

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,  
o texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir  
de 26/04/2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de São José do Rio Preto

ARTURO SOLIS MÉNDEZ

ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE REATORES (RACEWAY E VERTICAL  
AGITADO) PARA PRODUÇÃO DE *SPIRULINA PLATENSIS*

São José do Rio Preto

2019

ARTURO SOLIS MÉNDEZ

ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE REATORES (RACEWAY E VERTICAL  
AGITADO) PARA PRODUÇÃO DE *SPIRULINA PLATENSIS*

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de concentração – Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi  
Coorientador: Prof. Dr. Denis Cantú Lozano

São José do Rio Preto

2019

M538e

Méndez, Arturo Solis

Estudo das variáveis de reatores (raceway e vertical agitado) para produção de *Spirulina platensis* / Arturo Solis Méndez. -- São José do Rio Preto, 2019  
96 f. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Vanildo Luiz Del Bianchi

Coorientador: Denis Cantú Lozano

1. Raceway. 2. Vertical agitado. 3. *Spirulina platensis*. 4. Produção. 5. Variáveis. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ARTURO SOLIS MÉNDEZ

ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE REATORES (RACEWAY E  
VERTICAL AGITADO) PARA PRODUÇÃO DE *SPIRULINA*  
*PLATENSIS*

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de concentração – Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Comissão Examinadora

**Prof Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi**

UNESP – São José do Rio Preto

Orientador

**Profa. Dra. Gisele Ferreira Bueno**

UPSCIENCE LABS SOLUTIONS

**Profa. Dra. Gleyce Teixeira Correia**

UNILAGO – São José do Rio Preto

**Prof. Dr. Crispin Humberto Garcia Cruz**

UNESP – São José do Rio Preto

**Prof. Dr. Mauricio Bonatto Machado de Castilhos**

UEMG – Frutal

**Prof. Dr. Denis Cantú Lozano**

ITO – Orizaba, México

Coorientador (convidado)

São José do Rio Preto, SP

26 de abril de 2019

Aos meus pais Ernesto Solis e Rebeca Méndez, a minha segunda mãe Delfina Méndez, aos meus irmãos Ernesto e Oscar, e à companheira da minha vida Mariana Molina, vocês são o motivo pelo qual consigo me superar dia a dia. Com amor dedico este trabalho a vocês.

*A mis padres Ernesto Solis y Rebeca Méndez, a mi segunda madre Delfina Méndez, a mis hermanos Ernesto y Oscar, y a la compañera de mi vida Mariana Molina, ustedes son el motivo para superarme dia a dia. Con amor este trabajo es dedicado a ustedes.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, geralmente só quando precisamos ou estamos em apertos lembramos de Deus, dessa vez agradeço por me permitir chegar aqui e lograr mais um dos meus objetivos;

Aos meus pais, por ser meu exemplo na vida, ficar longe de vocês foi difícil, mas, mesmo na distancia, estiveram sempre comigo. Não existem palavras suficientes para expressar minha gratidão, Obrigado;

A minha segunda mãe e tia, muito obrigado pelo carinho, cuidado e amor, não tenho como agradecer tudo o que você fez por mim, te amo;

A minha companheira da vida, nossa trajetória longe de nosso país foi difícil, agradeço a ajuda nos momentos difíceis deste trabalho assim como a paciência, quero agradecer todos os momentos ao seu lado, tristezas, alegrias, brigas, risadas, aprendizados. Sem você não seria possível a conclusão do presente trabalho;

Aos meus irmãos, dou graças por tê-los como irmãos, obrigado pelo apoio, ajuda e confiança, vocês são meu exemplo de superação;

Ao meu Orientador e amigo o Professor Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi, pela oportunidade brindada para formar parte do LaBio, pela amizade, confiança, ajuda, conselhos, ensinamentos e demais que levo comigo e estarão presentes sempre. Obrigado por tudo professor;

Ao Professor Dr. Denis Cantú Lozano, pela confiança, ajuda, ensinamentos, orientação, dedicação e sugestões ao longo deste trabalho;

Aos meus amigos Guilherme Schuina, Samara Murari, Raul Fujihara, Wellington Umeda, Tiago Polachini, Elisa Ribeiro, Raphael Machado, Mariana Oliveira, Larissa Rocha, Jessica Gomes, Gisele Ferreira, Ariane Chiareli, Débora Niz, pela parceria, ajuda e amizade ao longo desse caminho cheio de aprendizado, vocês foram peça fundamental no desenvolvimento desta pesquisa. Obrigado muchachos;

Aos meus amigos no México, Enrique Alvarado, Guillermo Cardenas, Alejandra Urias, Marlene Vergara, Francisco Rojas, Angel Juarez, pela amizade e apoio;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001\*, à qual agradeço,

A todos os membros da banca que aceitaram gentilmente participar deste momento, e por suas sugestões que foram muito bem-vindas;

A todos que participaram direta ou indiretamente desta conquista.

