

## VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO SOBRENADANTE DE CULTIVO ALGAL COMO FERTIRRIGANTE

DOI: 10.19177/rgsa.v9e0l20201057-1072



**Mateus Torres Nazari**<sup>1</sup>

**Janaina Mazutti**<sup>2</sup>

**Luciane Maria Colla**<sup>3</sup>

**Jeferson Stefanello Piccin**<sup>4</sup>

**Pedro Domingos Marques Prietto**<sup>5</sup>

### RESUMO

Vários métodos podem ser empregados para realizar a etapa de colheita das microalgas, sendo a centrifugação um dos mais utilizados. Nessa separação sólido-líquido, a biomassa é encaminhada às etapas subsequentes, enquanto que o sobrenadante geralmente é descartado. A fim de buscar uma forma de reutilização desse efluente, este trabalho objetivou verificar a fitotoxicidade do sobrenadante proveniente de cultivos algais, a fim de utilizá-lo como fertirrigante. Para tanto, um planejamento experimental fatorial completo 2<sup>3</sup> com adição de 5 pontos centrais foi realizado, totalizando 13 experimentos. Os fatores analisados foram: volume de sobrenadante (50%, 75% e 100%); temperatura (20 °C, 25 °C e 30 °C) e; fotoperíodo (12h, 15h e 18h). A variável resposta foi o índice de germinação (IG) de sementes de pepino, obtida através de ensaios de fitotoxicidade. Maiores IG foram obtidos nas menores concentrações de sobrenadante e de temperatura. Contudo, inibições

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Passo Fundo. [nazari.eas@gmail.com](mailto:nazari.eas@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Passo Fundo. [janainamazutti@gmail.com](mailto:janainamazutti@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos. Universidade de Passo Fundo. [lmcolla@upf.br](mailto:lmcolla@upf.br)

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Química. Universidade de Passo Fundo. [jefersonpiccin@upf.br](mailto:jefersonpiccin@upf.br)

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Civil. Universidade de Passo Fundo. [pdmp@upf.br](mailto:pdmp@upf.br)

severas e moderadas também foram observadas através do IG, inferindo que, em determinadas condições, o sobrenadante apresenta características fitotóxicas ao bioindicador testado. Ainda, verificou-se que o fator fotoperíodo não apresentou efeito principal e de interação sobre a variável resposta, o que justifica a desconsideração desse fator em estudos posteriores. Com isso, é possível fixar o fotoperíodo no nível mais baixo (12 h), o que diminui o consumo de energia e se aproxima ao tempo de fotoperíodo para aplicação real. Por fim, a análise SWOT destacou aspectos relacionados à sustentabilidade dessa prática, justificando a necessidade de desenvolver mais pesquisas que possam contribuir pro conceito de biorefinarias integradas.

**Palavras-chave:** Microalgas. Fitotoxicidade. Bioindicador. Análise SWOT.

## **ALGAL CULTURE SUPERNATANT AS A FERTIGATION TO INCREASE THE SUSTAINABILITY OF THIRD GENERATION BIOFUEL PRODUCTION**

### **ABSTRACT**

Several methods can be used to carry out the microalgae harvest stage, with centrifugation being one of the most used. In this solid-liquid separation, the biomass goes to the subsequent steps, while the supernatant is usually discarded. In order to seek a way to reuse this effluent, this study aimed to verify the phytotoxicity of the supernatant from algal cultures, in order to use it as a fertigation agent. To do so, a complete factorial experimental design  $2^3$  with the addition of 5 central points was performed, totaling 13 experiments. The factors analyzed were: volume of supernatant (50%, 75% and 100%); temperature (20 °C, 25 °C and 30° C) and; photoperiod (12h, 15h and 18h). The response variable was the germination index (IG) of cucumber seeds, obtained through phytotoxicity tests. Higher IGs were obtained at lower concentrations of supernatant and temperature. However, severe and moderate inhibitions were also observed through the IG, inferring that, under certain conditions, the supernatant presents phytotoxic characteristics to the bioindicator tested. Also, it was found that the photoperiod factor did not have a main interaction effect on the response variable, which justifies the disregard of this factor in future studies. Thus, it is possible to fix the photoperiod at the lowest level (12 h), which reduces energy consumption and get photoperiod time for real application. Finally, the SWOT analysis highlighted aspects related to the sustainability of this practice, justifying the need to develop studies to contribute to the concept of integrated biorefineries.

