | 0,591 | 0,538 | 0,62 | 218 | 0,539 | 0,549 | 0,552 | 0,565 |
| 217 | 0,573 | 0,65 | 0,591 | 0,682 | 217 | 0,595 | 0,605 | 0,608 | 0,621 |
| 216 | 0,632 | 0,714 | 0,652 | 0,748 | 216 | 0,657 | 0,666 | 0,669 | 0,681 |
| 215 | 0,695 | 0,783 | 0,72 | 0,819 | 215 | 0,722 | 0,731 | 0,734 | 0,746 |
| 214 | 0,762 | 0,856 | 0,781 | 0,892 | 214 | 0,788 | 0,797 | 0,799 | 0,812 |
| 213 | 0,831 | 0,928 | 0,837 | 0,964 | 213 | 0,852 | 0,863 | 0,864 | 0,876 |
| 212 | 0,89 | 0,99 | 0,939 | 1,027 | 212 | 0,92 | 0,931 | 0,934 | 0,943 |
| 211 | 0,942 | 1,042 | 0,957 | 1,078 | 211 | 0,979 | 0,988 | 0,99 | 1,003 |
| 210 | 0,981 | 1,087 | 0,986 | 1,119 | 210 | 1,028 | 1,038 | 1,041 | 1,051 |
| 209 | 1,019 | 1,121 | 1,074 | 1,153 | 209 | 1,066 | 1,074 | 1,081 | 1,09 |
| 208 | 1,038 | 1,13 | 1,043 | 1,166 | 208 | 1,082 | 1,095 | 1,099 | 1,11 |
| 207 | 1,041 | 1,126 | 1,099 | 1,163 | 207 | 1,097 | 1,106 | 1,104 | 1,116 |
| 206 | 1,035 | 1,117 | 1,002 | 1,144 | 206 | 1,091 | 1,103 | 1,098 | 1,115 |
| 205 | 1,021 | 1,094 | 1,046 | 1,115 | 205 | 1,06 | 1,079 | 1,079 | 1,09 |
| 204 | 0,976 | 1,062 | 0,987 | 1,084 | 204 | 1,025 | 1,042 | 1,042 | 1,055 |
| 203 | 0,927 | 1,02 | 0,96 | 1,046 | 203 | 0,987 | 0,998 | 0,996 | 1,013 |
| 202 | 0,884 | 0,969 | 0,903 | 1,003 | 202 | 0,941 | 0,949 | 0,949 | 0,961 |
| 201 | 0,834 | 0,923 | 0,837 | 0,953 | 201 | 0,884 | 0,892 | 0,901 | 0,911 |
| 200 | 0,773 | 0,877 | 0,803 | 0,9 | 200 | 0,832 | 0,837 | 0,841 | 0,851 |
| 199 | 0,731 | 0,827 | 0,716 | 0,843 | 199 | 0,771 | 0,78 | 0,78 | 0,792 |
| 198 | 0,674 | 0,776 | 0,685 | 0,8 | 198 | 0,724 | 0,729 | 0,73 | 0,74 |
| 197 | 0,621 | 0,722 | 0,64 | 0,737 | 197 | 0,671 | 0,668 | 0,67 | 0,686 |
| 196 | 0,572 | 0,664 | 0,611 | 0,676 | 196 | 0,607 | 0,612 | 0,61 | 0,632 |
| 195 | 0,52 | 0,612 | 0,619 | 0,624 | 195 | 0,554 | 0,557 | 0,561 | 0,579 |
| 194 | 0,471 | 0,56 | 0,596 | 0,58 | 194 | 0,498 | 0,51 | 0,512 | 0,522 |
| 193 | 0,416 | 0,501 | 0,515 | 0,494 | 193 | 0,435 | 0,438 | 0,442 | 0,456 |
| 192 | 0,364 | 0,418 | 0,409 | 0,411 | 192 | 0,375 | 0,355 | 0,376 | 0,386 |
| 191 | 0,309 | 0,336 | 0,326 | 0,351 | 191 | 0,295 | 0,302 | 0,319 | 0,317 |
| 190 | 0,237 | 0,282 | 0,295 | 0,299 | 190 | 0,24 | 0,228 | 0,256 | 0,241 |

| Varredura – Bocal único 25 MPa | | | | | Varredura – Tridimensional 6 bocais 5 MPa | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------|---|-------|-------|-----|-------|
| Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 | Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 |
| 400 | 0,009 | 0,015 | 0,019 | 0,02 | 400 | 0,007 | 0,007 | | 0,016 |
| 399 | 0,009 | 0,015 | 0,019 | 0,02 | 399 | 0,007 | 0,007 | | 0,016 |

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 398 | 0,009 | 0,015 | 0,019 | 0,02 | 398 | 0,007 | 0,007 | 0,016 |
| 397 | 0,01 | 0,015 | 0,019 | 0,021 | 397 | 0,008 | 0,007 | 0,016 |
| 396 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,021 | 396 | 0,008 | 0,007 | 0,016 |
| 395 | 0,009 | 0,015 | 0,02 | 0,021 | 395 | 0,008 | 0,007 | 0,016 |
| 394 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,021 | 394 | 0,008 | 0,007 | 0,016 |
| 393 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,021 | 393 | 0,008 | 0,007 | 0,016 |
| 392 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,021 | 392 | 0,008 | 0,007 | 0,016 |
| 391 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,021 | 391 | 0,008 | 0,007 | 0,016 |
| 390 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,022 | 390 | 0,008 | 0,007 | 0,017 |
| 389 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,022 | 389 | 0,008 | 0,007 | 0,017 |
| 388 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,022 | 388 | 0,008 | 0,007 | 0,017 |
| 387 | 0,01 | 0,016 | 0,021 | 0,022 | 387 | 0,008 | 0,007 | 0,017 |
| 386 | 0,01 | 0,016 | 0,021 | 0,022 | 386 | 0,008 | 0,007 | 0,017 |
| 385 | 0,01 | 0,016 | 0,021 | 0,022 | 385 | 0,008 | 0,007 | 0,017 |
| 384 | 0,01 | 0,016 | 0,021 | 0,022 | 384 | 0,009 | 0,008 | 0,017 |
| 383 | 0,01 | 0,016 | 0,021 | 0,022 | 383 | 0,009 | 0,008 | 0,017 |
| 382 | 0,011 | 0,016 | 0,021 | 0,022 | 382 | 0,009 | 0,008 | 0,017 |
| 381 | 0,011 | 0,016 | 0,021 | 0,022 | 381 | 0,009 | 0,008 | 0,017 |
| 380 | 0,011 | 0,016 | 0,021 | 0,023 | 380 | 0,009 | 0,008 | 0,017 |
| 379 | 0,011 | 0,016 | 0,022 | 0,023 | 379 | 0,009 | 0,008 | 0,017 |
| 378 | 0,011 | 0,016 | 0,022 | 0,023 | 378 | 0,009 | 0,008 | 0,018 |
| 377 | 0,011 | 0,016 | 0,022 | 0,024 | 377 | 0,009 | 0,008 | 0,018 |
| 376 | 0,011 | 0,017 | 0,022 | 0,024 | 376 | 0,01 | 0,008 | 0,018 |
| 375 | 0,011 | 0,017 | 0,022 | 0,024 | 375 | 0,01 | 0,008 | 0,018 |
| 374 | 0,011 | 0,017 | 0,022 | 0,024 | 374 | 0,01 | 0,008 | 0,018 |
| 373 | 0,011 | 0,017 | 0,022 | 0,024 | 373 | 0,01 | 0,008 | 0,018 |
| 372 | 0,011 | 0,017 | 0,022 | 0,024 | 372 | 0,01 | 0,008 | 0,018 |
| 371 | 0,011 | 0,017 | 0,022 | 0,024 | 371 | 0,01 | 0,008 | 0,018 |
| 370 | 0,011 | 0,017 | 0,023 | 0,024 | 370 | 0,011 | 0,008 | 0,018 |
| 369 | 0,011 | 0,017 | 0,023 | 0,025 | 369 | 0,011 | 0,009 | 0,018 |
| 368 | 0,011 | 0,017 | 0,023 | 0,025 | 368 | 0,011 | 0,009 | 0,018 |
| 367 | 0,011 | 0,017 | 0,023 | 0,025 | 367 | 0,011 | 0,009 | 0,018 |
| 366 | 0,011 | 0,018 | 0,023 | 0,025 | 366 | 0,012 | 0,009 | 0,018 |
| 365 | 0,012 | 0,018 | 0,023 | 0,025 | 365 | 0,012 | 0,009 | 0,019 |
| 364 | 0,012 | 0,018 | 0,023 | 0,025 | 364 | 0,012 | 0,009 | 0,019 |
| 363 | 0,012 | 0,018 | 0,023 | 0,026 | 363 | 0,012 | 0,009 | 0,019 |
| 362 | 0,012 | 0,018 | 0,023 | 0,026 | 362 | 0,013 | 0,009 | 0,019 |
| 361 | 0,012 | 0,018 | 0,023 | 0,026 | 361 | 0,013 | 0,009 | 0,019 |
| 360 | 0,012 | 0,018 | 0,024 | 0,026 | 360 | 0,013 | 0,009 | 0,019 |
| 359 | 0,012 | 0,018 | 0,024 | 0,026 | 359 | 0,013 | 0,009 | 0,019 |
| 358 | 0,012 | 0,018 | 0,024 | 0,026 | 358 | 0,014 | 0,009 | 0,019 |
| 357 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,026 | 357 | 0,014 | 0,01 | 0,019 |
| 356 | 0,012 | 0,018 | 0,024 | 0,027 | 356 | 0,014 | 0,01 | 0,019 |
| 355 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,026 | 355 | 0,014 | 0,01 | 0,02 |
| 354 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,027 | 354 | 0,015 | 0,01 | 0,02 |
| 353 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,027 | 353 | 0,015 | 0,01 | 0,02 |