Meus sinceros agradecimentos.



## RESUMO

O soro de queijo é um resíduo da indústria de laticínios altamente poluente, devido à elevada carga orgânica, medida pela DQO (Demanda Química de Oxigênio). É um resíduo que precisa ser tratado para uma posterior disposição no meio ambiente. A *Spirulina platensis* é capaz de diminuir a DQO do soro de queijo e produzir biomassa de alto valor agregado, além de outros subprodutos como clorofila, carotenoides e lipídios. A *Spirulina platensis* além da fonte de nutrientes, precisa de fatores físicos, como agitação, temperatura, luminosidade, tipo de reator (aberto ou fechado), para seu melhor crescimento. O objetivo deste trabalho foi analisar o crescimento da *Spirulina platensis* em diferentes reatores e condições de processo. Trabalhou-se com três tipos de reatores, frascos Erlenmeyer, “raceway” e verticais agitados, com diferentes tipos de iluminação (fluorescente, incandescente, LED tubular e LED fitas), intensidade de luz (alta e baixa), cores de luz (branca, azul, verde e vermelha), três velocidades de agitação (35, 78 e 114 rpm), assim como 2 tipos de agitadores (Rushton e hélice), stress de luz e diferentes áreas incididas (dimensões do reator). Determinou-se, o crescimento por meio da DO (densidade óptica) (560, 590 e 670 nm) e massa seca nos ensaios com solução padrão Schlösser. Nos ensaios com soro de queijo e com pré-tratamento, foi determinada a DQO ao longo do processo. Os resultados mostraram que os três comprimentos de onda representam o comportamento do crescimento da microalga, porém o resultado com maior absorção situa-se em 590 nm comprovado estatisticamente com o teste de ANOVA. Foi observado haver maior crescimento em solução padrão do que em soro de queijo em base na DO e quantidade de biomassa seca. Verificou-se que a cor de luz não influencia a remoção da DQO, no entanto, apresenta influência no crescimento da microalga. O reator “raceway” em batelada alimentada apresenta bons resultados de remoção da DQO, enquanto para produção de biomassa algal, recomenda-se um processo em batelada comum. Foi possível observar crescimento de biomassa algal no soro de queijo, representando uma boa alternativa para o tratamento e remoção da DQO com a microalga *Spirulina platensis*.

Palavras chave: Soro de queijo, *Spirulina platensis*, reator, cor de luz, agitação.

## ABSTRACT

Whey is a highly polluting waste of dairy industry, due to its highest organic load, measured by COD (Chemical Oxygen Demand). It is a waste that needs to be treated for a correct disposal in the environment, according to Brazilian standards. Microalgae *Spirulina platensis* is able to reduce organic load from whey and produce high value-added biomass, and others by-products such as chlorophyll, carotenoids and lipids. The microalgae need a source of nutrients and physical factors, such as agitation, temperature, luminosity, type of reactor (open or closed), for their better growth. The objective of this work was analyzing microalgae growth conditions. It worked with three types of reactors, Erlenmeyer flasks, raceway and vertical agitated, with different types of lighting (fluorescent, tubular LED and LED strips), light intensity (high and low), color light (blue, green, red and white), three speeds (35, 78 and 114 rpm), two kinds of geometry agitators (Rushton and propeller), light stress and different illuminated areas (reactor dimensions) analyzing the growth process by optical density (OD) (560, 590 and 670 nm) and dry biomass in tests with Schlösser standard medium. In tests with whey and whey pretreated, it was analyzed OD, dry biomass and COD throughout the process. The results shown that the three wavelengths represent microalgae growth behavior, and the result with highest light absorption was 590 nm, statistically proved by ANOVA test. The growth in standard solution is better than the observed in whey, in terms of DO and quantity of dry biomass. It was possible to correlate OD and dry biomass. It was observed that high luminosity produced photo-inhibition in the microalgae growth. It has been observed that color light source had no influence on COD removal; however, influenced the microalgae growth. Raceway reactor on feed batch process showed best results in the COD removal, while for algae biomass production it is recommended a common batch process. Thus, it can be observed that whey treatment with *Spirulina platensis* represents a good alternative for COD reduction.