**Keywords:** Microalgae. Phytotoxicity. Bioindicator. SWOT analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis apresentam-se como uma alternativa aos combustíveis fósseis em função de aspectos econômicos, ambientais e de segurança energética (ZABED et al., 2019). Com base na natureza da biomassa e nas técnicas de conversão, os biocombustíveis podem ser classificados como sendo de primeira (1G), segunda (2G), terceira (3G) ou quarta geração (4G) (DEMIRBAS, 2009).

Os biocombustíveis de primeira geração podem ser produzidos a partir de diferentes matérias primas, como: açúcar, amido, gorduras de animais, soja, milho, cana-de-açúcar, beterraba sacarina, sorgo, batata, óleo de palma, canola, mandioca, mamona, entre outros. Já os de segunda geração são provenientes de culturas não alimentares, palha de trigo, madeira, palha de cereais, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos florestais, resíduos sólidos urbanos. Os 3G são gerados através de algas, leveduras, fungos e cianobactérias (RUAN et al., 2019).

Em comparação às outras fontes de energia, as microalgas são consideradas uma alternativa promissora para a produção de biocombustíveis, uma vez que apresentam uma série de vantagens, tais como: ausência de competição com a produção de alimentos por terras agricultáveis, maior produção de energia por área em relação as culturas convencionais, possibilidade de cultivo em água do mar ou em efluentes, alto rendimento de óleo etc (SU et al., 2017; SARATALE et al., 2018; REMPEL et al., 2019; RUAN et al., 2019).

Contudo, autores relatam algumas desvantagens que o biocombustíveis de terceira geração possuem, das quais pode-se citar: dificuldade de processo e colheita da biomassa algal, alto custo de processamento, inviabilidade comercial, entre outros (RUAN et al., 2019). Além disso, a literatura destaca que, dentre todas as etapas de processo, a colheita das microalgas é a mais onerosa, representando de 20 a 30% do custo total de produção (BARROS et al. 2015; ALAM et al., 2016; SINGH; PATIDAR, 2018). Essa etapa consiste na separação das microalgas do meio líquido em que foram cultivadas. Para tanto, algumas técnicas são utilizadas para separar a biomassa do meio de cultivo (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2012).

A centrifugação realiza a separação sólido-líquido por meio da força centrípeta (PRATIWI et al., 2019), sendo aplicável a todos os tamanhos de microalgas (RAY et al., 2019), o que explica sua grande utilização. Após a separação, a biomassa algal segue para as etapas subsequentes de produção de biocombustíveis, enquanto que a fração líquida (sobrenadante), geralmente, é descartada como um efluente. No intuito de aumentar a sustentabilidade desse processo em um contexto de biorefinaria integrada, deve-se buscar alternativas para reaproveitamento desse efluente. Uma das formas seria empregar o sobrenadante da centrifugação na fertirrigação.

A fertirrigação é amplamente recomendada pelos órgãos ambientais devido à sua eficiência e contribuição à promoção da sustentabilidade (GUEVARA et al., 2018). Na fertirrigação, o efluente tende a se tornar um fertilizante em virtude de suas concentrações de nutrientes, como carbono e nitrogênio. Por conseguinte, menos fertilizantes químicos seriam necessários para adubação do solo. Ademais, uma menor quantidade de água seria consumida em função da fertirrigação. Tais aspectos tornam ainda mais sustentável a geração de biocombustíveis de terceira geração.

No entanto, em cultivos algais é comum que, em certos estágios do crescimento, as microalgas produzam toxinas, podendo ser amônia, polipeptídeos ou polissacarídeos fisiologicamente ativos (SLADE; BAUEN, 2013). Assim, no caso da fertirrigação, os elementos tóxicos presentes no efluente podem acarretar na fitotoxicidade, o que inviabiliza sua utilização como fertirrigante, visto que podem causar um efeito contrário ao esperado, inibindo o crescimento das plantas.

Uma das técnicas utilizadas para determinar o potencial fitotóxico de compostos e efluentes é a análise fitotoxicidade (MENDES et al., 2016; GERBER et al., 2017; GUEVARA et al., 2018). Esse bioensaio pode ser realizado com uso de sementes (bioindicadores), que possuem a vantagem de serem de fácil implementação, rapidez na resposta, viabilidade econômica, entre outras (CHARLES et al., 2011). Nessa análise, a redução do índice de germinação (IG) das sementes é a resposta biológica negativa esperada para determinar o efeito fitotóxico ocasionado pelo composto ou efluente analisado (GUEVARA et al., 2018).