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 352 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,027 | 352 | 0,015 | 0,01 | 0,02 |
| 351 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,027 | 351 | 0,016 | 0,01 | 0,02 |
| 350 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,027 | 350 | 0,016 | 0,01 | 0,02 |
| 349 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,027 | 349 | 0,016 | 0,01 | 0,02 |
| 348 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,027 | 348 | 0,017 | 0,01 | 0,02 |
| 347 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 347 | 0,017 | 0,01 | 0,02 |
| 346 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 346 | 0,017 | 0,01 | 0,02 |
| 345 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 345 | 0,017 | 0,01 | 0,02 |
| 344 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 344 | 0,018 | 0,01 | 0,02 |
| 343 | 0,013 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 343 | 0,018 | 0,011 | 0,02 |
| 342 | 0,013 | 0,019 | 0,026 | 0,028 | 342 | 0,018 | 0,011 | 0,021 |
| 341 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,028 | 341 | 0,018 | 0,011 | 0,021 |
| 340 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 340 | 0,018 | 0,01 | 0,02 |
| 339 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,027 | 339 | 0,018 | 0,01 | 0,019 |
| 338 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,027 | 338 | 0,018 | 0,01 | 0,019 |
| 337 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 337 | 0,018 | 0,009 | 0,019 |
| 336 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 336 | 0,018 | 0,009 | 0,02 |
| 335 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,027 | 335 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 334 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 334 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 333 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 333 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 332 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 332 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 331 | 0,012 | 0,02 | 0,025 | 0,029 | 331 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 330 | 0,012 | 0,019 | 0,025 | 0,028 | 330 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 329 | 0,012 | 0,019 | 0,026 | 0,028 | 329 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 328 | 0,013 | 0,019 | 0,026 | 0,029 | 328 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 327 | 0,013 | 0,019 | 0,026 | 0,028 | 327 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 326 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,028 | 326 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 325 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,029 | 325 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 324 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,029 | 324 | 0,019 | 0,01 | 0,02 |
| 323 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,029 | 323 | 0,019 | 0,009 | 0,02 |
| 322 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,029 | 322 | 0,019 | 0,009 | 0,02 |
| 321 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,029 | 321 | 0,019 | 0,009 | 0,02 |
| 320 | 0,012 | 0,02 | 0,026 | 0,029 | 320 | 0,019 | 0,009 | 0,02 |
| 319 | 0,013 | 0,02 | 0,027 | 0,029 | 319 | 0,019 | 0,009 | 0,02 |
| 318 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,029 | 318 | 0,018 | 0,009 | 0,02 |
| 317 | 0,013 | 0,02 | 0,026 | 0,03 | 317 | 0,018 | 0,009 | 0,02 |
| 316 | 0,013 | 0,02 | 0,027 | 0,03 | 316 | 0,018 | 0,009 | 0,02 |
| 315 | 0,013 | 0,02 | 0,027 | 0,03 | 315 | 0,018 | 0,009 | 0,02 |
| 314 | 0,013 | 0,021 | 0,027 | 0,03 | 314 | 0,018 | 0,009 | 0,02 |
| 313 | 0,013 | 0,021 | 0,027 | 0,03 | 313 | 0,017 | 0,009 | 0,019 |
| 312 | 0,013 | 0,021 | 0,027 | 0,03 | 312 | 0,017 | 0,008 | 0,019 |
| 311 | 0,013 | 0,021 | 0,027 | 0,03 | 311 | 0,017 | 0,008 | 0,019 |
| 310 | 0,013 | 0,021 | 0,027 | 0,03 | 310 | 0,017 | 0,008 | 0,019 |
| 309 | 0,013 | 0,021 | 0,028 | 0,03 | 309 | 0,016 | 0,008 | 0,018 |
| 308 | 0,014 | 0,022 | 0,028 | 0,031 | 308 | 0,016 | 0,007 | 0,018 |
| 307 | 0,014 | 0,022 | 0,028 | 0,031 | 307 | 0,016 | 0,007 | 0,018 |
| 306 | 0,014 | 0,022 | 0,029 | 0,032 | 306 | 0,017 | 0,007 | 0,019 |
| 305 | 0,015 | 0,023 | 0,03 | 0,033 | 305 | 0,017 | 0,008 | 0,019 |

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 304 | 0,016 | 0,024 | 0,031 | 0,034 | 304 | 0,018 | 0,008 | 0,019 |
| 303 | 0,017 | 0,025 | 0,032 | 0,035 | 303 | 0,019 | 0,009 | 0,02 |
| 302 | 0,019 | 0,027 | 0,034 | 0,036 | 302 | 0,021 | 0,01 | 0,021 |
| 301 | 0,021 | 0,029 | 0,036 | 0,038 | 301 | 0,023 | 0,011 | 0,023 |
| 300 | 0,024 | 0,032 | 0,038 | 0,041 | 300 | 0,025 | 0,014 | 0,025 |
| 299 | 0,028 | 0,036 | 0,042 | 0,045 | 299 | 0,029 | 0,017 | 0,029 |
| 298 | 0,033 | 0,041 | 0,048 | 0,051 | 298 | 0,034 | 0,021 | 0,033 |
| 297 | 0,04 | 0,048 | 0,055 | 0,058 | 297 | 0,041 | 0,027 | 0,039 |
| 296 | 0,049 | 0,057 | 0,064 | 0,066 | 296 | 0,049 | 0,035 | 0,047 |
| 295 | 0,06 | 0,068 | 0,075 | 0,077 | 295 | 0,06 | 0,045 | 0,057 |
| 294 | 0,073 | 0,081 | 0,088 | 0,09 | 294 | 0,073 | 0,057 | 0,069 |
| 293 | 0,089 | 0,097 | 0,104 | 0,107 | 293 | 0,088 | 0,072 | 0,084 |
| 292 | 0,108 | 0,116 | 0,123 | 0,125 | 292 | 0,106 | 0,089 | 0,101 |
| 291 | 0,129 | 0,138 | 0,145 | 0,147 | 291 | 0,126 | 0,109 | 0,122 |
| 290 | 0,154 | 0,163 | 0,169 | 0,172 | 290 | 0,15 | 0,132 | 0,144 |
| 289 | 0,18 | 0,19 | 0,197 | 0,199 | 289 | 0,175 | 0,156 | 0,169 |
| 288 | 0,208 | 0,218 | 0,225 | 0,227 | 288 | 0,201 | 0,182 | 0,195 |
| 287 | 0,238 | 0,248 | 0,255 | 0,257 | 287 | 0,229 | 0,21 | 0,222 |
| 286 | 0,267 | 0,277 | 0,284 | 0,286 | 286 | 0,256 | 0,236 | 0,249 |
| 285 | 0,296 | 0,306 | 0,313 | 0,315 | 285 | 0,282 | 0,262 | 0,275 |
| 284 | 0,326 | 0,336 | 0,342 | 0,345 | 284 | 0,309 | 0,289 | 0,302 |
| 283 | 0,355 | 0,365 | 0,371 | 0,373 | 283 | 0,336 | 0,315 | 0,327 |
| 282 | 0,38 | 0,391 | 0,397 | 0,399 | 282 | 0,358 | 0,338 | 0,35 |
| 281 | 0,403 | 0,413 | 0,419 | 0,421 | 281 | 0,378 | 0,358 | 0,37 |
| 280 | 0,422 | 0,432 | 0,439 | 0,44 | 280 | 0,396 | 0,375 | 0,387 |
| 279 | 0,44 | 0,449 | 0,456 | 0,458 | 279 | 0,411 | 0,391 | 0,403 |
| 278 | 0,454 | 0,464 | 0,47 | 0,472 | 278 | 0,424 | 0,404 | 0,416 |
| 277 | 0,467 | 0,476 | 0,482 | 0,484 | 277 | 0,434 | 0,415 | 0,426 |
| 276 | 0,476 | 0,486 | 0,492 | 0,494 | 276 | 0,442 | 0,423 | 0,435 |
| 275 | 0,483 | 0,492 | 0,499 | 0,501 | 275 | 0,448 | 0,43 | 0,441 |
| 274 | 0,487 | 0,497 | 0,503 | 0,505 | 274 | 0,451 | 0,433 | 0,444 |
| 273 | 0,489 | 0,498 | 0,504 | 0,506 | 273 | 0,452 | 0,434 | 0,445 |
| 272 | 0,488 | 0,497 | 0,503 | 0,505 | 272 | 0,45 | 0,432 | 0,444 |
| 271 | 0,484 | 0,493 | 0,499 | 0,501 | 271 | 0,445 | 0,429 | 0,44 |
| 270 | 0,477 | 0,487 | 0,493 | 0,495 | 270 | 0,439 | 0,423 | 0,434 |
| 269 | 0,469 | 0,478 | 0,484 | 0,486 | 269 | 0,43 | 0,415 | 0,426 |
| 268 | 0,458 | 0,467 | 0,474 | 0,476 | 268 | 0,42 | 0,405 | 0,417 |
| 267 | 0,446 | 0,455 | 0,462 | 0,464 | 267 | 0,408 | 0,394 | 0,406 |
| 266 | 0,433 | 0,442 | 0,448 | 0,45 | 266 | 0,396 | 0,382 | 0,393 |
| 265 | 0,417 | 0,427 | 0,433 | 0,435 | 265 | 0,382 | 0,368 | 0,379 |
| 264 | 0,403 | 0,412 | 0,418 | 0,42 | 264 | 0,368 | 0,355 | 0,366 |
| 263 | 0,386 | 0,395 | 0,401 | 0,403 | 263 | 0,351 | 0,34 | 0,35 |
| 262 | 0,367 | 0,376 | 0,383 | 0,385 | 262 | 0,334 | 0,323 | 0,334 |
| 261 | 0,348 | 0,357 | 0,364 | 0,366 | 261 | 0,316 | 0,306 | 0,317 |
| 260 | 0,33 | 0,339 | 0,345 | 0,347 | 260 | 0,299 | 0,289 | 0,3 |
| 259 | 0,312 | 0,321 | 0,327 | 0,329 | 259 | 0,282 | 0,273 | 0,284 |
| 258 | 0,294 | 0,303 | 0,309 | 0,311 | 258 | 0,266 | 0,257 | 0,268 |
| 257 | 0,275 | 0,284 | 0,291 | 0,293 | 257 | 0,25 | 0,241 | 0,252 |