Keywords: Whey, *Spirulina platensis*, reactor, light color, agitation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Morfologia da <i>Spirulina platensis</i> no microscópio (10x, 40x, 70x respectivamente) .....	21
Figura 2. Representação esquemática da produção de biomassa algal. Entradas e saídas potenciais. ....	24
Figura 3. Aspecto fundamental do ciclo de vida biológico da <i>Spirulina platensis</i> . ....	25
Figura 4. Estrutura química da clorofila a. ....	26
Figura 5. Lagoa e lagoa natural (lagoa Texcoco) .....	28
Figura 6. Exemplos de lagoa “raceway” .....	29
Figura 7. Reatores fechados em nível de laboratório .....	30
Figura 8. Valores de incidência de luz: iluminação lateral. ....	37
Figura 9. Valores de incidência de luz: iluminação central. ....	38
Figura 10. Valores de incidência de luz LED tubular <sup>a</sup> e esquema do reator em operação <sup>b</sup> . ....	39
Figura 11. Reator vertical agitado iluminado com fita LED .....	40
Figura 12. Geometrias das hélices usadas: agitador tipo <sup>a</sup> hélice (agitação axial), agitador tipo <sup>b</sup> Rushton (agitação radial), no reator vertical e <sup>c</sup> Roda de pás no reator “raceway” .....	41
Figura 13. Absorvância da <i>Spirulina platensis</i> em diferentes comprimentos de onda. ....	46
Figura 14. Densidades ópticas em 590 e 670 nm ajustadas em um polinômio .....	47
Figura 15. Densidade óptica versus massa seca 590(a) e 670(b) nm .....	48
Figura 16. Comparação do crescimento do meio Schlösser e soro de queijo nos comprimentos de onda de <sup>a</sup> 560, <sup>b</sup> 590 e <sup>c</sup> 670 nm .....	49
Figura 17. Comparação do crescimento, em massa seca, em solução Schlösser e em soro de queijo .....	50
Figura 18. Redução da DQO do soro de queijo: iluminação lateral .....	51
Figura 19. Comparação das densidades ópticas de 560, 590 e 670 nm, com a configuração na direita .....	52

Figura 20. Comportamento da massa seca durante o tempo de tratamento do soro de queijo, com iluminação lateral.....	54
Figura 21. Redução da DQO com três picos de alimentação, iluminação central.....	55
Figura 22. Aumento da massa seca e DO no reator “raceway”, iluminação central.....	56
Figura 23. Aumento na quantidade de carotenoides pelos níveis de irradiação. ....	57
Figura 24. Redução da DQO no “raceway” LED.....	58
Figura 25. Massa seca no “raceway” com luz LED.....	59
Figura 26. Consumo de DQO e DO no “raceway” LED (três alimentações).....	60
Figura 27. Aumento da massa seca no “raceway” com luz LED tubular.....	61
Figura 28. Redução da DQO do soro de queijo no crescimento da <i>Spirulina platensis</i> nos reatores agitados verticais em diferentes cores de luz (R1 branco, R2 azul, R3 verde e R4 vermelho).....	62
Figura 29. Comparação do aumento da biomassa seca de <i>Spirulina platensis</i> nos reatores com quatro sistemas diferentes de cores de luz ( <sup>a</sup> R1-Branca, <sup>b</sup> R2-Azul, <sup>c</sup> R3-Verde e <sup>d</sup> R4-Vermelho).....	64
Figura 30. Crescimento de biomassa seca de <i>Spirulina platensis</i> no R1 (luz branca) com meio soro de queijo com pré-tratamento.....	66
Figura 31. Crescimento de biomassa seca de <i>Spirulina platensis</i> no R2 (luz azul) com meio soro de queijo com pre-tratamento.....	67
Figura 32. Crescimento de biomassa seca de <i>Spirulina platensis</i> no R3 (luz verde) com meio soro de queijo com pre-tratamento.....	68
Figura 33. Crescimento de biomassa seca de <i>Spirulina platensis</i> no R4 (luz vermelha) com meio soro de queijo com pre-tratamento.....	69
Figura 34. Comparação do crescimento de <i>Spirulina platensis</i> com diferentes cores de luz (R1 branca, R2 azul, R3 verde e R4 vermelho).....	71
Figura 35. Biomassa de <i>Spirulina platensis</i> obtida nos reatores com intensidades alta e baixa para solução Schlösser.....	73