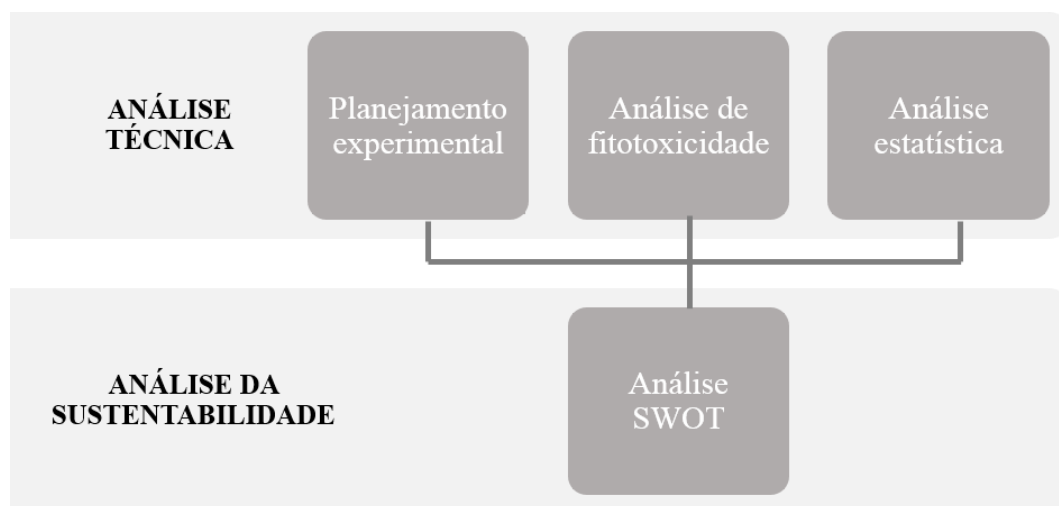
Embora existam muitos estudos focados na otimização da produção de combustíveis de terceira geração, pouco é discutido sobre o efluente deste processo e sua possibilidade de reutilização. Portanto, este trabalho teve como objetivo verificar

a viabilidade técnica da utilização do sobrenadante de cultivos algais como fertirrigante e analisar sua contribuição para a sustentabilidade dos biocombustíveis de terceira geração.

## 2 METODOLOGIA

Neste estudo duas análises foram realizadas, como apresenta a Figura 1. Primeiramente, uma análise da viabilidade técnica da prática foi conduzida em três etapas, contemplando um planejamento dos experimentos, a análise de fitotoxicidade e por fim, uma análise estatística dos resultados. Posteriormente, uma análise da sustentabilidade da prática foi realizada com o auxílio da matriz SWOT.

Figura 1: Etapas metodológicas.



Elaborado pelos autores.

### 2.1 Análise técnica

O método de fitotoxicidade foi realizado para analisar a influência da utilização do sobrenadante proveniente de cultivo algal sobre o desenvolvimento germinativo de sementes de pepino, conforme o método realizado por Mendes et al. (2016), Gerber et al. (2017) e Guevara et al. (2018). Esse sobrenadante era oriundo de um cultivo da microalga *Phormidium sp.*, cultivada em meio Zarrouk (1966), diluído a 50% com água destilada. Os cultivos foram mantidos em biorreatores fechados de 2 L com volume útil de 1,8 L, em câmaras de germinação com fotoperíodo de 12 horas (claro/escuro), a 30 °C, sendo a fonte de luminosidade lâmpadas de LEDs de 8000 K e agitação

realizada por injeção de ar. A concentração de biomassa quando o meio foi centrifugado era de 1,6 g/L.

Este trabalho seguiu um planejamento fatorial do tipo 2<sup>k</sup>, em que três fatores (k = 3) são submetidos a dois níveis de variação (níveis fatoriais), com a adição de um ponto central. Este delineamento resulta, portanto, em 9 diferentes tratamentos, com repetições apenas no ponto central (n = 5), totalizando 13 experimentos realizados de forma aleatória. A Tabela 1 apresenta os níveis reais e codificados utilizados para cada fator, juntamente com os pontos centrais, representados pelo valor intermediário entre os níveis fatoriais.

Tabela 1: Delineamento experimental: níveis reais e codificados (entre parênteses) dos fatores.

Fatores	Níveis fatoriais		Ponto central
Volume	50% (-1)	100% (+1)	75% (0)
Temperatura	20°C (-1)	30°C (+1)	25°C (0)
Fotoperíodo	12h (-1)	18h (+1)	15h (0)

Elaborado pelos autores.