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 256 | 0,258 | 0,267 | 0,274 | 0,276 | 256 | 0,234 | 0,225 | 0,236 |
| 255 | 0,241 | 0,25 | 0,258 | 0,26 | 255 | 0,218 | 0,21 | 0,221 |
| 254 | 0,225 | 0,234 | 0,241 | 0,244 | 254 | 0,204 | 0,195 | 0,207 |
| 253 | 0,21 | 0,219 | 0,226 | 0,229 | 253 | 0,19 | 0,181 | 0,193 |
| 252 | 0,196 | 0,205 | 0,212 | 0,215 | 252 | 0,177 | 0,169 | 0,18 |
| 251 | 0,183 | 0,192 | 0,199 | 0,202 | 251 | 0,166 | 0,158 | 0,169 |
| 250 | 0,171 | 0,18 | 0,187 | 0,191 | 250 | 0,156 | 0,148 | 0,16 |
| 249 | 0,162 | 0,171 | 0,178 | 0,182 | 249 | 0,147 | 0,139 | 0,151 |
| 248 | 0,155 | 0,164 | 0,171 | 0,175 | 248 | 0,141 | 0,133 | 0,145 |
| 247 | 0,149 | 0,159 | 0,167 | 0,17 | 247 | 0,137 | 0,129 | 0,141 |
| 246 | 0,147 | 0,156 | 0,164 | 0,168 | 246 | 0,135 | 0,127 | 0,139 |
| 245 | 0,146 | 0,155 | 0,163 | 0,167 | 245 | 0,134 | 0,126 | 0,139 |
| 244 | 0,147 | 0,156 | 0,164 | 0,169 | 244 | 0,136 | 0,127 | 0,14 |
| 243 | 0,151 | 0,16 | 0,168 | 0,173 | 243 | 0,14 | 0,131 | 0,144 |
| 242 | 0,156 | 0,166 | 0,174 | 0,178 | 242 | 0,146 | 0,137 | 0,149 |
| 241 | 0,163 | 0,173 | 0,181 | 0,185 | 241 | 0,153 | 0,143 | 0,156 |
| 240 | 0,171 | 0,181 | 0,189 | 0,194 | 240 | 0,161 | 0,151 | 0,164 |
| 239 | 0,18 | 0,191 | 0,199 | 0,204 | 239 | 0,171 | 0,16 | 0,173 |
| 238 | 0,191 | 0,201 | 0,21 | 0,214 | 238 | 0,182 | 0,17 | 0,183 |
| 237 | 0,203 | 0,213 | 0,222 | 0,227 | 237 | 0,193 | 0,18 | 0,193 |
| 236 | 0,214 | 0,224 | 0,233 | 0,238 | 236 | 0,206 | 0,191 | 0,205 |
| 235 | 0,225 | 0,235 | 0,245 | 0,249 | 235 | 0,219 | 0,202 | 0,215 |
| 234 | 0,236 | 0,246 | 0,255 | 0,259 | 234 | 0,23 | 0,212 | 0,225 |
| 233 | 0,246 | 0,256 | 0,265 | 0,269 | 233 | 0,242 | 0,221 | 0,235 |
| 232 | 0,254 | 0,265 | 0,274 | 0,278 | 232 | 0,252 | 0,229 | 0,243 |
| 231 | 0,263 | 0,274 | 0,283 | 0,287 | 231 | 0,26 | 0,237 | 0,25 |
| 230 | 0,269 | 0,281 | 0,29 | 0,294 | 230 | 0,268 | 0,243 | 0,256 |
| 229 | 0,275 | 0,287 | 0,296 | 0,3 | 229 | 0,275 | 0,249 | 0,262 |
| 228 | 0,282 | 0,293 | 0,303 | 0,306 | 228 | 0,283 | 0,255 | 0,269 |
| 227 | 0,288 | 0,3 | 0,311 | 0,314 | 227 | 0,291 | 0,262 | 0,276 |
| 226 | 0,296 | 0,309 | 0,319 | 0,322 | 226 | 0,3 | 0,27 | 0,284 |
| 225 | 0,308 | 0,321 | 0,331 | 0,334 | 225 | 0,311 | 0,281 | 0,295 |
| 224 | 0,323 | 0,337 | 0,347 | 0,349 | 224 | 0,325 | 0,295 | 0,309 |
| 223 | 0,342 | 0,356 | 0,366 | 0,368 | 223 | 0,344 | 0,313 | 0,327 |
| 222 | 0,366 | 0,38 | 0,391 | 0,392 | 222 | 0,369 | 0,338 | 0,351 |
| 221 | 0,397 | 0,411 | 0,423 | 0,424 | 221 | 0,401 | 0,37 | 0,383 |
| 220 | 0,434 | 0,449 | 0,46 | 0,461 | 220 | 0,438 | 0,405 | 0,419 |
| 219 | 0,476 | 0,491 | 0,503 | 0,504 | 219 | 0,478 | 0,445 | 0,459 |
| 218 | 0,529 | 0,544 | 0,556 | 0,557 | 218 | 0,523 | 0,491 | 0,504 |
| 217 | 0,583 | 0,598 | 0,61 | 0,611 | 217 | 0,574 | 0,541 | 0,554 |
| 216 | 0,643 | 0,657 | 0,672 | 0,671 | 216 | 0,631 | 0,598 | 0,61 |
| 215 | 0,707 | 0,72 | 0,735 | 0,734 | 215 | 0,695 | 0,66 | 0,673 |
| 214 | 0,773 | 0,788 | 0,801 | 0,8 | 214 | 0,762 | 0,727 | 0,739 |
| 213 | 0,836 | 0,852 | 0,866 | 0,864 | 213 | 0,825 | 0,79 | 0,8 |
| 212 | 0,902 | 0,922 | 0,928 | 0,928 | 212 | 0,883 | 0,847 | 0,857 |
| 211 | 0,961 | 0,974 | 0,987 | 0,981 | 211 | 0,933 | 0,897 | 0,907 |
| 210 | 1,005 | 1,017 | 1,03 | 1,024 | 210 | 0,979 | 0,945 | 0,949 |
| 209 | 1,041 | 1,053 | 1,056 | 1,06 | 209 | 1,01 | 0,981 | 0,985 |

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 208 | 1,061 | 1,077 | 1,082 | 1,088 | 208 | 1,034 | 0,998 | 1,005 |
| 207 | 1,062 | 1,102 | 1,084 | 1,086 | 207 | 1,041 | 1,007 | 1,012 |
| 206 | 1,058 | 1,099 | 1,072 | 1,083 | 206 | 1,031 | 0,99 | 1,004 |
| 205 | 1,036 | 1,064 | 1,054 | 1,054 | 205 | 1,01 | 0,968 | 0,979 |
| 204 | 1,004 | 1,019 | 1,004 | 1,022 | 204 | 0,977 | 0,94 | 0,949 |
| 203 | 0,96 | 0,977 | 0,968 | 0,98 | 203 | 0,951 | 0,903 | 0,912 |
| 202 | 0,915 | 0,931 | 0,934 | 0,934 | 202 | 0,905 | 0,86 | 0,864 |
| 201 | 0,86 | 0,877 | 0,879 | 0,878 | 201 | 0,863 | 0,805 | 0,817 |
| 200 | 0,814 | 0,824 | 0,835 | 0,832 | 200 | 0,811 | 0,743 | 0,75 |
| 199 | 0,761 | 0,77 | 0,772 | 0,779 | 199 | 0,76 | 0,701 | 0,703 |
| 198 | 0,715 | 0,722 | 0,728 | 0,731 | 198 | 0,705 | 0,651 | 0,658 |
| 197 | 0,664 | 0,672 | 0,676 | 0,672 | 197 | 0,658 | 0,601 | 0,613 |
| 196 | 0,61 | 0,622 | 0,621 | 0,628 | 196 | 0,613 | 0,551 | 0,561 |
| 195 | 0,565 | 0,573 | 0,579 | 0,578 | 195 | 0,56 | 0,505 | 0,515 |
| 194 | 0,512 | 0,526 | 0,527 | 0,528 | 194 | 0,516 | 0,447 | 0,468 |
| 193 | 0,465 | 0,455 | 0,458 | 0,46 | 193 | 0,456 | 0,39 | 0,418 |
| 192 | 0,396 | 0,404 | 0,378 | 0,398 | 192 | 0,398 | 0,336 | 0,358 |
| 191 | 0,331 | 0,34 | 0,293 | 0,338 | 191 | 0,334 | 0,3 | 0,293 |
| 190 | 0,299 | 0,293 | 0,223 | 0,283 | 190 | 0,28 | 0,256 | 0,287 |