Figura 36. Biomassa de <i>Spirulina platensis</i> obtida nos reatores com intensidades alta e baixa para solução soro de queijo.....	74
Figura 37. DQO removida nas intensidades alta R3 e baixa R4.....	75
Figura 38. Comparação do crescimento de <i>Spirulina platensis</i> em diferentes velocidades de agitação.....	76
Figura 39. Comparação da biomassa de <i>Spirulina platensis</i> obtida com agitador tipo Rushton e hélice.....	77
Figura 40. Comparação do crescimento de <i>Spirulina platensis</i> com stress luminoso.....	78
Figura 41. Biomassa seca de <i>Spirulina platensis</i> produzida nos reatores com diferentes áreas superficiais.....	80
Figura 42. Biomassa seca de <i>Spirulina platensis</i> por área iluminada nos reatores com diferentes áreas superficiais.....	81
Figura 43. Biomassa de <i>Spirulina platensis</i> filtrada e Clorofila a extraída em acetona 90 %.....	84
Figura 44. Clorofila a durante o crescimento da <i>Spirulina platensis</i> com velocidade de agitação variável.....	85
Figura 45. Feofitina a durante o crescimento da <i>Spirulina platensis</i> com velocidade de agitação variável.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Conteúdo de ácidos graxos da <i>Spirulina platensis</i> .....	22
Tabela 2. Pigmentos de <i>Spirulina platensis</i> .....	23
Tabela 3. Principal produto obtido da produção de biomassa algal e algumas das áreas de aplicação. ....	33
Tabela 4. Meio padrão para cultivo de <i>Spirulina platensis</i> : Composição, por litro (de água destilada) .....	36
Tabela 5. Área iluminada e intensidade de luz fornecida nos reatores verticais. ....	42
Tabela 6. Análise de variância dos três comprimentos de onda durante o tempo de crescimento de biomassa .....	53
Tabela 7. Valores da redução da velocidade de consumo do substrato de <i>Spirulina platensis</i> em diferentes períodos de tempo. ....	63
Tabela 8. Dados analisados de eficiência de remoção de DQO pelo teste ANOVA.....	63
Tabela 9. Análise de variância e teste de Tukey dos sistemas iluminados com diferente cor de luz.....	65
Tabela 10. Dados do cultivo em soro de queijo com pré-tratamento, analisados pelo teste de ANOVA. ....	70
Tabela 11. Dados analisados da comparativa do crescimento com diferentes cores de luz com o teste de ANOVA .....	72
Tabela 12. Comparação da biomassa de <i>Spirulina platensis</i> obtida em cada reator e características de operação.....	82
Tabela 13. Valores máximos obtidos de biomassa seca nos diferentes reatores e nas diferentes condições usadas. ....	83
Tabela 14. Produção de Clorofila a, velocidade de produção e clorofila específica obtidos da biomassa de <i>Spirulina platensis</i> em diferentes velocidades de agitação. ....	85

Tabela 15. Produção de Feofitina a, velocidade de produção e feofitina específica obtidos da biomassa de <i>Spirulina platensis</i> em diferentes velocidades de agitação.....	87
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

<b>cm</b>	Centímetro
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>DO</b>	Densidade óptica
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxigênio
<b>g.L<sup>-1</sup></b>	Gramas por litro
<b>g.L<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup></b>	Velocidade de produção
<b>h</b>	Horas
<b>I</b>	Intensidade da luz transmitida através da suspensão de células.
<b>kg</b>	kilograma
<b>L</b>	Litro
<b>LED</b>	Light emitting diode
<b>LMT</b>	Limite Máximo Permissível
<b>Lx</b>	Lux (Unidade para a intensidade de luz)
<b>mL</b>	Mililitro
<b>nm</b>	Nanômetro
<b>P</b>	Produtividade (mgL <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
<b>p/v</b>	Concentração peso-volume
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>rpm</b>	Rotações por Minuto
<b>W</b>	Watt
<b>µm</b>	Micrómetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetros quadrados (Área)



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>19</b>
3.1 SORO DE QUEIJO	19
3.2 MICROALGAS	20
3.3 MICROALGA <i>SPIRULINA (ARTHROSPHIRA) PLATENSIS</i>	20
3.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA	24
3.4.1 FLOCULAÇÃO	25
3.4.2 CLOROFILA A	25
3.5 FOTOBIOREADORES	26
3.5.1 SISTEMAS ABERTOS	26
3.5.1.1 TIPOS DE READORES ABERTOS	27
3.5.2 SISTEMAS FECHADOS	29
3.6 MEIOS PARA O CRESCIMENTO DA <i>SPIRULINA PLATENSIS</i>	31
3.6.1 STRESS EM MICRO-ORGANISMOS	32
3.7 USO DAS MICROALGAS	33
3.8 TRATAMENTO DE RESÍDUOS ALTERNATIVOS NO CRESCIMENTO DA MICROALGA	34
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>36</b>
<b>4.1 MATERIAIS</b>	<b>36</b>
4.2 INOCULAÇÃO E OPERAÇÃO DOS READORES	37
4.2.1 FRASCOS ERLLENMEYER	37
4.2.2 REATOR “RACEWAY”	37
4.2.3 READORES VERTICAIS AGITADOS	39
4.3 DETERMINAÇÃO DE CLOROFILA A E FEOFITINA A	43
4.3.1 FILTRAÇÃO DA AMOSTRA	43
4.3.2 EXTRAÇÃO	43
4.3.3 CÁLCULO PARA A CORREÇÃO DA TURBIDEZ	44