Para a incubação das sementes foram utilizadas placas de Petri. Cada placa teve seu fundo coberto com papel filtro, sobre o qual foram colocadas 10 sementes do bioindicador escolhido que, neste caso, foram de pepino (*Cucumis sativus*). As sementes foram organizadas na placa com auxílio de uma pinça, de modo a ficarem bem distribuídas. Após isso, foram transferidos os volumes do sobrenadante (com ou sem adição de água destilada) em cada placa.

O sobrenadante foi analisado em três volumes, sendo: 100%, 75% e 50%. Para o volume de 100%, com auxílio de uma pipeta graduada, foram retirados 5 mL do sobrenadante e transferidos para suas respectivas placas. Já no volume de 50%, a amostra foi diluída com água destilada (2,5 mL de sobrenadante + 2,5 mL de água destilada). Por fim, no volume de 75%, foram adicionados 3,75 mL de sobrenadante e 1,25 mL de água destilada. O mesmo processo foi realizado para o chamado “controle”, no qual inseriu-se 5 mL de água destilada em cada placa, ao invés do sobrenadante puro ou diluído.

Ao final, as placas foram vedadas com Parafilm e, em seguida, colocadas em estufa incubadora por 48 horas, a 20 °C, 25 °C e 30 °C, conforme estabelecido no planejamento experimental. Após o período de 48 horas, as placas foram retiradas da

estufa incubadora para verificar a quantidade de sementes germinadas e realizar a medição de suas radículas com o auxílio de um paquímetro digital.

Por fim, aplicaram-se as equações apresentadas na sequência. A germinação relativa das sementes (GR), alongamento relativo de radícula (AR) e o índice de germinação (IG) foram calculados segundo as Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

Equação 1 – Determinação da germinação relativa das sementes (%)

$$GR (\%) = \left( \frac{NSGS}{NSGC} \right) * 100$$

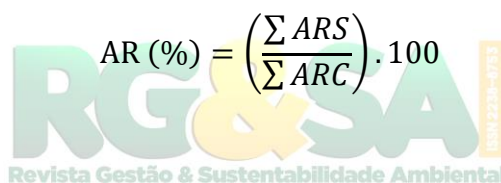
Onde:

GR (%): Germinação relativa (em porcentagem);

NSGS: Número de sementes germinadas nas placas com sobrenadante;

NSGC: Número de sementes germinadas no grupo controle.

Equação 2 – Determinação do alongamento relativo das sementes (%)


$$AR (\%) = \left( \frac{\sum ARS}{\sum ARC} \right) * 100$$

Onde:

AL (%): Alongamento relativo da radícula (em porcentagem);

ARS: Alongamento das radículas no sobrenadante;

ARC: Alongamento das radículas no controle.

Equação 3 – Determinação do índice de germinação (%)

$$IG (\%) = (GR * AR) / 100$$

Onde:

IG (%): Índice de Germinação (em porcentagem);

GR (%): Germinação relativa (em porcentagem);

AR (%): Alongamento relativo da radícula (em porcentagem).

O índice de germinação obtido para cada tratamento foi comparado com os parâmetros estipulados pela bibliografia (BELO, 2011).



## 2.2 Análise de sustentabilidade

A análise SWOT aborda quatro aspectos, Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats, no português conhecidos como Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças. Junto disso, identifica a relevância de fatores internos e externos. Os fatores internos são as Forças e Fraquezas do projeto enquanto que os fatores externos representam as Oportunidades e Ameaças ocasionadas pelo ambiente externo.

Esta análise é uma ferramenta muito empregada no planejamento estratégico, sendo explorada em diferentes áreas do conhecimento (YUAN, 2013; BELL; ROCHFORD, 2016; PHADERMROD et al., 2019). Neste estudo, sua abordagem é voltada para a análise da relação da prática em estudo com os aspectos de viabilidade econômica, impactos ambientais e desenvolvimento social.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análise técnica



Os resultados da análise de fitotoxicidade destacam a ampla variação no índice de germinação (IG) das sementes. De forma geral, o sobrenadante proveniente do cultivo da microalga *Phormidium sp.* provocou inibição severa (40-60%) e inibição moderada (60-80%) no desenvolvimento das sementes, de acordo com os valores de referência propostos por Belo (2011). Contudo, foram obtidos IG acima de 80%, indicando que alguns tratamentos não possuem efeitos fitotóxicos sobre o bioindicador testado (MENDES et al., 2016; GERBER et al., 2017; GUEVARA et al., 2018).