Varredura – Tridimensional 6 bocais 15 MPa

Varredura – Tridimensional 6 bocais 25 MPa

| Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 | Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 400 | 0,01 | 0,012 | 0,014 | 0,015 | 400 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,015 |
| 399 | 0,01 | 0,012 | 0,014 | 0,015 | 399 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,015 |
| 398 | 0,01 | 0,012 | 0,014 | 0,015 | 398 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,015 |
| 397 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 397 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 396 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 396 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 395 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 395 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 394 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 394 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 393 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 393 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 392 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 392 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 391 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 391 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 390 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 390 | 0,008 | 0,011 | 0,012 | 0,016 |
| 389 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 389 | 0,008 | 0,011 | 0,013 | 0,016 |
| 388 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 388 | 0,008 | 0,011 | 0,013 | 0,016 |
| 387 | 0,01 | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 387 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,017 |
| 386 | 0,01 | 0,013 | 0,015 | 0,016 | 386 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,017 |
| 385 | 0,01 | 0,013 | 0,015 | 0,016 | 385 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,017 |
| 384 | 0,011 | 0,013 | 0,015 | 0,016 | 384 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,017 |
| 383 | 0,01 | 0,014 | 0,015 | 0,016 | 383 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,017 |
| 382 | 0,01 | 0,014 | 0,015 | 0,016 | 382 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,017 |
| 381 | 0,011 | 0,014 | 0,015 | 0,017 | 381 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,017 |
| 380 | 0,011 | 0,014 | 0,015 | 0,017 | 380 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,018 |
| 379 | 0,011 | 0,014 | 0,015 | 0,017 | 379 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,018 |
| 378 | 0,011 | 0,014 | 0,015 | 0,017 | 378 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,018 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 377 | 0,011 | 0,014 | 0,015 | 0,017 | 377 | 0,008 | 0,012 | 0,014 | 0,018 |
| 376 | 0,011 | 0,014 | 0,015 | 0,017 | 376 | 0,008 | 0,012 | 0,013 | 0,018 |
| 375 | 0,011 | 0,014 | 0,016 | 0,017 | 375 | 0,008 | 0,012 | 0,014 | 0,018 |
| 374 | 0,011 | 0,014 | 0,016 | 0,017 | 374 | 0,008 | 0,012 | 0,014 | 0,018 |
| 373 | 0,011 | 0,014 | 0,016 | 0,018 | 373 | 0,008 | 0,013 | 0,014 | 0,018 |
| 372 | 0,011 | 0,014 | 0,016 | 0,018 | 372 | 0,008 | 0,013 | 0,014 | 0,018 |
| 371 | 0,011 | 0,014 | 0,016 | 0,018 | 371 | 0,008 | 0,013 | 0,014 | 0,018 |
| 370 | 0,011 | 0,014 | 0,016 | 0,018 | 370 | 0,008 | 0,013 | 0,014 | 0,019 |
| 369 | 0,012 | 0,015 | 0,016 | 0,018 | 369 | 0,008 | 0,013 | 0,014 | 0,019 |
| 368 | 0,012 | 0,015 | 0,016 | 0,018 | 368 | 0,009 | 0,013 | 0,014 | 0,019 |
| 367 | 0,012 | 0,015 | 0,017 | 0,018 | 367 | 0,009 | 0,013 | 0,014 | 0,019 |
| 366 | 0,011 | 0,015 | 0,017 | 0,018 | 366 | 0,009 | 0,013 | 0,014 | 0,019 |
| 365 | 0,012 | 0,015 | 0,017 | 0,018 | 365 | 0,009 | 0,013 | 0,014 | 0,019 |
| 364 | 0,012 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 364 | 0,009 | 0,013 | 0,014 | 0,019 |
| 363 | 0,012 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 363 | 0,009 | 0,013 | 0,015 | 0,019 |
| 362 | 0,012 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 362 | 0,009 | 0,013 | 0,015 | 0,02 |
| 361 | 0,012 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 361 | 0,009 | 0,013 | 0,015 | 0,02 |
| 360 | 0,012 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 360 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 359 | 0,012 | 0,016 | 0,017 | 0,019 | 359 | 0,009 | 0,013 | 0,015 | 0,02 |
| 358 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,019 | 358 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 357 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,019 | 357 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 356 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 356 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 355 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 355 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 354 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 354 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 353 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 353 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 352 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 352 | 0,009 | 0,014 | 0,015 | 0,02 |
| 351 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 351 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 350 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 350 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 349 | 0,012 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 349 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 348 | 0,013 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 348 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 347 | 0,013 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 347 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 346 | 0,013 | 0,016 | 0,018 | 0,021 | 346 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 345 | 0,013 | 0,016 | 0,019 | 0,021 | 345 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 344 | 0,013 | 0,016 | 0,018 | 0,021 | 344 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 343 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 343 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 342 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 342 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 341 | 0,013 | 0,016 | 0,019 | 0,021 | 341 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 340 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 340 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 339 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 339 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 338 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 338 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 337 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 337 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 336 | 0,013 | 0,016 | 0,019 | 0,021 | 336 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 335 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 335 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,021 |
| 334 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 334 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,021 |
| 333 | 0,012 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 333 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,021 |
| 332 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,022 | 332 | 0,009 | 0,014 | 0,016 | 0,022 |
| 331 | 0,013 | 0,017 | 0,02 | 0,022 | 331 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,022 |
| 330 | 0,013 | 0,018 | 0,02 | 0,022 | 330 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,022 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 329 | 0,014 | 0,018 | 0,02 | 0,022 | 329 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,022 |
| 328 | 0,014 | 0,018 | 0,02 | 0,022 | 328 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,022 |
| 327 | 0,013 | 0,017 | 0,02 | 0,022 | 327 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,022 |
| 326 | 0,013 | 0,018 | 0,02 | 0,022 | 326 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,022 |
| 325 | 0,014 | 0,018 | 0,02 | 0,022 | 325 | 0,009 | 0,015 | 0,016 | 0,022 |
| 324 | 0,013 | 0,018 | 0,02 | 0,023 | 324 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 323 | 0,013 | 0,018 | 0,02 | 0,023 | 323 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 322 | 0,013 | 0,018 | 0,02 | 0,023 | 322 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 321 | 0,014 | 0,018 | 0,02 | 0,023 | 321 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,022 |
| 320 | 0,014 | 0,018 | 0,021 | 0,023 | 320 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 319 | 0,014 | 0,018 | 0,021 | 0,023 | 319 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 318 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 318 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 317 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 317 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 316 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 316 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,022 |
| 315 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,024 | 315 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,022 |
| 314 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,024 | 314 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,022 |
| 313 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,024 | 313 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 312 | 0,014 | 0,019 | 0,022 | 0,024 | 312 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 311 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,024 | 311 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 310 | 0,014 | 0,019 | 0,021 | 0,024 | 310 | 0,009 | 0,016 | 0,017 | 0,023 |
