

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC

ESTUDO DE MODELOS ALGÉBRICO-DIFERENCIAIS NA
BIOFIXAÇÃO DE CARBONO DURANTE O
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS UTILIZANDO
MICROALGAS

Estudo de modelos matemáticos para biofixação de carbono no crescimento de microalgas

Área do conhecimento: Engenharias
Subárea do conhecimento: Engenharia Química
Especialidade do conhecimento: Processos Químicos e Biotecnológicos

Relatório Final
Período da bolsa: de setembro de 2021 a agosto de 2022
Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica

PIBIC/COPEs

Orientador: Rogério Luz Pagano
Autor: Pedro Henrique Rocha Oliveira dos Santos

SUMÁRIO

- 1. Introdução**
- 2. Objetivos**
- 3. Metodologia**
- 4. Resultados e Discussão**
- 5. Conclusões**
- 6. Perspectivas**
- 7. Referências bibliográficas**
- 8. Outras atividades**

1. Introdução

O lançamento contínuo de gases de efeito estufa vem se tornando um problema ambiental cada vez mais urgente e demanda por grandes esforços para ser resolvido. Atualmente, sabe-se que os principais gases do efeito estufa são vapor d'água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluocarbonos (CFC's) e Ozônio (O₃) (BARRY; CHORLEY, 2009). Em relação ao CO₂, o mesmo representa a maior porcentagem dentre os gases já citados, historicamente houve um exorbitante aumento em sua concentração na atmosfera quando, de acordo com os dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a concentração de CO₂ foi alavancada de 318 ppm em meados de 1960 até 413 ppm em 2020. Desse aumento de 30% a principal fonte de emissão antropogênica é a queima de combustíveis fósseis, uma vez que sua participação relativa continuou a aumentar de 1950 até o presente. As emissões antropogênicas ocorrem no topo de um ciclo natural que circula o componente químico entre os reservatórios da atmosfera, oceanos e biosfera terrestre, o qual ocorre em escalas de tempo muito mais longas se comparadas com as atividades humanas (FRIEDLINGSTEIN *et al.*, 2022).

Em vista do problema ambiental apresentado e do efeito protagonista do CO₂ em sua raiz, a biofixação de CO₂ por microalgas apresenta-se como uma alternativa para reduzir a concentração desse gás na atmosfera concomitantemente gera créditos de carbono a ser comercializado entre empresas. Por sua alta taxa de crescimento e alta eficiência fotossintética (3 – 8%) em comparação com as plantas terrestres (0,5%), a microalga pode ser utilizada como uma promissora tecnologia de mitigação de carbono (KUMAR *et al.*, 2011). Além disso, as microalgas podem converter rapidamente o CO₂ em alguns produtos valiosos como proteínas, carboidratos, gorduras e ácidos graxos (ANJOS *et al.*, 2013).

Efluentes cotidianos com altas concentrações de CO₂ incluem gases de combustão (indústrias de cimento, usinas de carvão, usinas de caldeiras de biomassa), biogás e processos de fermentação alcoólica, percebe-se então a conveniência da mitigação de CO₂ em alguns desses efluentes através de microalgas (SALDARRIAGA *et al.*, 2020). Contudo, a fim de garantir os melhores resultados possíveis, tais como

crescimento ideal da microalga, consumo de substrato e projeto eficiente do meio de cultura, é necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos algébrico-diferenciais com o intuito de modelar o comportamento da espécie em determinadas condições.

No presente estudo foi considerado o trabalho de Saldarriaga *et al* (2020), que utiliza um fotobiorreator de coluna de bolhas para o crescimento de microalgas não-axênicas provindas de lixiviados de aterros sanitários e considera a transferência de massa de CO₂ da fase gasosa para a fase líquida, o efeito da intensidade da luz, a concentração de nitrogênio assimilado, a concentração de amônio e a concentração de nitrato no crescimento das espécies. Através da utilização da DASSL (PETZOLD, 1982), uma subrotina programada na linguagem computacional FORTRAN, foi possível a adequação computacional do modelo e a mensuração de 6 variáveis que dependem do tempo, dentre elas a concentração de biomassa (em g · L⁻¹) e a concentração de nitrogênio capaz de virar aminoácidos (mg · L⁻¹), tudo isso sob diferentes concentrações de CO₂ (5, 10, 20 e 30% do ar) (SALDARRIAGA *et al.*, 2020).