O menor valor observado foi um IG de 44%, indicando que o tratamento 3 (50% de volume, 30 °C e 12h) provocou inibição severa no desenvolvimento das sementes (BELO, 2011). Por outro lado, o melhor desempenho foi obtido no experimento 10 (75% de volume, 25 °C e 15h), registrando um IG de 96%. Isso evidencia que, dependendo das condições em que os ensaios de germinação foram realizados, o sobrenadante apresentou valores satisfatórios para ser empregado na



fertirrigação. A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para os diferentes tratamentos testados.

Tabela 2: Índices de germinação obtidos a partir dos tratamentos propostos pelo planejamento experimental.

Experimento	Níveis Reais (V/T/F)*	N° de Sementes Germinadas	∑ Comprimento Radicular (mm)	GR (%)	AR (%)	IG (%)
1	50/20/12	10	75,6	100	83,8	83,9
2	100/20/12	8	50,7	80	56,2	45,0
3	50/30/12	9	118,1	90	49,1	44,2
4	100/30/12	9	188,9	90	78,5	70,7
5	50/20/18	10	60,0	100	73,5	73,5
6	100/20/18	10	53,5	100	65,5	65,5
7	50/30/18	10	157,2	100	74,9	74,9
8	100/30/18	10	153,1	100	72,9	72,9
9	75/25/15	10	155,9	100	79,5	79,5
10	75/25/15	10	187,5	100	95,6	95,6
11	75/25/15	10	159,4	100	81,3	81,3
12	75/25/15	10	162,4	100	82,8	82,9
13	75/25/15	10	153,9	100	78,5	78,5

Elaborado pelos autores.

\*: Valores apresentados na coluna representam os níveis reais de volume (V), temperatura (T) e fotoperíodo (F)

O planejamento experimental 2<sup>3</sup> com adição de pontos centrais foi proposto com a finalidade de identificar quais dos três fatores analisados (volume de sobrenadante, temperatura e fotoperíodo) tinham efeito significativo sob o índice de germinação do bioindicador escolhido. Além de analisar os efeitos principais, o planejamento escolhido permitiu verificar a existência de efeitos de interação entre os fatores, bem como verificar a existência de uma possível não linearidade (teste de curvatura).

Inicialmente, a tabela ANOVA foi gerada com nível de significância ( $\alpha$ ) de 5% e intervalo de confiança (IC) de 95%. Contudo, foi observado que uma interação entre dois fatores seria significativa ( $p=0,075$ ), se o nível de significância e o intervalo de confiança fossem menos rigorosos. Dessa forma, o trabalho foi realizado com nível de significância de 10% e intervalo de confiança de 90%.

Alguns autores relatam a possibilidade de trabalhar com um menor rigor analítico. Fontes e Vianna (2009) utilizaram um nível de significância de 10% em seu estudo, justificando que isso aumentaria a sensibilidade do estudo para encontrar

associações entre as características estudadas. Diante disso, foi gerada uma nova tabela ANOVA (Tabela 3).

Tabela 3: Tabela ANOVA de efeitos principais e de interação para o IG ( $\alpha = 0,1$ ; IC = 90%).

Fator	Somatório dos quadrados (SQ)	Graus de liberdade	Média quadrada	F	P
<b>Curvatura</b>	<b>915,203</b>	<b>1</b>	<b>915,2031</b>	<b>7,236485</b>	<b>0,043295</b>
(1) Volume	61,859	1	61,8589	0,489117	0,515511
(2) Temperatura	3,228	1	3,2277	0,025522	0,879327
(3) Fotoperíodo	233,102	1	233,1016	1,843128	0,232642
<b>(1) pelo (2)</b>	<b>636,264</b>	<b>1</b>	<b>636,2637</b>	<b>5,030918</b>	<b>0,074935</b>
(1) pelo (3)	0,732	1	0,7318	0,005786	0,942316
(2) pelo (3)	64,350	1	64,3504	0,508817	0,507552
Erro	632,353	5	126,4707		
Total SQ	2547,091	12			

ANOVA;  $R^2 = 0,75174$ ;  $R^2$  adj = 0,40416  
Elaborado pelos autores.

A partir da Tabela 3, foi observado um efeito significativo para a curvatura ( $p < 0,1$ ), o que evidencia que os resultados experimentais se ajustariam melhor a um modelo não linear e que um modelo quadrático explicaria de forma mais adequada o fenômeno estudado.