| 309 | 0,014 | 0,019 | 0,022 | 0,024 | 309 | 0,009 | 0,016 | 0,017 | 0,023 |
| 308 | 0,015 | 0,02 | 0,022 | 0,024 | 308 | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,023 |
| 307 | 0,015 | 0,02 | 0,022 | 0,025 | 307 | 0,01 | 0,015 | 0,018 | 0,023 |
| 306 | 0,015 | 0,021 | 0,023 | 0,026 | 306 | 0,01 | 0,016 | 0,018 | 0,024 |
| 305 | 0,016 | 0,022 | 0,024 | 0,027 | 305 | 0,01 | 0,017 | 0,019 | 0,024 |
| 304 | 0,017 | 0,023 | 0,025 | 0,028 | 304 | 0,011 | 0,018 | 0,02 | 0,025 |
| 303 | 0,019 | 0,024 | 0,026 | 0,029 | 303 | 0,012 | 0,019 | 0,021 | 0,027 |
| 302 | 0,02 | 0,025 | 0,028 | 0,031 | 302 | 0,014 | 0,021 | 0,023 | 0,028 |
| 301 | 0,022 | 0,028 | 0,03 | 0,033 | 301 | 0,015 | 0,023 | 0,024 | 0,03 |
| 300 | 0,025 | 0,031 | 0,034 | 0,036 | 300 | 0,018 | 0,025 | 0,027 | 0,032 |
| 299 | 0,029 | 0,035 | 0,038 | 0,04 | 299 | 0,023 | 0,03 | 0,031 | 0,036 |
| 298 | 0,034 | 0,04 | 0,043 | 0,046 | 298 | 0,027 | 0,035 | 0,036 | 0,042 |
| 297 | 0,041 | 0,047 | 0,05 | 0,052 | 297 | 0,034 | 0,041 | 0,043 | 0,049 |
| 296 | 0,05 | 0,056 | 0,059 | 0,061 | 296 | 0,043 | 0,05 | 0,052 | 0,058 |
| 295 | 0,06 | 0,067 | 0,07 | 0,072 | 295 | 0,054 | 0,061 | 0,062 | 0,068 |
| 294 | 0,073 | 0,079 | 0,083 | 0,085 | 294 | 0,067 | 0,074 | 0,076 | 0,082 |
| 293 | 0,089 | 0,095 | 0,099 | 0,101 | 293 | 0,083 | 0,09 | 0,092 | 0,098 |
| 292 | 0,107 | 0,114 | 0,117 | 0,119 | 292 | 0,101 | 0,109 | 0,111 | 0,116 |
| 291 | 0,128 | 0,134 | 0,138 | 0,14 | 291 | 0,123 | 0,131 | 0,133 | 0,138 |
| 290 | 0,152 | 0,159 | 0,162 | 0,165 | 290 | 0,148 | 0,155 | 0,157 | 0,162 |
| 289 | 0,177 | 0,184 | 0,187 | 0,19 | 289 | 0,174 | 0,181 | 0,183 | 0,189 |
| 288 | 0,204 | 0,211 | 0,214 | 0,217 | 288 | 0,202 | 0,209 | 0,212 | 0,216 |
| 287 | 0,232 | 0,239 | 0,242 | 0,245 | 287 | 0,232 | 0,238 | 0,241 | 0,246 |
| 286 | 0,259 | 0,266 | 0,269 | 0,272 | 286 | 0,26 | 0,267 | 0,269 | 0,274 |
| 285 | 0,286 | 0,293 | 0,296 | 0,299 | 285 | 0,288 | 0,295 | 0,298 | 0,302 |
| 284 | 0,314 | 0,32 | 0,324 | 0,326 | 284 | 0,317 | 0,324 | 0,328 | 0,332 |
| 283 | 0,34 | 0,347 | 0,35 | 0,353 | 283 | 0,346 | 0,352 | 0,356 | 0,36 |
| 282 | 0,363 | 0,37 | 0,374 | 0,376 | 282 | 0,371 | 0,377 | 0,381 | 0,385 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 281 | 0,383 | 0,39 | 0,394 | 0,396 | 281 | 0,392 | 0,399 | 0,402 | 0,407 |
| 280 | 0,401 | 0,408 | 0,411 | 0,413 | 280 | 0,411 | 0,418 | 0,421 | 0,425 |
| 279 | 0,417 | 0,423 | 0,427 | 0,429 | 279 | 0,428 | 0,435 | 0,438 | 0,442 |
| 278 | 0,43 | 0,437 | 0,44 | 0,442 | 278 | 0,442 | 0,449 | 0,452 | 0,456 |
| 277 | 0,44 | 0,447 | 0,45 | 0,452 | 277 | 0,454 | 0,46 | 0,464 | 0,468 |
| 276 | 0,449 | 0,456 | 0,459 | 0,461 | 276 | 0,464 | 0,469 | 0,473 | 0,477 |
| 275 | 0,455 | 0,461 | 0,465 | 0,466 | 275 | 0,47 | 0,476 | 0,48 | 0,484 |
| 274 | 0,458 | 0,464 | 0,468 | 0,47 | 274 | 0,474 | 0,48 | 0,484 | 0,488 |
| 273 | 0,459 | 0,465 | 0,469 | 0,47 | 273 | 0,475 | 0,481 | 0,485 | 0,489 |
| 272 | 0,457 | 0,463 | 0,467 | 0,468 | 272 | 0,474 | 0,48 | 0,484 | 0,487 |
| 271 | 0,453 | 0,459 | 0,463 | 0,464 | 271 | 0,47 | 0,476 | 0,479 | 0,483 |
| 270 | 0,447 | 0,453 | 0,456 | 0,458 | 270 | 0,464 | 0,47 | 0,473 | 0,477 |
| 269 | 0,438 | 0,445 | 0,448 | 0,45 | 269 | 0,455 | 0,461 | 0,465 | 0,468 |
| 268 | 0,428 | 0,434 | 0,438 | 0,44 | 268 | 0,445 | 0,451 | 0,454 | 0,458 |
| 267 | 0,417 | 0,422 | 0,426 | 0,428 | 267 | 0,433 | 0,439 | 0,442 | 0,446 |
| 266 | 0,404 | 0,41 | 0,413 | 0,415 | 266 | 0,419 | 0,425 | 0,429 | 0,433 |
| 265 | 0,389 | 0,396 | 0,399 | 0,401 | 265 | 0,404 | 0,41 | 0,414 | 0,418 |
| 264 | 0,375 | 0,382 | 0,385 | 0,387 | 264 | 0,39 | 0,396 | 0,399 | 0,404 |
| 263 | 0,36 | 0,366 | 0,369 | 0,371 | 263 | 0,373 | 0,379 | 0,383 | 0,387 |
| 262 | 0,342 | 0,349 | 0,352 | 0,353 | 262 | 0,355 | 0,361 | 0,364 | 0,369 |
| 261 | 0,325 | 0,331 | 0,334 | 0,336 | 261 | 0,336 | 0,343 | 0,346 | 0,35 |
| 260 | 0,307 | 0,314 | 0,317 | 0,319 | 260 | 0,318 | 0,325 | 0,327 | 0,332 |
| 259 | 0,29 | 0,297 | 0,3 | 0,302 | 259 | 0,3 | 0,307 | 0,31 | 0,315 |
| 258 | 0,273 | 0,28 | 0,283 | 0,285 | 258 | 0,282 | 0,289 | 0,292 | 0,297 |
| 257 | 0,257 | 0,263 | 0,266 | 0,268 | 257 | 0,265 | 0,271 | 0,274 | 0,279 |
| 256 | 0,241 | 0,247 | 0,25 | 0,252 | 256 | 0,248 | 0,255 | 0,257 | 0,263 |
| 255 | 0,225 | 0,231 | 0,235 | 0,237 | 255 | 0,231 | 0,238 | 0,241 | 0,247 |
| 254 | 0,21 | 0,217 | 0,22 | 0,223 | 254 | 0,216 | 0,222 | 0,225 | 0,231 |
| 253 | 0,196 | 0,203 | 0,206 | 0,208 | 253 | 0,201 | 0,208 | 0,21 | 0,216 |
| 252 | 0,183 | 0,189 | 0,193 | 0,195 | 252 | 0,186 | 0,194 | 0,196 | 0,202 |
| 251 | 0,172 | 0,178 | 0,182 | 0,184 | 251 | 0,174 | 0,181 | 0,184 | 0,19 |
| 250 | 0,161 | 0,168 | 0,171 | 0,174 | 250 | 0,163 | 0,17 | 0,173 | 0,178 |
| 249 | 0,153 | 0,16 | 0,163 | 0,166 | 249 | 0,154 | 0,162 | 0,165 | 0,17 |
| 248 | 0,147 | 0,154 | 0,157 | 0,16 | 248 | 0,147 | 0,155 | 0,158 | 0,163 |
| 247 | 0,142 | 0,149 | 0,153 | 0,155 | 247 | 0,142 | 0,15 | 0,153 | 0,159 |
| 246 | 0,14 | 0,147 | 0,151 | 0,154 | 246 | 0,139 | 0,147 | 0,15 | 0,156 |
| 245 | 0,139 | 0,147 | 0,15 | 0,153 | 245 | 0,139 | 0,147 | 0,15 | 0,156 |
| 244 | 0,141 | 0,148 | 0,152 | 0,155 | 244 | 0,14 | 0,148 | 0,151 | 0,158 |
| 243 | 0,145 | 0,152 | 0,156 | 0,159 | 243 | 0,144 | 0,152 | 0,155 | 0,162 |
| 242 | 0,15 | 0,158 | 0,162 | 0,164 | 242 | 0,15 | 0,157 | 0,161 | 0,167 |
| 241 | 0,156 | 0,164 | 0,168 | 0,172 | 241 | 0,157 | 0,164 | 0,168 | 0,174 |
| 240 | 0,164 | 0,173 | 0,176 | 0,18 | 240 | 0,165 | 0,173 | 0,177 | 0,183 |
| 239 | 0,174 | 0,182 | 0,185 | 0,189 | 239 | 0,175 | 0,183 | 0,186 | 0,193 |
| 238 | 0,183 | 0,192 | 0,195 | 0,199 | 238 | 0,186 | 0,193 | 0,198 | 0,204 |
| 237 | 0,193 | 0,202 | 0,205 | 0,209 | 237 | 0,198 | 0,205 | 0,21 | 0,216 |
| 236 | 0,204 | 0,214 | 0,216 | 0,22 | 236 | 0,209 | 0,216 | 0,221 | 0,227 |
| 235 | 0,215 | 0,225 | 0,228 | 0,231 | 235 | 0,22 | 0,228 | 0,232 | 0,238 |
| 234 | 0,225 | 0,235 | 0,238 | 0,241 | 234 | 0,231 | 0,239 | 0,243 | 0,249 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 233 | 0,235 | 0,245 | 0,248 | 0,251 | 233 | 0,241 | 0,249 | 0,253 | 0,259 |
| 232 | 0,242 | 0,254 | 0,256 | 0,259 | 232 | 0,25 | 0,258 | 0,263 | 0,269 |
| 231 | 0,25 | 0,261 | 0,263 | 0,266 | 231 | 0,259 | 0,267 | 0,272 | 0,277 |
| 230 | 0,255 | 0,268 | 0,269 | 0,273 | 230 | 0,266 | 0,274 | 0,279 | 0,284 |
| 229 | 0,262 | 0,274 | 0,276 | 0,279 | 229 | 0,272 | 0,281 | 0,286 | 0,291 |
| 228 | 0,269 | 0,281 | 0,283 | 0,286 | 228 | 0,279 | 0,288 | 0,293 | 0,298 |
| 227 | 0,276 | 0,289 | 0,29 | 0,294 | 227 | 0,287 | 0,296 | 0,301 | 0,306 |
| 226 | 0,285 | 0,298 | 0,299 | 0,303 | 226 | 0,296 | 0,305 | 0,31 | 0,315 |
| 225 | 0,296 | 0,31 | 0,311 | 0,314 | 225 | 0,308 | 0,318 | 0,323 | 0,328 |
| 224 | 0,311 | 0,324 | 0,326 | 0,329 | 224 | 0,324 | 0,334 | 0,339 | 0,344 |
| 223 | 0,33 | 0,344 | 0,345 | 0,349 | 223 | 0,344 | 0,354 | 0,359 | 0,365 |
| 222 | 0,355 | 0,37 | 0,372 | 0,375 | 222 | 0,37 | 0,38 | 0,384 | 0,39 |
| 221 | 0,388 | 0,403 | 0,405 | 0,409 | 221 | 0,401 | 0,411 | 0,415 | 0,422 |
| 220 | 0,425 | 0,44 | 0,443 | 0,447 | 220 | 0,439 | 0,449 | 0,454 | 0,46 |
| 219 | 0,467 | 0,482 | 0,484 | 0,488 | 219 | 0,482 | 0,493 | 0,499 | 0,503 |
| 218 | 0,513 | 0,528 | 0,531 | 0,535 | 218 | 0,534 | 0,546 | 0,553 | 0,556 |
| 217 | 0,566 | 0,581 | 0,585 | 0,589 | 217 | 0,589 | 0,6 | 0,605 | 0,611 |
| 216 | 0,621 | 0,64 | 0,642 | 0,646 | 216 | 0,649 | 0,66 | 0,667 | 0,671 |
| 215 | 0,678 | 0,704 | 0,707 | 0,711 | 215 | 0,712 | 0,723 | 0,732 | 0,734 |
| 214 | 0,74 | 0,773 | 0,776 | 0,78 | 214 | 0,777 | 0,788 | 0,796 | 0,797 |
| 213 | 0,799 | 0,836 | 0,838 | 0,84 | 213 | 0,841 | 0,854 | 0,863 | 0,857 |
| 212 | 0,857 | 0,893 | 0,896 | 0,9 | 212 | 0,904 | 0,917 | 0,925 | 0,916 |
| 211 | 0,915 | 0,945 | 0,946 | 0,952 | 211 | 0,957 | 0,969 | 0,968 | 0,969 |
| 210 | 0,974 | 0,983 | 0,99 | 0,995 | 210 | 0,996 | 1,008 | 1,043 | 1,012 |
| 209 | 1,009 | 1,018 | 1,027 | 1,025 | 209 | 1,028 | 1,036 | 1,07 | 1,039 |
| 208 | 1,027 | 1,044 | 1,045 | 1,049 | 208 | 1,043 | 1,053 | 1,057 | 1,052 |
| 207 | 1,034 | 1,049 | 1,049 | 1,057 | 207 | 1,041 | 1,049 | 1,064 | 1,068 |
| 206 | 1,028 | 1,043 | 1,043 | 1,037 | 206 | 1,025 | 1,046 | 1,045 | 1,066 |
| 205 | 1,006 | 1,019 | 1,02 | 1,021 | 205 | 1,009 | 1,038 | 1,021 | 1,046 |
| 204 | 0,975 | 0,979 | 0,986 | 0,988 | 204 | 0,984 | 1,017 | 1,034 | 1,004 |
| 203 | 0,939 | 0,943 | 0,941 | 0,948 | 203 | 0,933 | 0,966 | 1,011 | 0,948 |
| 202 | 0,903 | 0,906 | 0,905 | 0,908 | 202 | 0,884 | 0,903 | 0,934 | 0,906 |
| 201 | 0,857 | 0,857 | 0,858 | 0,862 | 201 | 0,846 | 0,854 | 0,869 | 0,861 |
| 200 | 0,797 | 0,808 | 0,807 | 0,807 | 200 | 0,791 | 0,803 | 0,885 | 0,805 |
| 199 | 0,756 | 0,755 | 0,768 | 0,772 | 199 | 0,743 | 0,747 | 0,882 | 0,755 |
| 198 | 0,707 | 0,722 | 0,718 | 0,725 | 198 | 0,69 | 0,695 | 0,796 | 0,707 |
| 197 | 0,655 | 0,669 | 0,669 | 0,676 | 197 | 0,634 | 0,646 | 0,721 | 0,675 |
| 196 | 0,61 | 0,626 | 0,62 | 0,625 | 196 | 0,596 | 0,598 | 0,657 | 0,627 |
| 195 | 0,564 | 0,577 | 0,577 | 0,573 | 195 | 0,547 | 0,549 | 0,573 | 0,572 |
| 194 | 0,511 | 0,513 | 0,517 | 0,524 | 194 | 0,508 | 0,499 | 0,505 | 0,505 |
| 193 | 0,439 | 0,449 | 0,452 | 0,461 | 193 | 0,424 | 0,434 | 0,437 | 0,445 |
| 192 | 0,389 | 0,396 | 0,405 | 0,389 | 192 | 0,369 | 0,388 | 0,39 | 0,383 |
| 191 | 0,312 | 0,323 | 0,335 | 0,341 | 191 | 0,302 | 0,331 | 0,302 | 0,331 |
| 190 | 0,233 | 0,276 | 0,298 | 0,301 | 190 | 0,252 | 0,291 | 0,249 | 0,288 |