Além disso, para aplicação direta no mercado foi adicionada uma equação que resulta no potencial de crédito de carbono gerado pela biomassa estimada. Créditos de carbono são certificados emitidos à empresa que diminui sua emissão de gases do efeito estufa, visto que uma tonelada de gás não emitida corresponde a um crédito de carbono, este acaba por se tornar uma moeda comercializável e passível de ser vendida aos países que precisam diminuir sua emissão de gases poluentes mas não conseguiram atingir as metas estabelecidas.

2. Objetivos

Objetivo Geral:

- Aplicar a modelagem matemática para descrever o processo cinético da biofixação do gás carbônico por microalgas do tipo *Chlorella vulgaris* no tratamento de águas residuais.

Objetivos Específicos:

- Estudar diferentes modelos matemáticos da literatura que sejam aplicados para descrever a cinética de biofixação do gás carbônico a partir de microalgas;
- Aplicar a subrotina DASSL para resolver o modelo matemático proposto;
- Estimar os parâmetros cinéticos do modelo matemático escolhido utilizando dados experimentais provenientes da literatura;
- Realizar estudos de viabilidade econômica para a venda de créditos de carbono a partir da absorção do gás carbônico pelas microalgas em águas residuais.

3. Metodologia

Saldarriaga *et al* (2020) construiu um modelo composto por 6 equações diferenciais e 6 equações algébricas. Após algumas adaptações e considerações para garantir uma escrita fluida na linguagem FORTRAN, as equações diferenciais podem ser apresentadas:

$$\frac{dC_{G,CO_2}}{dt} = \frac{F_G}{V_G} \cdot (C_{G,CO_2,IN} - C_{G,CO_2}) - \frac{V_L}{V_G} \cdot K_L a \cdot (C_{L,CO_2}^* - C_{L,CO_2}) \quad (1)$$

$$\frac{dC_{L,CO_2}}{dt} = K_L a \cdot (C_{L,CO_2}^* - C_{L,CO_2}) - \frac{\mu}{Y_{X/CO_2}} \cdot X \quad (2)$$

$$\frac{dC_{L,NO_3}}{dt} = -q_{S,NO_3} \cdot X \quad (3)$$

$$\frac{dC_{L,NH_4}}{dt} = -(q_{S,NO_3} - q_{S,NH_4}) \cdot X \quad (4)$$

$$\frac{dC_N}{dt} = -\frac{\mu}{Y_{X/N}} \cdot X \quad (5)$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (6)$$

Além dessas, as equações algébricas podem ser descritas da seguinte forma:

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{C_N}{K_{S,N} + C_N + \frac{(C_N)^2}{K_{i,N}}} \cdot \frac{K_{DIC,X}}{K_{DIC,X} + C_{DIC}} \cdot \frac{I_{ave}}{K_{S,I} + I_{ave}} \quad (7)$$

$$q_{S,NO3} = q_{max,NO3} \cdot \frac{C_{L,NO3}}{K_{S,NO3} + C_{L,NO3}} \cdot \frac{K_{NH4}}{K_{NH4} + C_{L,NH4}} \cdot \frac{K_{DIC,NO3}}{K_{DIC,NO3} + C_{L,CO2}^*} \quad (8)$$

$$q_{S,NH4} = q_{max,NH4} \cdot \frac{C_{L,NH4}}{K_{S,NH4} + C_{L,NH4} + \frac{(C_{L,NH4})^2}{K_{i,NH4}}} \cdot \frac{K_{DIC,NH4}}{K_{DIC,NH4} + C_{L,CO2}^*} \quad (9)$$

$$m = \frac{H_{CO2}}{1 + \frac{K_{a,1}}{10^{-pH}} + \frac{K_{a,1} \cdot K_{a,2}}{10^{-2 \cdot pH}}} \quad (10)$$

$$C_{L,CO2}^* = \frac{C_{G,CO2}}{m} \quad (11)$$

$$Y_{X/N} = -1928,41 + 555,97 \cdot pH + 6,17 \cdot N_{ini} - 38,63 \cdot pH^2 - 1,22 \cdot pH \cdot N_{ini} + 0,01 \cdot N_{ini}^2 \quad (12)$$

A nomenclatura e a unidade das variáveis e constantes (assim como os valores dessas constantes) referentes às equações apresentadas encontram-se na Nomenclatura do trabalho.