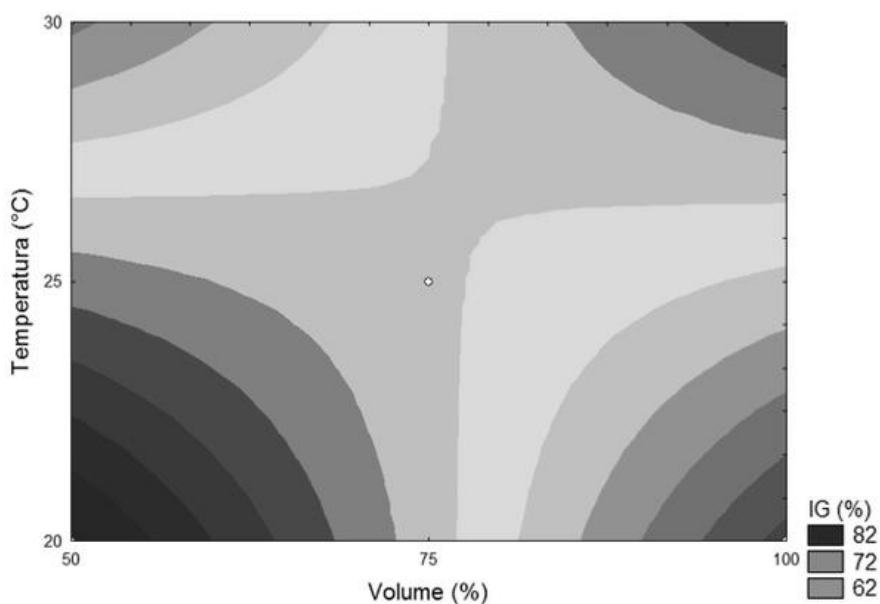
Após a curvatura, o segundo fator mais importante sobre o índice de germinação foi a interação de dois fatores, volume e temperatura ( $p = 0,07$ ), que foi mais significativa que os seus respectivos efeitos principais. Somente a aquisição dessa informação justifica o uso de planejamento fatorial completo de experimentos sobre o procedimento convencional, visto que essa informação jamais teria sido obtida em uma otimização univariada.

Em vista de que o fator fotoperíodo não apresentou efeitos significativos principais e nem de interação, um novo planejamento poderia ser realizado sem considerar esse fator. Tal situação é interessante em termos de custos de processo e até de aplicação real. Uma vez que os diferentes níveis de fotoperíodo testados não apresentaram efeito significativo, pode-se fixar o tempo de fotoperíodo em 12 horas,

o qual consome menos energia e, assim, diminui o custo de processo, ao passo que, numa aplicação real, se adequa ao fotoperíodo natural que, em média, é 12 horas.

A Figura 2 apresenta o gráfico de contorno para os fatores volume e temperatura. As diferenças de cores indicam a variação dos fatores no índice de germinação das sementes, onde é possível observar melhores resultados de IG no canto inferior esquerdo do gráfico, quando os fatores volume e temperatura foram testados nos menores níveis.

Figura 2: Gráfico de contorno dos fatores volume e temperatura ( $p < 0,1$ ).



Elaborado pelos autores.

A partir da análise do gráfico acima propõe-se um novo experimento por meio de um deslocamento de planejamento. Um  $2^2$  com adição de pontos centrais e axiais, logo um planejamento composto central rotacional (DCCR). Os fatores a serem avaliados seriam volume e temperatura (variáveis independentes). Dentre as duas possibilidades de deslocamento de planejamento, a única possível de ser desenvolvida é aquela em que se reduzirá o volume e temperatura, visto que o deslocamento para a outra região é inviável, pois não seria viável transformar o nível mais alto (+1) do fator volume em um ponto central e nem adicionar pontos axiais, em vista de que ele era 100% do volume.

### 3.2 Análise de sustentabilidade

Os aspectos abordados na análise SWOT (Fig. 3) foram identificados pelos autores com base nos seus conhecimentos sobre o processo em estudo e também em função dos aspectos previamente abordados pela literatura.

Figura 3: Análise SWOT da utilização de sobrenadante de cultivos algais como fertirrigante.

<b>Ambiente interno</b>	<b>FORÇAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Integração entre campos de pesquisa</li><li>- Expansão de um campo de pesquisa</li><li>- Sustentabilidade no processo de geração de biocombustíveis de 3ª geração</li><li>- Contribuição para o processo de biorefinaria integrada</li></ul>	<b>FRAQUEZAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Potencial fitotóxico do sobrenadante</li><li>- Necessidade de otimização da técnica</li><li>- Falta de incentivo econômico, regulatório e tecnológico</li></ul>
<b>Ambiente externo</b>	<b>OPORTUNIDADES</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Redução do uso de fertilizantes químicos para adubação do solo</li><li>- Redução do uso de água potável na irrigação agrícola</li><li>- Melhora quali-quantitativa do rendimento de colheitas</li><li>- Amenização da problemática do desequilíbrio entre demanda e abastecimento de água</li><li>- Diminuição dos custos da produção de biocombustíveis de 3ª geração</li></ul>	<b>AMEAÇAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Resultados da aplicação real diferente do esperado</li><li>- Demanda maior que oferta</li><li>- Dificuldade de aplicação em larga escala</li><li>- Possíveis inconvenientes à saúde pública e ao meio ambiente em função da fitotoxicidade não controlada</li><li>- Possibilidade de salinização de solo</li><li>- Possibilidade de favorecer processos de eutrofização</li></ul>

Elaborado pelos autores.