4.4 ANÁLISE DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	45
4.5 ANÁLISES DE DADOS	45
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>46</b>
5.1 CRESCIMENTO DA MICROALGA <i>SPIRULINA PLATENSIS</i> (FRASCOS ERLERMAYER)	46
5.1.1 COMPARAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO DE <i>SPIRULINA</i> EM MEIO PADRÃO E EM SORO DE QUEIJO	48
5.2 CULTIVO DA MICROALGA EM REATOR TIPO “RACEWAY”	50
5.2.1 RACEWAY COM ILUMINAÇÃO LATERAL	50
5.2.2 “RACEWAY” ILUMINAÇÃO CENTRAL	54
5.2.3 “RACEWAY” LUZ LED	56
5.2.3.2 ENSAIO 2; COM CONTROLE DE PH	59
5.3 REATORES CILÍNDRICOS VERTICAIS	61
5.3.1 CULTIVO EM SORO DE QUEIJO	61
5.3.2 CULTIVO DE <i>SPIRULINA PLATENSIS</i> EM SORO DE QUEIJO COM PRÉ-TRATAMENTO	66
5.3.3 CULTIVO EM SOLUÇÃO PADRÃO SCHLÖSSER	70
5.3.3.2 VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DE LUZ	73
5.3.3.3 VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE AGITAÇÃO	75
5.3.3.4 VARIAÇÃO DO TIPO DE GEOMETRIA (AGITADOR)	77
5.3.7 ANÁLISES DO STRESS LUMINOSO	78
5.3.8 CULTIVO DE <i>SPIRULINA PLATENSIS</i> EM SOLUÇÃO PADRÃO SCHLÖSSER: VARIÁVEL ÁREA SUPERFICIAL COM INCIDÊNCIA DE LUZ	79
5.3.9 ANÁLISE GERAL	82
5.4 CLOROFILA A E FEOFITINA A	84
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>88</b>
<b>7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>91</b>

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Muitos efluentes podem conter grandes quantidades de material orgânico, o que pode representar um grave problema para o meio ambiente. Neste sentido podemos mencionar o soro de queijo, um líquido amarelo obtido da produção de queijo, altamente poluente devido a sua elevada DQO - Demanda Química de Oxigênio ( $70 \text{ g.L}^{-1}$ ) e DBO - Demanda Biológica de Oxigênio ( $50 \text{ g.L}^{-1}$ ). Na produção de cada kg de queijo são produzidos aproximadamente 9 L de soro de queijo. Devido à quantidade de nutrientes presentes, é capaz de ser metabolizado por determinados micro-organismos, por exemplo as microalgas, que podem utilizá-lo como fonte de carbono e energia, reduzindo assim a carga poluente deste resíduo.

As microalgas podem ser consideradas matéria-prima para produção de biolipídios, pois os materiais para a produção de biodiesel, que se obtém tradicionalmente a partir de plantas oleaginosas, como milho e soja, apresentam alto custo, pelo deslocamento dos alimentos destinados ao consumo humano. Em comparação com outros produtos de petróleo e matérias-primas, as microalgas podem apresentar uma alta produtividade biolipídica.

A microalga *Spirulina platensis*, uma cianobactéria filamentosa foto-autotrófica com alto valor nutricional, contém 18 dos 20 aminoácidos conhecidos, alta qualidade proteica, cálcio, vitaminas e minerais essenciais, como o ferro, e 4-7 % de lipídios é uma das maiores fontes de clorofila na natureza. Por tais características, tem sido utilizada como aditivo em alimentos e produtos farmacêuticos, e além disso não requer tratamentos especiais para a sua produção.

A possibilidade do uso da microalga *Spirulina platensis* no tratamento de efluentes, sendo possível a remoção da DQO e fósforo, além da produção de biomassa com alto conteúdo de lipídios, proteína e clorofila, pode ser considerada como uma alternativa para a diminuição do impacto ambiental gerado pela descarga de efluentes contendo grande quantidade de matéria orgânica em corpos receptores.

Geralmente o tratamento de efluentes convencional é feito no processo de digestão aeróbia ou anaeróbia com lodo ativado, que é uma massa microbiana em forma de flocos adaptada para realizar tal processo. Para efetuar o tratamento de efluentes de modo eficiente, é necessário escolher um reator com as melhores especificações para o crescimento do micro-organismo.

A produção da microalga *Spirulina platensis* depende do fornecimento de luz (intensidade, periodicidade, cor), da fonte de luz (solar, incandescente, fluorescente, LED), da agitação (velocidade, geometria do agitador, presença de chicanas), da disponibilidade de nutrientes, do pH, da densidade celular inicial e da temperatura, além da escolha entre reatores abertos (sistemas com alta probabilidade de contaminação) e fechados (que limita a quantidade de oxigênio transferido ao sistema pela atmosfera).

O principal interesse desse estudo é determinar as melhores condições para o crescimento da microalga, influência da iluminação (cor, stress ao fotoperíodo), agitação velocidade e geometria das hélices utilizadas em diferentes tipos de reatores no crescimento em meio padrão e soro de queijo, afim de reduzir o impacto ambiental do soro de queijo descartado pelas indústrias de laticínios, além de obter subprodutos, tais como lipídios, pigmentos e biomassa.