Varredura – Plana 8 bocais 5 MPa

Varredura – Plana 8 bocais 5 MPa

| Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 | Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 400 | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 400 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,016 |
| 399 | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 399 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,016 |
| 398 | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 398 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,016 |
| 397 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 397 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,016 |
| 396 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 396 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,017 |
| 395 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 395 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,017 |
| 394 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 394 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,017 |
| 393 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 393 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,017 |
| 392 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 392 | 0,008 | 0,008 | 0,01 | 0,017 |
| 391 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 391 | 0,008 | 0,008 | 0,01 | 0,017 |
| 390 | 0,008 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 390 | 0,008 | 0,008 | 0,01 | 0,018 |
| 389 | 0,008 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 389 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,018 |
| 388 | 0,008 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 388 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,018 |
| 387 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 387 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,018 |
| 386 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 386 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,018 |
| 385 | 0,008 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 385 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,018 |
| 384 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 384 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,018 |
| 383 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 383 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,018 |
| 382 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 382 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,019 |
| 381 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 381 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,019 |
| 380 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 380 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,019 |
| 379 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 379 | 0,008 | 0,008 | 0,011 | 0,019 |
| 378 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 378 | 0,008 | 0,008 | 0,012 | 0,019 |
| 377 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,01 | 377 | 0,008 | 0,008 | 0,012 | 0,019 |
| 376 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,01 | 376 | 0,008 | 0,008 | 0,012 | 0,019 |
| 375 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 375 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,02 |
| 374 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 374 | 0,009 | 0,008 | 0,012 | 0,02 |
| 373 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 373 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,02 |
| 372 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 372 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,02 |
| 371 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 371 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,02 |
| 370 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 370 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,02 |
| 369 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 369 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,02 |
| 368 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 368 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,02 |
| 367 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 367 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,021 |
| 366 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 366 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,021 |
| 365 | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,011 | 365 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,021 |
| 364 | 0,01 | 0,01 | 0,012 | 0,012 | 364 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 363 | 0,009 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 363 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 362 | 0,009 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 362 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 361 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 361 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 360 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 360 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 359 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 359 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 358 | 0,009 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 358 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 357 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 357 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 356 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 356 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,022 |
| 355 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 355 | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,023 |
| 354 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 354 | 0,009 | 0,009 | 0,014 | 0,023 |
| 353 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 353 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 352 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 352 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 351 | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 351 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 350 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 350 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 349 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 349 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 348 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 348 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 347 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 347 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 346 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 346 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,023 |
| 345 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 345 | 0,01 | 0,01 | 0,014 | 0,024 |
| 344 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 344 | 0,01 | 0,01 | 0,014 | 0,024 |
| 343 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 343 | 0,01 | 0,01 | 0,014 | 0,024 |
| 342 | 0,01 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 342 | 0,01 | 0,01 | 0,014 | 0,024 |
| 341 | 0,01 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 341 | 0,009 | 0,01 | 0,014 | 0,024 |
| 340 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 340 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,025 |
| 339 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 339 | 0,009 | 0,01 | 0,015 | 0,026 |
| 338 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 338 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,026 |
| 337 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 337 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,027 |
| 336 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 336 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,027 |
| 335 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 335 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,027 |
| 334 | 0,011 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 334 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,027 |
| 333 | 0,011 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 333 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,027 |
| 332 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 332 | 0,01 | 0,011 | 0,015 | 0,027 |
| 331 | 0,011 | 0,011 | 0,013 | 0,014 | 331 | 0,009 | 0,01 | 0,015 | 0,027 |
| 330 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,013 | 330 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,028 |
| 329 | 0,01 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 329 | 0,01 | 0,011 | 0,016 | 0,027 |
| 328 | 0,01 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 328 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,028 |
| 327 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 327 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,028 |
| 326 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 326 | 0,01 | 0,011 | 0,016 | 0,028 |
| 325 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 325 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,028 |
| 324 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 324 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 323 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 323 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,028 |
| 322 | 0,011 | 0,011 | 0,014 | 0,014 | 322 | 0,01 | 0,011 | 0,016 | 0,029 |
| 321 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 321 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,029 |
| 320 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 320 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 319 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 319 | 0,01 | 0,011 | 0,016 | 0,029 |
| 318 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 318 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 317 | 0,01 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 317 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 316 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 316 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 315 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 315 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 314 | 0,012 | 0,011 | 0,014 | 0,014 | 314 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 313 | 0,012 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 313 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 312 | 0,012 | 0,011 | 0,014 | 0,014 | 312 | 0,009 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 311 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 311 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,029 |
| 310 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 310 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,03 |
| 309 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 309 | 0,009 | 0,01 | 0,016 | 0,03 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 308 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 308 | 0,009 | 0,01 | 0,016 | 0,03 |
| 307 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 0,015 | 307 | 0,009 | 0,01 | 0,016 | 0,03 |
| 306 | 0,013 | 0,012 | 0,014 | 0,015 | 306 | 0,01 | 0,01 | 0,016 | 0,03 |
| 305 | 0,014 | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 305 | 0,01 | 0,011 | 0,016 | 0,031 |
| 304 | 0,014 | 0,014 | 0,015 | 0,016 | 304 | 0,011 | 0,011 | 0,017 | 0,032 |
| 303 | 0,016 | 0,015 | 0,016 | 0,017 | 303 | 0,012 | 0,012 | 0,018 | 0,033 |
| 302 | 0,017 | 0,016 | 0,018 | 0,019 | 302 | 0,013 | 0,013 | 0,019 | 0,034 |
| 301 | 0,019 | 0,018 | 0,02 | 0,021 | 301 | 0,015 | 0,015 | 0,021 | 0,036 |
| 300 | 0,022 | 0,021 | 0,022 | 0,023 | 300 | 0,017 | 0,018 | 0,024 | 0,038 |
| 299 | 0,026 | 0,025 | 0,025 | 0,027 | 299 | 0,021 | 0,021 | 0,027 | 0,042 |
| 298 | 0,031 | 0,03 | 0,031 | 0,032 | 298 | 0,025 | 0,026 | 0,032 | 0,047 |
| 297 | 0,038 | 0,036 | 0,038 | 0,039 | 297 | 0,032 | 0,032 | 0,038 | 0,054 |
| 296 | 0,047 | 0,045 | 0,046 | 0,048 | 296 | 0,04 | 0,04 | 0,047 | 0,062 |
| 295 | 0,057 | 0,056 | 0,056 | 0,058 | 295 | 0,05 | 0,051 | 0,057 | 0,072 |
| 294 | 0,07 | 0,069 | 0,069 | 0,071 | 294 | 0,062 | 0,063 | 0,069 | 0,085 |
| 293 | 0,086 | 0,084 | 0,085 | 0,087 | 293 | 0,077 | 0,078 | 0,084 | 0,1 |
| 292 | 0,105 | 0,103 | 0,104 | 0,106 | 292 | 0,095 | 0,096 | 0,102 | 0,118 |
| 291 | 0,126 | 0,124 | 0,125 | 0,127 | 291 | 0,115 | 0,116 | 0,122 | 0,138 |
| 290 | 0,15 | 0,148 | 0,149 | 0,151 | 290 | 0,138 | 0,139 | 0,145 | 0,162 |
| 289 | 0,176 | 0,174 | 0,175 | 0,177 | 289 | 0,163 | 0,164 | 0,17 | 0,187 |
| 288 | 0,204 | 0,202 | 0,203 | 0,205 | 288 | 0,189 | 0,19 | 0,197 | 0,213 |
| 287 | 0,233 | 0,231 | 0,231 | 0,234 | 287 | 0,216 | 0,218 | 0,225 | 0,241 |
| 286 | 0,261 | 0,259 | 0,26 | 0,262 | 286 | 0,243 | 0,245 | 0,251 | 0,268 |
| 285 | 0,29 | 0,287 | 0,288 | 0,29 | 285 | 0,27 | 0,272 | 0,278 | 0,294 |
| 284 | 0,319 | 0,316 | 0,317 | 0,319 | 284 | 0,297 | 0,3 | 0,306 | 0,322 |
| 283 | 0,347 | 0,344 | 0,345 | 0,347 | 283 | 0,323 | 0,326 | 0,332 | 0,349 |
| 282 | 0,372 | 0,37 | 0,369 | 0,373 | 282 | 0,347 | 0,349 | 0,356 | 0,372 |
| 281 | 0,394 | 0,391 | 0,391 | 0,395 | 281 | 0,367 | 0,37 | 0,376 | 0,393 |
| 280 | 0,412 | 0,41 | 0,41 | 0,413 | 280 | 0,384 | 0,388 | 0,393 | 0,41 |
| 279 | 0,429 | 0,427 | 0,426 | 0,43 | 279 | 0,4 | 0,403 | 0,409 | 0,426 |
| 278 | 0,444 | 0,441 | 0,441 | 0,444 | 278 | 0,414 | 0,417 | 0,423 | 0,44 |
| 277 | 0,455 | 0,453 | 0,453 | 0,455 | 277 | 0,424 | 0,428 | 0,434 | 0,451 |
| 276 | 0,464 | 0,462 | 0,462 | 0,464 | 276 | 0,433 | 0,437 | 0,443 | 0,46 |
| 275 | 0,471 | 0,468 | 0,468 | 0,471 | 275 | 0,44 | 0,443 | 0,449 | 0,466 |
| 274 | 0,476 | 0,472 | 0,472 | 0,475 | 274 | 0,444 | 0,447 | 0,453 | 0,47 |
| 273 | 0,477 | 0,473 | 0,473 | 0,476 | 273 | 0,444 | 0,448 | 0,454 | 0,471 |
| 272 | 0,475 | 0,472 | 0,472 | 0,474 | 272 | 0,443 | 0,446 | 0,453 | 0,47 |
| 271 | 0,471 | 0,468 | 0,468 | 0,47 | 271 | 0,439 | 0,442 | 0,449 | 0,467 |
| 270 | 0,465 | 0,462 | 0,462 | 0,465 | 270 | 0,434 | 0,437 | 0,443 | 0,461 |
| 269 | 0,457 | 0,454 | 0,454 | 0,456 | 269 | 0,426 | 0,429 | 0,435 | 0,453 |
| 268 | 0,446 | 0,443 | 0,443 | 0,445 | 268 | 0,416 | 0,419 | 0,426 | 0,443 |
| 267 | 0,434 | 0,432 | 0,431 | 0,433 | 267 | 0,405 | 0,408 | 0,414 | 0,432 |
| 266 | 0,421 | 0,418 | 0,418 | 0,42 | 266 | 0,392 | 0,395 | 0,401 | 0,42 |
| 265 | 0,406 | 0,403 | 0,403 | 0,405 | 265 | 0,378 | 0,381 | 0,388 | 0,406 |
| 264 | 0,392 | 0,389 | 0,389 | 0,391 | 264 | 0,365 | 0,368 | 0,375 | 0,393 |
| 263 | 0,375 | 0,372 | 0,373 | 0,375 | 263 | 0,349 | 0,351 | 0,359 | 0,377 |
| 262 | 0,357 | 0,354 | 0,354 | 0,357 | 262 | 0,332 | 0,334 | 0,342 | 0,36 |
| 261 | 0,338 | 0,336 | 0,336 | 0,338 | 261 | 0,315 | 0,317 | 0,324 | 0,343 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 260 | 0,321 | 0,319 | 0,318 | 0,321 | 260 | 0,298 | 0,3 | 0,308 | 0,327 |
| 259 | 0,303 | 0,301 | 0,3 | 0,303 | 259 | 0,281 | 0,283 | 0,29 | 0,31 |
| 258 | 0,285 | 0,283 | 0,283 | 0,285 | 258 | 0,264 | 0,267 | 0,274 | 0,294 |
| 257 | 0,268 | 0,266 | 0,266 | 0,268 | 257 | 0,248 | 0,25 | 0,258 | 0,278 |
| 256 | 0,251 | 0,249 | 0,25 | 0,251 | 256 | 0,232 | 0,235 | 0,242 | 0,262 |
| 255 | 0,235 | 0,233 | 0,233 | 0,235 | 255 | 0,217 | 0,219 | 0,227 | 0,247 |
| 254 | 0,219 | 0,217 | 0,218 | 0,219 | 254 | 0,202 | 0,204 | 0,212 | 0,232 |
| 253 | 0,204 | 0,202 | 0,203 | 0,205 | 253 | 0,188 | 0,19 | 0,198 | 0,218 |
| 252 | 0,19 | 0,188 | 0,19 | 0,191 | 252 | 0,175 | 0,177 | 0,185 | 0,206 |
| 251 | 0,178 | 0,176 | 0,177 | 0,179 | 251 | 0,164 | 0,166 | 0,174 | 0,194 |
| 250 | 0,166 | 0,165 | 0,166 | 0,168 | 250 | 0,153 | 0,155 | 0,163 | 0,184 |
| 249 | 0,157 | 0,157 | 0,157 | 0,159 | 249 | 0,145 | 0,147 | 0,156 | 0,177 |
| 248 | 0,15 | 0,15 | 0,151 | 0,152 | 248 | 0,139 | 0,14 | 0,15 | 0,171 |
| 247 | 0,146 | 0,145 | 0,146 | 0,148 | 247 | 0,135 | 0,136 | 0,145 | 0,167 |
| 246 | 0,143 | 0,142 | 0,143 | 0,145 | 246 | 0,132 | 0,134 | 0,143 | 0,165 |
| 245 | 0,142 | 0,142 | 0,143 | 0,144 | 245 | 0,131 | 0,133 | 0,143 | 0,164 |
| 244 | 0,144 | 0,144 | 0,145 | 0,146 | 244 | 0,133 | 0,135 | 0,144 | 0,166 |
| 243 | 0,147 | 0,147 | 0,149 | 0,15 | 243 | 0,137 | 0,139 | 0,148 | 0,17 |
| 242 | 0,153 | 0,153 | 0,154 | 0,155 | 242 | 0,142 | 0,144 | 0,154 | 0,176 |
| 241 | 0,16 | 0,16 | 0,161 | 0,162 | 241 | 0,149 | 0,151 | 0,161 | 0,183 |
| 240 | 0,168 | 0,168 | 0,17 | 0,171 | 240 | 0,156 | 0,159 | 0,169 | 0,192 |
| 239 | 0,177 | 0,178 | 0,18 | 0,181 | 239 | 0,166 | 0,168 | 0,178 | 0,201 |
| 238 | 0,188 | 0,189 | 0,19 | 0,191 | 238 | 0,176 | 0,178 | 0,188 | 0,212 |
| 237 | 0,2 | 0,2 | 0,203 | 0,203 | 237 | 0,187 | 0,189 | 0,199 | 0,223 |
| 236 | 0,211 | 0,212 | 0,214 | 0,214 | 236 | 0,197 | 0,2 | 0,21 | 0,234 |
| 235 | 0,222 | 0,222 | 0,225 | 0,225 | 235 | 0,207 | 0,21 | 0,22 | 0,244 |
| 234 | 0,233 | 0,233 | 0,237 | 0,236 | 234 | 0,217 | 0,22 | 0,23 | 0,254 |
| 233 | 0,243 | 0,243 | 0,248 | 0,247 | 233 | 0,226 | 0,229 | 0,239 | 0,264 |
| 232 | 0,252 | 0,252 | 0,257 | 0,255 | 232 | 0,234 | 0,237 | 0,247 | 0,272 |
| 231 | 0,261 | 0,261 | 0,266 | 0,264 | 231 | 0,241 | 0,244 | 0,255 | 0,28 |
| 230 | 0,268 | 0,268 | 0,274 | 0,271 | 230 | 0,247 | 0,251 | 0,261 | 0,286 |
| 229 | 0,275 | 0,274 | 0,282 | 0,278 | 229 | 0,252 | 0,256 | 0,267 | 0,293 |
| 228 | 0,282 | 0,281 | 0,289 | 0,284 | 228 | 0,258 | 0,262 | 0,273 | 0,299 |
| 227 | 0,289 | 0,288 | 0,299 | 0,292 | 227 | 0,264 | 0,269 | 0,279 | 0,305 |
| 226 | 0,299 | 0,297 | 0,309 | 0,301 | 226 | 0,272 | 0,277 | 0,288 | 0,314 |
| 225 | 0,311 | 0,31 | 0,323 | 0,313 | 225 | 0,283 | 0,288 | 0,299 | 0,325 |
| 224 | 0,327 | 0,326 | 0,34 | 0,329 | 224 | 0,298 | 0,302 | 0,313 | 0,34 |
| 223 | 0,347 | 0,346 | 0,362 | 0,35 | 223 | 0,315 | 0,32 | 0,331 | 0,358 |
| 222 | 0,372 | 0,371 | 0,39 | 0,375 | 222 | 0,338 | 0,344 | 0,355 | 0,382 |
| 221 | 0,403 | 0,402 | 0,423 | 0,405 | 221 | 0,366 | 0,372 | 0,384 | 0,411 |
| 220 | 0,441 | 0,44 | 0,463 | 0,444 | 220 | 0,401 | 0,407 | 0,419 | 0,447 |
| 219 | 0,484 | 0,483 | 0,509 | 0,487 | 219 | 0,441 | 0,448 | 0,459 | 0,488 |
| 218 | 0,537 | 0,535 | 0,563 | 0,539 | 218 | 0,489 | 0,496 | 0,508 | 0,537 |
| 217 | 0,59 | 0,589 | 0,619 | 0,594 | 217 | 0,539 | 0,547 | 0,56 | 0,588 |
| 216 | 0,65 | 0,649 | 0,681 | 0,654 | 216 | 0,594 | 0,603 | 0,615 | 0,644 |
| 215 | 0,715 | 0,712 | 0,747 | 0,717 | 215 | 0,653 | 0,662 | 0,673 | 0,703 |
| 214 | 0,779 | 0,775 | 0,813 | 0,782 | 214 | 0,712 | 0,721 | 0,734 | 0,763 |
| 213 | 0,842 | 0,84 | 0,877 | 0,844 | 213 | 0,77 | 0,781 | 0,791 | 0,822 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 212 | 0,911 | 0,904 | 0,943 | 0,909 | 212 | 0,829 | 0,841 | 0,849 | 0,88 |
| 211 | 0,962 | 0,957 | 0,996 | 0,963 | 211 | 0,877 | 0,888 | 0,898 | 0,927 |
| 210 | 1,005 | 1 | 1,036 | 1,006 | 210 | 0,913 | 0,929 | 0,938 | 0,966 |
| 209 | 1,036 | 1,03 | 1,065 | 1,042 | 209 | 0,942 | 0,956 | 0,962 | 0,994 |
| 208 | 1,056 | 1,046 | 1,08 | 1,058 | 208 | 0,961 | 0,966 | 0,97 | 1,012 |
| 207 | 1,061 | 1,052 | 1,089 | 1,06 | 207 | 0,959 | 0,963 | 0,974 | 1,01 |
| 206 | 1,052 | 1,044 | 1,076 | 1,046 | 206 | 0,949 | 0,963 | 0,964 | 0,985 |
| 205 | 1,021 | 1,014 | 1,041 | 1,017 | 205 | 0,925 | 0,934 | 0,934 | 0,963 |
| 204 | 0,99 | 0,981 | 1,005 | 0,98 | 204 | 0,886 | 0,898 | 0,899 | 0,925 |
| 203 | 0,949 | 0,941 | 0,962 | 0,941 | 203 | 0,843 | 0,859 | 0,868 | 0,896 |
| 202 | 0,911 | 0,898 | 0,914 | 0,903 | 202 | 0,8 | 0,808 | 0,821 | 0,844 |
| 201 | 0,858 | 0,846 | 0,883 | 0,844 | 201 | 0,758 | 0,769 | 0,77 | 0,799 |
| 200 | 0,809 | 0,792 | 0,831 | 0,796 | 200 | 0,703 | 0,709 | 0,721 | 0,754 |
| 199 | 0,753 | 0,741 | 0,775 | 0,743 | 199 | 0,649 | 0,659 | 0,672 | 0,705 |
| 198 | 0,709 | 0,688 | 0,724 | 0,688 | 198 | 0,599 | 0,613 | 0,626 | 0,662 |
| 197 | 0,654 | 0,638 | 0,666 | 0,639 | 197 | 0,554 | 0,566 | 0,562 | 0,605 |
| 196 | 0,603 | 0,587 | 0,618 | 0,588 | 196 | 0,51 | 0,511 | 0,529 | 0,556 |
| 195 | 0,545 | 0,523 | 0,56 | 0,533 | 195 | 0,467 | 0,466 | 0,484 | 0,51 |
| 194 | 0,496 | 0,468 | 0,493 | 0,491 | 194 | 0,417 | 0,416 | 0,424 | 0,461 |
| 193 | 0,436 | 0,425 | 0,43 | 0,423 | 193 | 0,369 | 0,357 | 0,376 | 0,388 |
| 192 | 0,373 | 0,35 | 0,36 | 0,355 | 192 | 0,313 | 0,308 | 0,318 | 0,35 |
| 191 | 0,3 | 0,294 | 0,298 | 0,298 | 191 | 0,271 | 0,254 | 0,269 | 0,294 |
| 190 | 0,25 | 0,231 | 0,266 | 0,243 | 190 | 0,239 | 0,278 | 0,233 | 0,233 |