Neste estudo, dois valores que oscilam em intervalos nos experimentos laboratoriais, pH e N_{ini} tiveram suas médias consideradas constantes para a resolução das equações. Como já mencionado anteriormente, frisa-se a necessidade de adequar algumas das equações originais do modelo a fim de obter um procedimento computacional coerente.

A partir da leitura de trabalhos presentes na literatura, como o de Yuan *et al.* (2020), o de Quinn *et al.* (2011) e o de Hsueh *et al.* (2009), percebe-se que em nenhum deles há a análise dos créditos de carbono gerados pela captura de CO₂. Deste modo além das 12 equações demonstradas houve a adição de mais uma equação algébrica, caracterizando o modelo estudado como algébrico-diferencial de índice igual a um. A Equação 13 descreve o crescimento do potencial de crédito de carbono característico

da concentração de biomassa simulada.

$$C_C = 3,64 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 80 \cdot 10^{-3}) \cdot 8 \cdot P_{CO_2} \quad (13)$$

na qual C_C é a quantidade de créditos de carbono simulados (em reais) e P_{CO_2} é a porcentagem de CO_2 presente na biomassa (10% nesse trabalho)

Com essas 13 equações e os dados das constantes à disposição, utilizou-se a DASSL, subrotina numérica na linguagem FORTRAN para a resolução do modelo algébrico-diferencial de primeiro índice, o que gerou um arquivo no formato “.dat” com a evolução das variáveis no decorrer do tempo.

4. Resultados e Discussão

Algumas considerações a cerca do modelo de Saldarriaga *et al* (2020) foram feitas antes de iniciar a modelagem. Desse modo, uma equação originalmente utilizada para determinar o valor da constante H_{CO_2} foi descartada, enquanto que seu valor foi buscado na literatura e admitido como sendo igual a $34 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{atm}^{-1}$. As simulações foram efetuadas com o valor de $C_{G,CO_2,IN} = C_{G,CO_2}$ considerado como 5%, 10%, 20% e 30% da concentração de CO_2 presente no ar ($415 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

Com o propósito de resolver o sistema algébrico-diferencial, é necessário fornecer as condições iniciais das variáveis diferenciais, portanto, foram fornecidas 7 condições iniciais e seus valores estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições iniciais consideradas para a resolução do modelo.

Variável [Unidade]	Valor inicial (valor quando $t = 0$)
C_C [R\$]	0
C_{G,CO_2} [$\text{mg}(CO_2) \cdot \text{L}^{-1}$]	$2,075 \cdot 10^1$; $4,15 \cdot 10^1$; $8,3 \cdot 10^1$ e $12,45 \cdot 10^1$



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

$C_{L,CO_2} [mg(CO_2) \cdot L^{-1}]$	1,0
$C_{L,NH_4} [(N - NH_4^+) \cdot L^{-1}]$	26
$C_{L,NO_3} [mg(N - NO_3^-) \cdot L^{-1}]$	32
$C_N [mg(N) \cdot L^{-1}]$	6,07
$X [g \cdot L^{-1}]$	$80 \cdot 10^{-3}$

Na tabela acima, o valor de C_{G,CO_2} varia a depender do caso mas sempre é igual ao valor de $C_{G,CO_2,IN}$, uma vez que a concentração de CO_2 em fase gasosa no fotobiorreator inicialmente é a mesma concentração de CO_2 em fase gasosa presente no fluxo de entrada. O valor de C_N foi obtido através de uma relação do volume total do consórcio de microalgas não-axênico (considerado como sendo uma esfera de raio com tamanho homogêneo e raio igual a $3,67 \mu m$) e o fato de 39,5% do consórcio ser proteína.