## 6. CONCLUSÕES

Dentre os três comprimentos de onda estudados (560, 590 e 670 nm), o melhor resultado de absorção, para avaliar o crescimento da microalga, foi em 590 nm. Mesmo apresentando menor crescimento da biomassa, o soro de queijo tem potencial para substituir o meio padrão Schlösser devido aos custos entre ambos;

A *Spirulina platensis* demonstrou ser um bom micro-organismo para tratar o resíduo soro de queijo, pois pode atingir valores de remoção de 90 %;

O processo de batelada alimentada é uma boa alternativa para a remoção da DQO, enquanto que para a produção de biomassa algal não é recomendado tal processo e sim um processo de batelada tradicional;

O reator “raceway”, por ser um sistema aberto, precisa de maior controle de pH. Uma alta luminosidade (5000-6000 Lx) produziu foto-inibição do crescimento da microalga em meio soro de queijo, originando uma biomassa de coloração laranja (carotenoides);

A agitação dos reatores verticais mostrou-se mais eficiente utilizando-se três agitadores tipo rushton de 4 cm e um, rente à base do biorreator, de 6 cm de diâmetro, que impediu a sedimentação da biomassa;

A cor de luz não faz diferença na remoção da DQO do soro de queijo, mas no crescimento da biomassa a diferença é significativa na luz vermelha e na luz azul não é recomendada para a obtenção de biomassa de *Spirulina platensis*;

O soro com pré-tratamento permite obter maior concentração de biomassa;

Na solução Schlösser a luz teve influência no crescimento da microalga. A luz branca foi a melhor opção para promover o maior crescimento da microalga, enquanto que a luz azul não é recomendada para o crescimento da microalga *Spirulina platensis*;

No reator vertical; a maior intensidade de iluminação se obtiveram melhores resultados de produção de biomassa em meio Schlösser, enquanto que para o meio soro de queijo não se observou variação significativa. A remoção da DQO não foi influenciada pela intensidade de luz;

A velocidade de agitação, mostrou que, à maior velocidade, foram produzidos maiores valores de biomassa;

O agitador Rushton (agitação radial) mostrou ser o mais eficiente para o crescimento da microalga, pois o processo apresentou menor tempo de fase lag e maior quantidade de biomassa produzida;

A variável stress de luz representa um efeito negativo para o crescimento da microalga;

Na variável área superficial, quanto maior área iluminada, maior o crescimento da microalga, porém a intensidade da luz foi um fator muito importante;

A temperatura influenciou o crescimento da *Spirulina platensis*, pois foram obtidos maiores valores de produtividade a 30 °C;

O melhor reator para o crescimento da microalga foi o vertical agitado com fitas LED (luz branca) com meio Schlösser;

Na maior velocidade de agitação se obteve maior concentração de Clorofila a, assim como de Feofitina a.

## REFERÊNCIAS

- ALLINGER, N. L. et al. **Química orgânica**. 2 ed. Barcelona, Espanha: Reverté, 1978.
- ALMEIDA, K. E. DE; BONASSI, I. A.; ROÇA, R. D. O. Características Físicas E Químicas De Bebidas Lácteas Fermentadas E Preparadas Com Soro De Queijo Minas Frescal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 187–192, 2001.
- ANDERSEN, R. A. Diversity of eukaryotic algae. **Biodiversity and Conservation**, v. 1, n. 4, p. 267–292, 1992.
- ANDRADE-LINARES, D. R.; LEHMANN, A.; RILLIG, M. C. Microbial stress priming: a meta-analysis. **Environmental Microbiology**, v. 18, n. 4, p. 1277–1288, abr. 2016.
- AVILA-LEON, I. et al. *Arthrospira platensis* biomass with high protein content cultivated in continuous process using urea as nitrogen source. **Journal of Applied Microbiology**, v. 112, n. 6, p. 1086–1094, 2012.
- BAO, Y. et al. An optical-density-based feedback feeding method for ammonium concentration control in *Spirulina platensis* cultivation. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 22, n. 7, p. 967–974, 2012.
- BEZERRA, R. P. et al. Influence of ammonium chloride feeding time and light intensity on the cultivation of *Spirulina (Arthrospira) platensis*. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 100, n. 2, p. 297–305, 2008.
- BOROWITZKA, M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. **Journal of Biotechnology**, v. 70, n. 1–3, p. 313–321, abr. 1999.
- CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. **Cheese whey wastewater: Characterization and treatment Science of the Total Environment**, 2013.
- CHAKDAR, H.; PABBI, S. Algal Pigments for Human Health and Cosmeceuticals. In: **Algal Green Chemistry**. Elsevier, 2017. p. 171–188.
- CHAUMONT, D. Biotechnology of algal biomass production: a review of systems for outdoor mass culture. **Journal of Applied Phycology**, v. 5, n. 6, p. 593–604, 1993.
- CHEN, H.-B. et al. Modeling on chlorophyll a and phycocyanin production by *Spirulina platensis* under various light-emitting diodes. **Biochemical Engineering Journal**, v. 53, n. 1, p. 52–56, dez. 2010.

CLESCERI, L. S. et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, 1998.

COLLA, L. M. et al. Production of biomass and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 7, p. 1489–1493, 2007.