Varredura – Plana 8 bocais 25 MPa

| Comprimento de onda (nm) | t0 | t15 | t30 | t60 |
|---------------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| 400 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 399 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 398 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 397 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 396 | 0 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 395 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 394 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 393 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 392 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,006 |
| 391 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 390 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 389 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 388 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 387 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 386 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 385 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 384 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 383 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 382 | 0,001 | 0,003 | 0,005 | 0,007 |

| | | | | |
|-----|--------|-------|-------|-------|
| 381 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,007 |
| 380 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,007 |
| 379 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,007 |
| 378 | 0,001 | 0,003 | 0,005 | 0,007 |
| 377 | 0,001 | 0,003 | 0,005 | 0,007 |
| 376 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,007 |
| 375 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,007 |
| 374 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 373 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,007 |
| 372 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 371 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 370 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 369 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 368 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 367 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 366 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 365 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 364 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 363 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 362 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 361 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 360 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 359 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 358 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 357 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 356 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 355 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,009 |
| 354 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| 353 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,008 |
| 352 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 351 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 350 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 349 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 348 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 347 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 346 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 345 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 344 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 343 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 342 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 341 | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,009 |
| 340 | 0 | 0,003 | 0,005 | 0,008 |
| 339 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 338 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 337 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 336 | -0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,007 |
| 335 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |

| | | | | |
|-----|--------|--------|-------|-------|
| 334 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 333 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 332 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 331 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 330 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 329 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 328 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 327 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 326 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 325 | -0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 324 | -0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 323 | -0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 322 | -0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,007 |
| 321 | -0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,007 |
| 320 | -0,002 | 0,001 | 0,004 | 0,007 |
| 319 | -0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 318 | -0,002 | 0,001 | 0,004 | 0,007 |
| 317 | -0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,007 |
| 316 | -0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,007 |
| 315 | -0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,006 |
| 314 | -0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,006 |
| 313 | -0,002 | 0 | 0,002 | 0,006 |
| 312 | -0,003 | 0 | 0,002 | 0,006 |
| 311 | -0,003 | 0 | 0,002 | 0,006 |
| 310 | -0,003 | 0 | 0,002 | 0,005 |
| 309 | -0,003 | -0,001 | 0,002 | 0,005 |
| 308 | -0,003 | -0,001 | 0,002 | 0,005 |
| 307 | -0,003 | -0,001 | 0,001 | 0,005 |
| 306 | -0,003 | -0,001 | 0,002 | 0,005 |
| 305 | -0,003 | -0,001 | 0,002 | 0,006 |
| 304 | -0,002 | 0 | 0,003 | 0,006 |
| 303 | -0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,007 |
| 302 | 0 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| 301 | 0,001 | 0,003 | 0,005 | 0,009 |
| 300 | 0,004 | 0,005 | 0,008 | 0,011 |
| 299 | 0,007 | 0,008 | 0,011 | 0,015 |
| 298 | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,019 |
| 297 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 0,025 |
| 296 | 0,025 | 0,027 | 0,029 | 0,034 |
| 295 | 0,035 | 0,037 | 0,039 | 0,043 |
| 294 | 0,047 | 0,049 | 0,051 | 0,055 |
| 293 | 0,061 | 0,063 | 0,066 | 0,069 |
| 292 | 0,078 | 0,08 | 0,083 | 0,087 |
| 291 | 0,097 | 0,099 | 0,102 | 0,106 |
| 290 | 0,12 | 0,121 | 0,124 | 0,128 |
| 289 | 0,144 | 0,145 | 0,148 | 0,151 |
| 288 | 0,169 | 0,17 | 0,173 | 0,176 |
| 287 | 0,195 | 0,197 | 0,199 | 0,203 |

| | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 286 | 0,221 | 0,222 | 0,225 | 0,229 |
| 285 | 0,246 | 0,247 | 0,25 | 0,253 |
| 284 | 0,272 | 0,273 | 0,276 | 0,28 |
| 283 | 0,297 | 0,298 | 0,301 | 0,305 |
| 282 | 0,319 | 0,32 | 0,323 | 0,327 |
| 281 | 0,337 | 0,339 | 0,342 | 0,345 |
| 280 | 0,354 | 0,355 | 0,358 | 0,362 |
| 279 | 0,369 | 0,37 | 0,372 | 0,376 |
| 278 | 0,381 | 0,382 | 0,385 | 0,388 |
| 277 | 0,391 | 0,392 | 0,395 | 0,398 |
| 276 | 0,399 | 0,4 | 0,403 | 0,407 |
| 275 | 0,404 | 0,405 | 0,408 | 0,412 |
| 274 | 0,407 | 0,409 | 0,411 | 0,415 |
| 273 | 0,408 | 0,409 | 0,412 | 0,415 |
| 272 | 0,406 | 0,408 | 0,41 | 0,414 |
| 271 | 0,402 | 0,404 | 0,407 | 0,41 |
| 270 | 0,396 | 0,398 | 0,4 | 0,404 |
| 269 | 0,389 | 0,39 | 0,393 | 0,396 |
| 268 | 0,379 | 0,38 | 0,383 | 0,386 |
| 267 | 0,368 | 0,369 | 0,372 | 0,375 |
| 266 | 0,356 | 0,357 | 0,36 | 0,363 |
| 265 | 0,342 | 0,344 | 0,346 | 0,35 |
| 264 | 0,329 | 0,331 | 0,333 | 0,336 |
| 263 | 0,314 | 0,316 | 0,318 | 0,321 |
| 262 | 0,298 | 0,299 | 0,301 | 0,305 |
| 261 | 0,281 | 0,283 | 0,285 | 0,289 |
| 260 | 0,265 | 0,267 | 0,269 | 0,273 |
| 259 | 0,249 | 0,251 | 0,253 | 0,257 |
| 258 | 0,233 | 0,235 | 0,237 | 0,241 |
| 257 | 0,217 | 0,219 | 0,222 | 0,225 |
| 256 | 0,202 | 0,204 | 0,207 | 0,21 |
| 255 | 0,187 | 0,19 | 0,192 | 0,196 |
| 254 | 0,173 | 0,175 | 0,178 | 0,182 |
| 253 | 0,16 | 0,162 | 0,164 | 0,168 |
| 252 | 0,147 | 0,15 | 0,152 | 0,157 |
| 251 | 0,137 | 0,139 | 0,142 | 0,146 |
| 250 | 0,127 | 0,129 | 0,132 | 0,136 |
| 249 | 0,119 | 0,121 | 0,124 | 0,129 |
| 248 | 0,112 | 0,115 | 0,118 | 0,123 |
| 247 | 0,109 | 0,111 | 0,115 | 0,119 |
| 246 | 0,106 | 0,109 | 0,112 | 0,117 |
| 245 | 0,105 | 0,108 | 0,112 | 0,116 |
| 244 | 0,107 | 0,11 | 0,114 | 0,118 |
| 243 | 0,11 | 0,113 | 0,117 | 0,122 |
| 242 | 0,115 | 0,119 | 0,123 | 0,127 |
| 241 | 0,121 | 0,125 | 0,129 | 0,134 |
| 240 | 0,129 | 0,133 | 0,137 | 0,141 |
| 239 | 0,138 | 0,141 | 0,145 | 0,15 |

| | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 238 | 0,147 | 0,15 | 0,155 | 0,16 |
| 237 | 0,156 | 0,16 | 0,164 | 0,169 |
| 236 | 0,166 | 0,17 | 0,175 | 0,179 |
| 235 | 0,176 | 0,18 | 0,185 | 0,19 |
| 234 | 0,185 | 0,19 | 0,194 | 0,199 |
| 233 | 0,194 | 0,198 | 0,203 | 0,207 |
| 232 | 0,201 | 0,205 | 0,21 | 0,215 |
| 231 | 0,208 | 0,211 | 0,217 | 0,221 |
| 230 | 0,213 | 0,216 | 0,222 | 0,227 |
| 229 | 0,219 | 0,222 | 0,228 | 0,232 |
| 228 | 0,224 | 0,227 | 0,234 | 0,238 |
| 227 | 0,23 | 0,234 | 0,24 | 0,245 |
| 226 | 0,238 | 0,241 | 0,248 | 0,253 |
| 225 | 0,247 | 0,251 | 0,258 | 0,263 |
| 224 | 0,26 | 0,264 | 0,271 | 0,276 |
| 223 | 0,277 | 0,281 | 0,289 | 0,294 |
| 222 | 0,301 | 0,304 | 0,312 | 0,317 |
| 221 | 0,33 | 0,335 | 0,343 | 0,348 |
| 220 | 0,364 | 0,369 | 0,378 | 0,382 |
| 219 | 0,402 | 0,406 | 0,416 | 0,42 |
| 218 | 0,444 | 0,449 | 0,459 | 0,463 |
| 217 | 0,492 | 0,498 | 0,507 | 0,512 |
| 216 | 0,544 | 0,551 | 0,561 | 0,564 |
| 215 | 0,604 | 0,609 | 0,62 | 0,623 |
| 214 | 0,666 | 0,671 | 0,681 | 0,683 |
| 213 | 0,72 | 0,729 | 0,738 | 0,74 |
| 212 | 0,775 | 0,781 | 0,793 | 0,793 |
| 211 | 0,825 | 0,824 | 0,838 | 0,842 |
| 210 | 0,858 | 0,862 | 0,875 | 0,878 |
| 209 | 0,886 | 0,887 | 0,9 | 0,904 |
| 208 | 0,903 | 0,906 | 0,915 | 0,922 |
| 207 | 0,901 | 0,906 | 0,92 | 0,92 |
| 206 | 0,897 | 0,896 | 0,902 | 0,907 |
| 205 | 0,861 | 0,866 | 0,873 | 0,882 |
| 204 | 0,837 | 0,839 | 0,84 | 0,858 |
| 203 | 0,798 | 0,79 | 0,806 | 0,806 |
| 202 | 0,75 | 0,754 | 0,764 | 0,76 |
| 201 | 0,711 | 0,705 | 0,714 | 0,71 |
| 200 | 0,646 | 0,642 | 0,656 | 0,658 |
| 199 | 0,592 | 0,591 | 0,603 | 0,607 |
| 198 | 0,561 | 0,544 | 0,561 | 0,553 |
| 197 | 0,501 | 0,493 | 0,507 | 0,506 |
| 196 | 0,458 | 0,451 | 0,457 | 0,457 |
| 195 | 0,41 | 0,39 | 0,399 | 0,412 |
| 194 | 0,37 | 0,344 | 0,361 | 0,362 |
| 193 | 0,308 | 0,283 | 0,305 | 0,303 |
| 192 | 0,256 | 0,245 | 0,267 | 0,247 |
| 191 | 0,215 | 0,206 | 0,215 | 0,216 |

190 0,19 0,182 0,183 0,186

8. Dados para determinação da curva de calibração do azul de metileno

| Concentração de azul de metileno (mg/L) | Absorbância |
|--|-------------|
| 0,5 | 0,067 |
| 1,0 | 0,091 |
| 2,5 | 0,271 |
| 5,0 | 0,548 |
| 7,5 | 0,785 |
| 10,0 | 1,029 |

9. Resultados dos ensaios de degradação de azul de metileno por cavitação (com homogeneização)

Bocal único 25 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 23 | - | 7,57 | 7,35 | 260 | 0,904 | 0,929 | 0,933 | 0,922 |
| 15 | 26 | - | 7,63 | 7,72 | 276 | 0,921 | 0,921 | 0,937 | 0,926 |
| 30 | 27 | - | 7,67 | 7,95 | 282 | 0,928 | 0,936 | 0,932 | 0,932 |
| 60 | 28 | - | 7,69 | 8,34 | 285 | 0,931 | 0,933 | 0,945 | 0,936 |

Tridimensional 6 bocais 25 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 24 | - | 7,61 | 6,86 | 264 | 0,928 | 0,898 | 0,968 | 0,931 |
| 15 | 27 | - | 7,74 | 7,18 | 275 | 0,958 | 0,949 | 0,955 | 0,954 |
| 30 | 27 | - | 7,77 | 7,4 | 279 | 0,962 | 0,913 | 0,96 | 0,945 |
| 60 | 29 | - | 7,89 | 7,78 | 283 | 0,879 | 0,963 | 0,951 | 0,931 |

Plana 8 bocais 25 MPa

| Tempo (min) | T (°C) | O.D (mg/L) | pH | Turbidez (U.T) | Condutividade (uS) | ABS1 | ABS2 | ABS3 | ABS _m |
|-------------|--------|------------|------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 0 | 23 | - | 7,56 | 6,7 | 260 | 0,959 | 1,003 | 0,985 | 0,982 |
| 15 | 26 | - | 7,62 | 7,2 | 265 | 0,992 | 0,988 | 0,986 | 0,989 |
| 30 | 27 | - | 7,62 | 7,53 | 272 | 0,978 | 0,979 | 0,974 | 0,977 |
| 60 | 28 | - | 7,69 | 8,06 | 274 | 0,97 | 0,975 | 0,977 | 0,974 |

10. Resultados de degradação de azul de metileno por fotólise (sem cavitação)

| Tempo (min) | Absorbância | | | |
|----------------|-------------|-------|-------|-------|
| | Abs 1 | Abs 2 | Abs 3 | Média |
| 0 | 0,897 | 0,892 | 0,899 | 0,896 |
| 60 | 0,865 | 0,864 | 0,859 | 0,863 |
| 120 | 0,738 | 0,752 | 0,752 | 0,747 |
| 180 | 0,601 | 0,613 | 0,619 | 0,611 |

| | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 240 | 0,53 | 0,531 | 0,531 | 0,531 |
| 300 | 0,443 | 0,443 | 0,442 | 0,443 |

11. Resultados dos ensaios de degradação de azul de metileno por cavitação (com homogeneização) associada à fotólise (4 lâmpadas de LED de 100 W cada)

Logo após a cavitação:

| Tempo (min) | Absorbância | | | |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | Abs 1 | Abs 2 | Abs 3 | Média |
| 0 | 0,891 | 0,915 | 0,928 | 0,911 |
| 30 | 0,921 | 0,934 | 0,93 | 0,928 |
| 60 | 0,919 | 0,909 | 0,894 | 0,907 |
| 90 | 0,909 | 0,92 | 0,915 | 0,915 |
| 120 | 0,918 | 0,924 | 0,916 | 0,919 |

Após 1h de luz:

| Tempo (min) | Absorbância | | | |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | Abs 1 | Abs 2 | Abs 3 | Média |
| 0 | 0,886 | 0,898 | 0,899 | 0,894 |
| 30 | 0,881 | 0,892 | 0,888 | 0,887 |
| 60 | 0,888 | 0,9 | 0,899 | 0,896 |
| 90 | 0,866 | 0,885 | 0,893 | 0,881 |
| 120 | 0,875 | 0,886 | 0,889 | 0,883 |

Após 2h de luz:

| Tempo (min) | Absorbância | | | |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | Abs 1 | Abs 2 | Abs 3 | Média |
| 0 | 0,844 | 0,846 | 0,842 | 0,844 |
| 30 | 0,808 | 0,806 | 0,808 | 0,807 |
| 60 | 0,828 | 0,831 | 0,834 | 0,831 |
| 90 | 0,806 | 0,813 | 0,813 | 0,811 |
| 120 | 0,816 | 0,807 | 0,812 | 0,812 |

Após 3h de luz:

| Tempo (min) | Absorbância | | | |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | Abs 1 | Abs 2 | Abs 3 | Média |
| 0 | 0,737 | 0,749 | 0,732 | 0,739 |
| 30 | 0,738 | 0,753 | 0,753 | 0,748 |
| 60 | 0,792 | 0,795 | 0,797 | 0,795 |
| 90 | 0,752 | 0,766 | 0,767 | 0,762 |
| 120 | 0,76 | 0,768 | 0,769 | 0,766 |

Após 4h de luz:

| Tempo (min) | Absorbância | | | |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | Abs 1 | Abs 2 | Abs 3 | Média |
| 0 | 0,662 | 0,646 | 0,652 | 0,653 |
| 30 | 0,637 | 0,643 | 0,643 | 0,641 |
| 60 | 0,713 | 0,714 | 0,712 | 0,713 |

| | | | | |
|-----|-------|-------|------|-------|
| 90 | 0,68 | 0,689 | 0,69 | 0,686 |
| 120 | 0,685 | 0,688 | 0,69 | 0,688 |

Após 5h de luz:

| Tempo (min) | Absorbância | | | |
|------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| | Abs 1 | Abs 2 | Abs 3 | Média |
| 0 | 0,619 | 0,612 | 0,623 | 0,618 |
| 30 | 0,588 | 0,597 | 0,596 | 0,594 |
| 60 | 0,638 | 0,642 | 0,641 | 0,640 |
| 90 | 0,601 | 0,609 | 0,609 | 0,606 |
| 120 | 0,622 | 0,629 | 0,631 | 0,627 |