Com as condições iniciais devidamente explicitadas em código, a DASSL resolveu o sistema de equações algébrico-diferenciais de índice um e o arquivo de texto foi gerado. Desse arquivo retirou-se a alteração das variáveis diferenciais com o tempo e as Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 foram geradas considerando diferentes valores para $C_{G,CO_2,IN} = C_{G,CO_2}$.

Figura 1 – Evolução temporal de C_C para diferentes valores iniciais de C_{G,CO_2} .

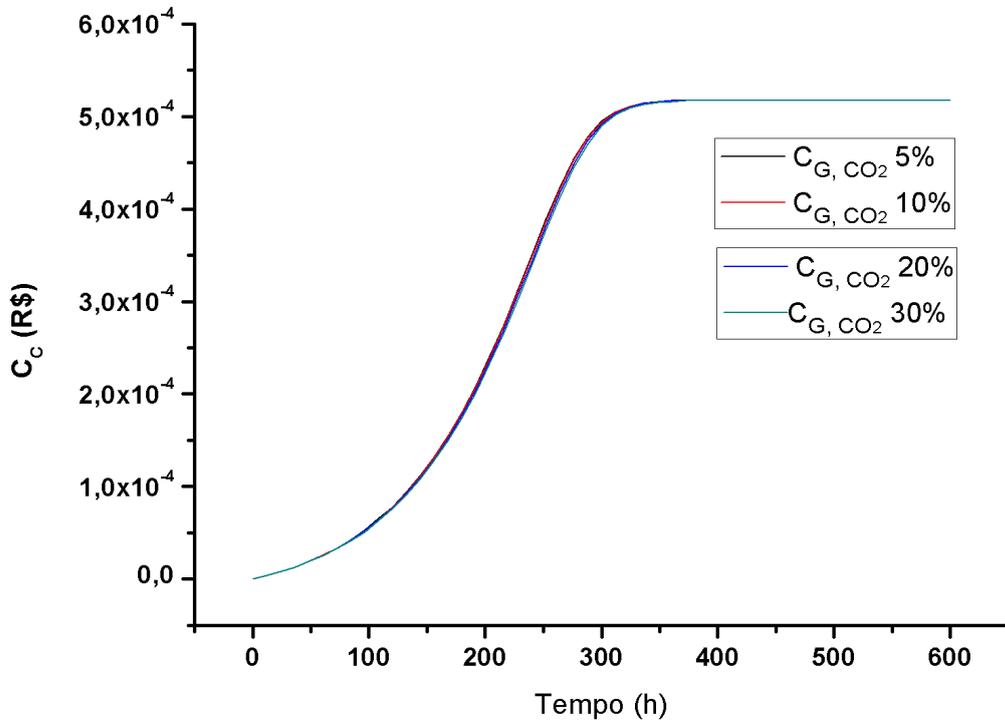


Figura 2 – Evolução temporal da C_{G,CO_2} para diferentes valores iniciais da mesma.