No contexto interno, inerente ao processo, esta prática é capaz de integrar diferentes campos de pesquisa, conectando os estudos em produção de biocombustíveis com os estudos em reaproveitamento de efluentes. Ambos os campos de pesquisa podem ser expandidos. Além disso, ao se estudar uma forma de reaproveitamento do efluente proveniente da produção de combustíveis de terceira geração, também está sendo promovida a sustentabilidade neste processo. Em contraponto, os pontos fracos da prática são principalmente vinculados à necessidade de otimização da técnica e falta de incentivos para estes estudos.

Quanto a aplicação real da técnica, sabe-se que a utilização da fertirrigação tende a ocasionar uma melhora quali-quantitativa do rendimento da colheita em relação a prática convencional (SINGANDHUPE et al., 2003). Além disso, o uso de águas residuais para irrigação é visto como uma solução para tratar a problemática do desequilíbrio entre a demanda e o abastecimento de água (GUEVARA et al., 2018). Contudo, existem ameaças que podem surgir a partir da fertirrigação. Por fazer uso

de águas residuais que, geralmente, possuem altas concentrações de nutrientes, estas podem favorecer processos de eutrofização, além de que podem conter elementos tóxicos que podem causar inconvenientes à saúde pública e ao meio ambiente (BECERRA-CASTRO et al., 2015). Nesse sentido, deve-se ponderar sobre a viabilidade em diferentes aspectos.

#### **4 CONCLUSÕES**

A partir deste trabalho foi possível verificar que o sobrenadante proveniente do cultivo da microalga *Phormidium sp* apresentou índices de germinação distintos, que variaram de não fitotóxico até causar inibição severa no bioindicador testado.

Através do gráfico de contorno observou-se a existência de duas regiões com melhores resultados de IG, sendo que os maiores índices foram obtidos nos níveis mais baixos de volume de sobrenadante (50%) e temperatura (20°C). Também foi possível constatar que o fator fotoperíodo não apresentou efeito principal e de interação sobre a variável resposta. Sendo assim, essa variável pode ser desconsiderada em estudos posteriores. Ao fixar esse fator no nível baixo (12 h), haverá um menor consumo de energia e, conseqüentemente, ocorrerá uma diminuição do custo geral de processo. Ao passo que, numa aplicação real, é adequado ao tempo de fotoperíodo natural.

Por fim, a análise SWOT destacou aspectos relacionados à sustentabilidade da utilização do sobrenadante na fertirrigação, com suas implicações diretas no consumo de água, de energia, de fertilizantes e na redução dos custos de produção dos biocombustíveis de terceira geração. Todos estes aspectos justificam o incentivo ao desenvolvimento de pesquisas que visam contribuir para a sustentabilidade na perspectiva de biorefinarias integradas.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a CAPES pelas bolsas de mestrado concedidas e a Universidade de Passo Fundo pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALAM, M.A., VANDAMME, D., CHUN, W., ZHAO, X., FOUBERT, I., WANG, Z.E YUAN, Z., 2016. Bioflocculation as an innovative harvesting strategy for microalgae. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology** 15 (2016) 573-583.
- BARROS, A.I., GONÇALVES, A.L., SIMÕES, M.E., PIRES, J.C.M., 2015. Harvesting techniques applied to microalgae: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 41 (2015) 1489-1500.
- BECERRA-CASTRO, C., LOPES, A.R., VAZ-MOREIRA, I., SILVA, E.F., MANAIA, C.M. E NUNES, O.C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment international** 75 (2015) 117-135.
- BELL, G.G., ROCHFORD, L., 2016. Rediscovering SWOT's integrative nature: A new understanding of an old framework. **The International Journal of Management Education** 14 (2016) 310-326.
- BELO, S.R.S., 2011. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 79f. Dissertação de Mestrado - Universidade de Coimbra, Coimbra.
- CHARLES, J., SANCEY, B., MORIN-CRINI, N., BADOT, P.M., DEGIORGI, F., TRUNFIO, G. E CRINI, G., 2011. Evaluation of the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. **Ecotoxicology and environmental safety** 74 (2011) 2057-2064.
- DEMIRBAS, M.F., 2009. Biorefineries for biofuel upgrading: a critical review. **Applied Energy** 86 (2009) S151-S161.
- FONTES, A.C.D., VIANNA, R.P.T., 2009. Prevalência e fatores associados ao baixo nível de atividade física entre estudantes universitários de uma universidade pública da região Nordeste-Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia** 12 (2009) 20-29.
- GERBER, M.D., LUCIA JR, T., CORREA, L.B., NETO, J.E.P. E CORREA, É.K., 2017. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators. **Science of the Total Environment** 592 (2017) 86-90.
- GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C., SIALVE, B., BERNET, N., STEYER, J.P., 2012. Impact of microalgae characteristics on their conversion to biofuel. Part I: Focus on cultivation and biofuel production. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining** 6 (2012) 105-113.