CORDI, L. et al. Intumescimento filamentoso no processo de lodos ativados aplicado ao tratamento de soro de queijo : caracterização e uso de flocculantes para melhorar a sedimentabilidade bulking on the activated sludge process applied to the cheese whey. **Engenharia Ambiental - Espiritu Santo do Pinhal**, v. 4, n. 2, p. 26–37, 2007.

COSTA, J. A. V.; COLLA, L. M.; DUARTE FILHO, P. F. Improving *Spirulina platensis* biomass yield using a fed-batch process. **Bioresource Technology**, v. 92, p. 237–241, 2004.

COSTA, J. A V; COLLA, L. M.; FILHO, P. D. *Spirulina platensis* growth in open raceway ponds using fresh water supplemented with carbon, nitrogen and metal ions. **Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences**, v. 58, n. 1–2, p. 76–80, 2003.

DA RÓS, P. Avaliação de óleos de cianobactérias como matéria-prima lipídica para síntese de biodiesel pela rota etílica. Universidade de São Paulo, 2012.

DANESI, E. D. G. et al. Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, n. 4, p. 329–335, 2004.

DANESI, E. D. G. et al. Growth and content of *spirulina platensis* biomass chlorophyll cultivated at different values of light intensity and temperature using different nitrogen sources. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 42, p. 362–373, 2011.

DE ALENCAR, D. B. et al. Teores de  $\beta$ -caroteno em suplementos e biomassa de *Spirulina*. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 386–391, 2011.

DE CAIRE, G. et al. Effect of *Spirulina platensis* biomass on the growth of lactic acid bacteria in milk. **World J Microbiol Biotechnol**, v. 16, p. 563–5, 2000.

DEL CAMPO, J. A.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M.; GUERRERO, M. G. Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: Current state and perspectives. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 74, n. 6, p. 1163–1174, 2007.

FERREIRA, L. S. et al. *Arthrospira (Spirulina) platensis* cultivation in tubular



- photobioreactor: Use of no-cost CO<sub>2</sub> from ethanol fermentation. **Applied Energy**, v. 92, p. 379–385, 2012.
- FOLCH-MALLOL, J. L. et al. La respuesta a estrés en la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. **Revista Latinoamericana de Microbiología**, v. 46, n. 1–2, p. 24–46, 2004.
- HUARACHI-OLIVERA, R. et al. Adaptabilidad de *Spirulina (Arthrospira) platensis (Cyanophyta)* en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales. **Idesia (Arica)**, v. 33, n. 1, p. 103–112, fev. 2015.
- HYMAN, D. Mixing and Agitation. In: **Chemical Process Equipment**. p. 119–202.
- KAGEYAMA, H. et al. Osmoprotectant and Sunscreen Molecules From Halophilic Algae and Cyanobacteria. In: **Algal Green Chemistry**. Elsevier, 2017. p. 1–16.
- KETHEESAN, B.; NIRMALAKHANDAN, N. Development of a new airlift-driven raceway reactor for algal cultivation. **Applied Energy**, v. 88, n. 10, p. 3370–3376, 2011.
- KLEIN, B. C. **Cultivo de microalgas para produção de bioetanol de terceira geração**. Universidade Estadual de Campinas, 2013.
- KOLLER, M.; MUHR, A.; BRAUNEGG, G. Microalgae as versatile cellular factories for valued products. **Algal Research**, v. 6, n. PA, p. 52–63, 2014.
- MACEDO, R. V. T.; ALEGRE, R. M. Influência do teor de nitrogênio no cultivo de *spirulina maxima* em dois níveis de temperatura - parte II: produção de lipídios. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 183–186, 2001.
- MALASPINA, F. et al. Cheese whey and cheese factory wastewater treatment with a biological anaerobic-aerobic process. **Water Science and Technology**, v. 32, n. 12, p. 59–72, 1995.
- MARQUEZ, F. J. et al. Inhibitory effect of oxygen accumulation on the growth of *Spirulina platensis*. **Biotechnology Letters**, v. 17, n. 2, p. 225–228, 1995.
- MATSUDO, M. C. Cultivo de *Spirulina platensis* por processo descontínuo alimentado repetitivo utilizando uréia como fonte de nitrogênio. Universidade de Sao Paulo, 2006.
- MATSUDO, M. C. et al. Repeated fed-batch cultivation of *Arthrospira (Spirulina) platensis* using urea as nitrogen source. **Biochemical Engineering Journal**, v. 43, n. 1, p. 52–57, 2009.