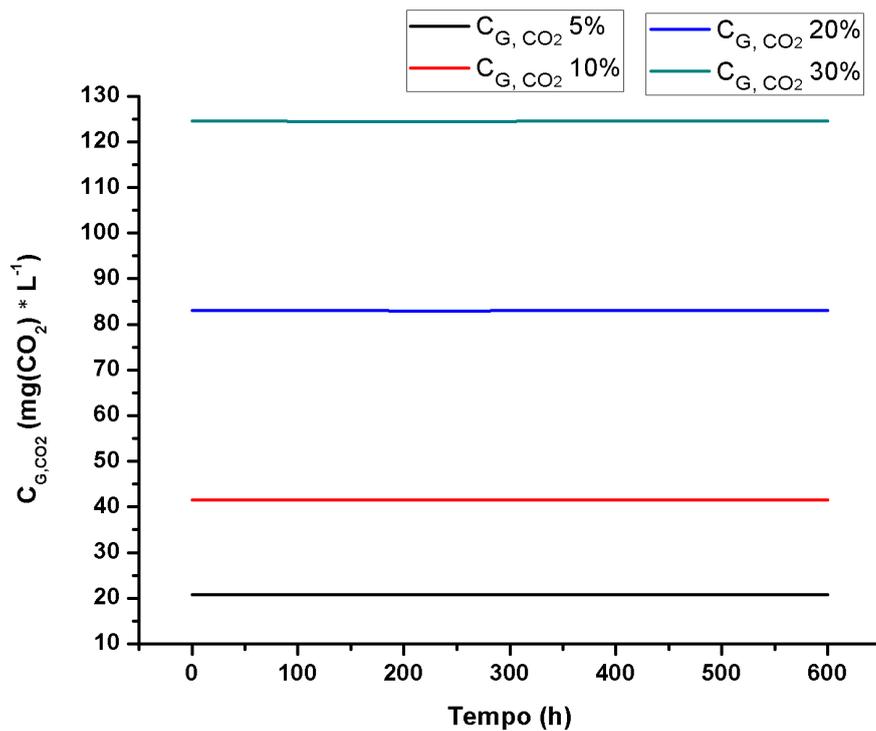


Figura 3 – Evolução temporal da C_{L,CO_2} para diferentes valores iniciais de C_{G,CO_2} .

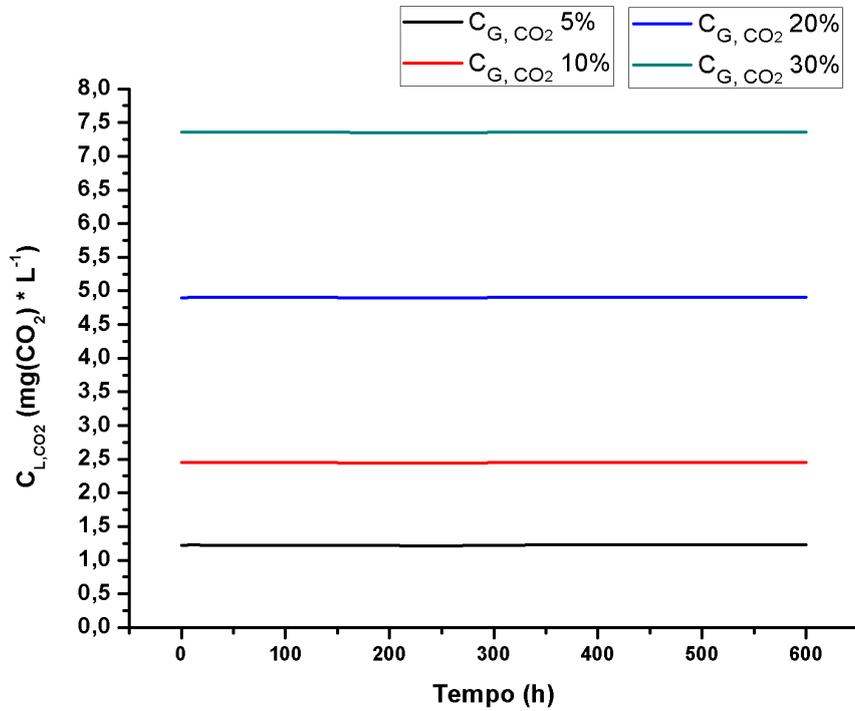


Figura 4 – Evolução temporal da C_{L,NH_4} para diferentes valores iniciais de C_{G,CO_2} .