GUEVARA, M.D.F., MELLO, A.G., CORRÊA, E.K., GUEDES, H.A.S., CORRÊA, L.B. E NAZARI, M.T., 2018. Fitotoxicidade em águas residuárias domésticas utilizando sementes como bioindicadores. **Revista DAE** 67 (2018) 44-51.

MENDES, P.M., BECKER, R., CORRÊA, L.B., BIANCHI, I., DAI PRÁ, M.A., LUCIA JR, T., CORRÊA, E.K., 2016. Phytotoxicity as an indicator of stability of broiler production residues. **Journal of environmental management** 167 (2016) 156-159.

PHADERMROD, B., CROWDER, R.M., WILLS, G.B., 2019. Importance-performance analysis based SWOT analysis. **International Journal of Information Management** 44 (2019) 194-203.

PRATIWI, D.M., BUDIMAN, A., SUPRABA, I., SUYONO, E.A., 2019. Comparison of the Effectiveness of Microalgae Harvesting with Filtration and Flocculation Methods in WWTP ITDC Bali. **International Journal of Environmental and Science Education** 14 (2019) 1-12.

RAY, M., KUMAR, N., KUMAR, V., NEGI, S., BANERJEE, C., 2019. Microalgae: A Way Forward Approach Towards Wastewater Treatment and Bio-Fuel Production. In: **Applied Microbiology and Bioengineering** Academic Press 229-243.

REMPEL, A., SOSSELLA, F.S., MARGARITES, A.C., ASTOLFI, A.L., STEINMETZ, R.L.R., KUNZ, A., COLLA, L.M., 2019. Bioethanol from *Spirulina platensis* biomass and the use of residuals to produce biomethane: an energy efficient approach. **Bioresource technology** 288 (2019) 121588.

RUAN, R., ZHANG, Y., CHEN, P., LIU, S., FAN, L., ZHOU, N. E ANDERSON, E., 2019. Biofuels: Introduction. In: **Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels** Academic Press 3-43.

SARATALE, R.G., KUMAR, G., BANU, R., XIA, A., PERIYASAMY, S. E SARATALE, G.D., 2018. A critical review on anaerobic digestion of microalgae and macroalgae and co-digestion of biomass for enhanced methane generation. **Bioresource technology** 262 (2018) 319-332.

SINGANDHUPE, R.B., RAO, G.G.S.N., PATIL, N.G., BRAHMANAND, P.S., 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.). **European journal of agronomy** 19 (2003) 327-340.

SINGH, G., PATIDAR, S.K., 2018. Microalgae harvesting techniques: a review. **Journal of environmental management** 217 (2018) 499-508.



SLADE, R., BAUEN, A., 2013. Micro-algae cultivation for biofuels: cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. **Biomass and bioenergy** 53 (2013) 29-38.

SU, Y., SONG, K., ZHANG, P., SU, Y., CHENG, J., CHEN, X., 2017. Progress of microalgae biofuel's commercialization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 74 (2017) 402-411.

YUAN, H., 2013. A SWOT analysis of successful construction waste management. **Journal of Cleaner Production** 39 (2013) 1-8.

ZABED, H.M., AKTER, S., YUN, J., ZHANG, G., AWAD, F.N., QI, X. E SAHU, J.N., 2019. Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 105 (2019) 105-128.

ZARROUK, C., 1966. **Contribution a l'étude d'une cyanophycée. Influence de diverses facteures physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch. et Gardner) Geitler.** Thes. Doct. Sci. Appl. Fac. Sci. Univ. Paris.