- MENDONÇA, T. A. Carotenoides da microalga *Spirulina platensis*: obtenção e avaliação da atividade antioxidante. Universidade Federal da Bahia, 2014.
- MOLINA, E. et al. Tubular photobioreactor design for algal cultures. **Journal of Biotechnology**, v. 92, p. 113–131, 2001.
- MOLINA GRIMA, E. et al. Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. **Journal of Biotechnology**, v. 70, n. 1–3, p. 231–247, abr. 1999.
- MOLINA GRIMA, E. et al. Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics. **Biotechnology Advances**, v. 20, n. 7–8, p. 491–515, 2003a.
- MOLINA GRIMA, E. et al. Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics. **Biotechnology Advances**, v. 20, n. 7–8, p. 491–515, 2003b.
- MOURTHÉ, K. Obtenção de biomassa de *arthrospira platensis (spirulina)* utilizando do soro de leite. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
- MURARI, C. S. et al. Evaluation of the reduction in pollution of dairy products from whey fermentation in ethanol by yeast *Kluyveromyces marxianus* 229. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 393, p. 42–50, 2013.
- OLAIZOLA, M.; DUERR, E. O. Effects of light intensity and quality on the growth rate and photosynthetic pigment content of *spirulina-platensis*. **J Appl Phycol**, v. 2, p. 97–104, 1990.
- PADÍN, G. C.; DÍAS, F. M. Fermentacion alcoholica del lactosuero por *Kluyveromyces marxianus* y solventes organicos como extractantes. **Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiologia**, v. 29, n. 2, p. 110–116, 2009.
- PAOLETTI, C; PUSHPARAJ, B.; TOMASELLI, L. Ricerche sulla nutrizione minerale di *Spirulina platensis*. In: CONGRESSO NAZIONALE DELLA
- PONSANO, E. H. G.; PINTO, M. F.; GOMEZ, R. J. H. C. Soro de leite- Obtenção, Características e Aproveitamento: Revisao. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 92–96, 1992.
- RAHMAN, A.; MILLER, C. D. Microalgae as a Source of Bioplastics. In: **Algal Green Chemistry**. Elsevier, 2017. p. 121–138.
- RAJESH, K.; ROHIT, M. V.; VENKATA MOHAN, S. Microalgae-Based Carotenoids Production. In: **Algal Green Chemistry**. Elsevier, 2017. p. 139–147.
- RAVELONANDRO, P. H. et al. Influence of light quality and intensity in the

cultivation of *Spirulina platensis* from Toliara (Madagascar) in a closed system. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 83, n. 6, p. 842–848, jun. 2008.

RAVELONANDRO, P. H. et al. Improvement of the growth of *Arthrospira (Spirulina) platensis* from Toliara (Madagascar): Effect of agitation, salinity and CO<sub>2</sub> addition. **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, n. 3, p. 209–216, jul. 2011.

RICHMOND, A. **Handbook of Microalgal Culture**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2003.

RICHMOND, A.; GROBBELAAR, J. U. Factors affecting the output rate of *Spirulina platensis* with reference to mass cultivation. **Biomass**, v. 10, n. 4, p. 253–264, 1986.

SÁNCHEZ, M. et al. *Spirulina (arthrospira)*: an edible microorganism: a review. **Universitas Scientiarum**, v. 8, n. 1, p. 7–24, 2003.

SCHLOSSER, U. G. Sammlung von Algenkulturen. **Ber. Deutsm. Bot. Ges. Bd.**, v. 95, n. 1, p. 181–276, 1982.

SONANI, R. R.; RASTOGI, R. P.; MADAMWAR, D. Natural Antioxidants From Algae. In: **Algal Green Chemistry**. Elsevier, 2017. p. 91–120.

TAKACHE, H. et al. Experimental and theoretical assessment of maximum productivities for the microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* in two different geometries of photobioreactors. **Biotechnology Progress**, v. 26, n. 2, 2009.

UDAYAN, A.; ARUMUGAM, M.; PANDEY, A. Nutraceuticals From Algae and Cyanobacteria. In: **Algal Green Chemistry**. Elsevier, 2017. p. 65–89.

VIEIRA COSTA, J. A. et al. Modelling of *Spirulina platensis* growth in fresh water using response surface methodology. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 18, n. 7, p. 603–607, 2002.

VIEIRA COSTA, J. A.; COLLA, L. M.; DUARTE FILHO, P. F. Improving *Spirulina platensis* biomass yield using a fed-batch process. **Bioresource Technology**, v. 92, n. 3, p. 237–241, 2004.

VONSHAK, A. Microalgae: laboratory growth techniques and the biotechnology of biomass production. In: **Photosynthesis and Production in a Changing Environment**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. p. 337–355.

VONSHAK, A. *Spirulina platensis (Arthrospira)*: Physiology, Cell-biology and Biotechnology. Taylor & Francis, 2002.

WALTER, A. et al. Study of phycocyanin production from spirulina platensis under different light spectra. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 4, p. 675–682, 2011.

WANG, C. Y.; FU, C. C.; LIU, Y. C. Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis*. **Biochemical Engineering Journal**, v. 37, n. 1, p. 21–25, 2007.

ZARROUK, C. Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch. Et. Gardner) Geitler. Paris. Tese de Doutorado –Universidade de Paris, 1966.