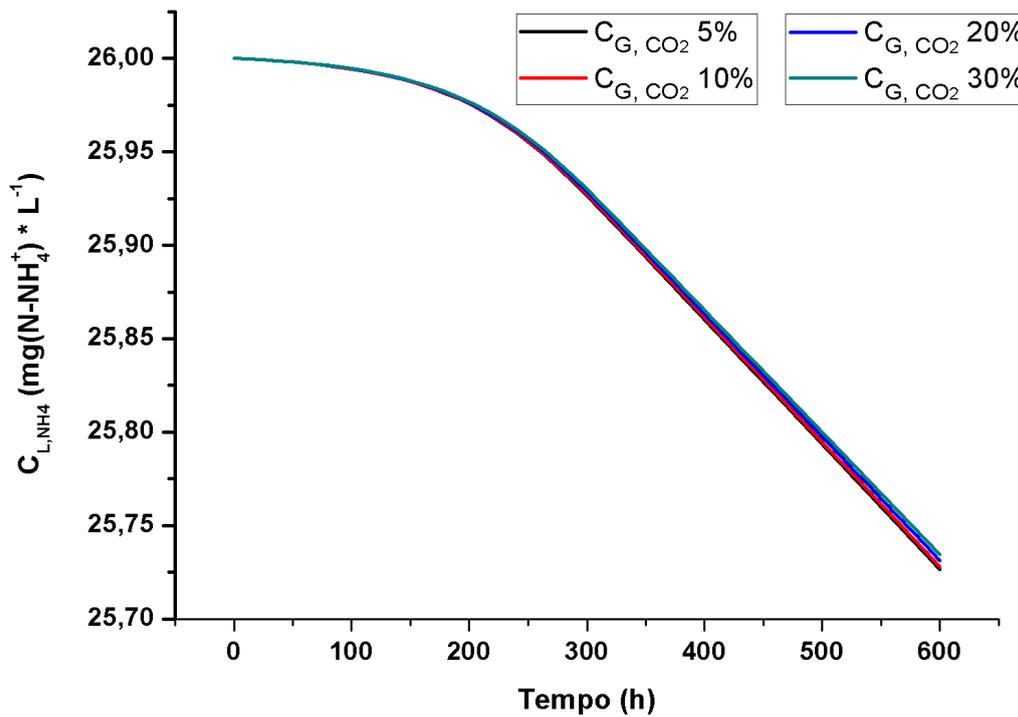


Figura 5 – Evolução temporal da C_{L,NO_3} para diferentes valores iniciais de C_{G,CO_2} .

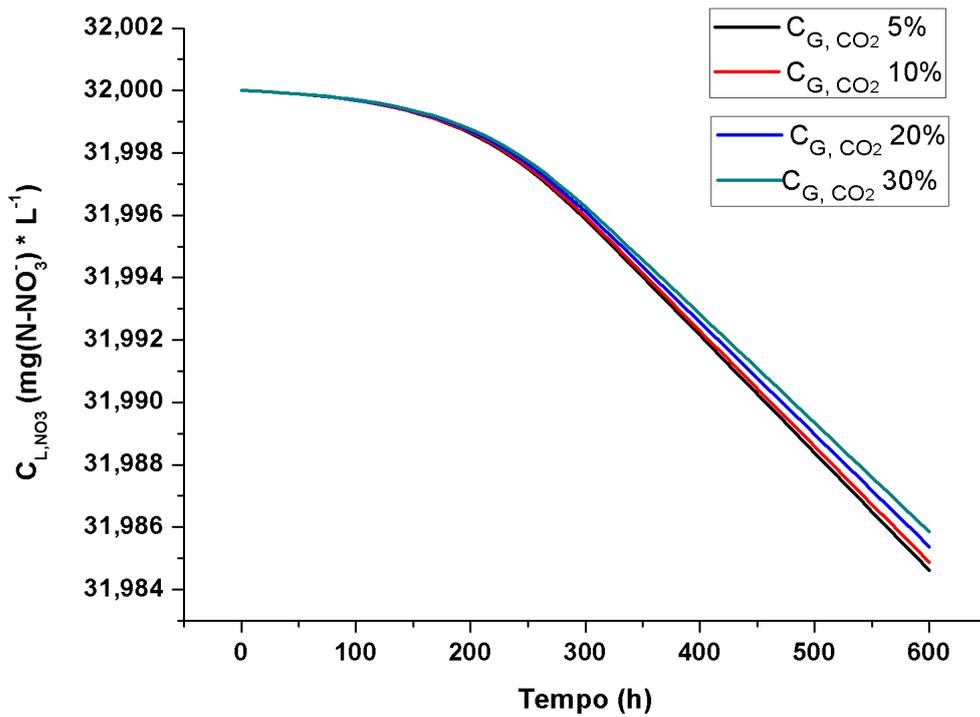


Figura 6 – Evolução temporal da C_N para diferentes valores iniciais de C_{G,CO_2} .

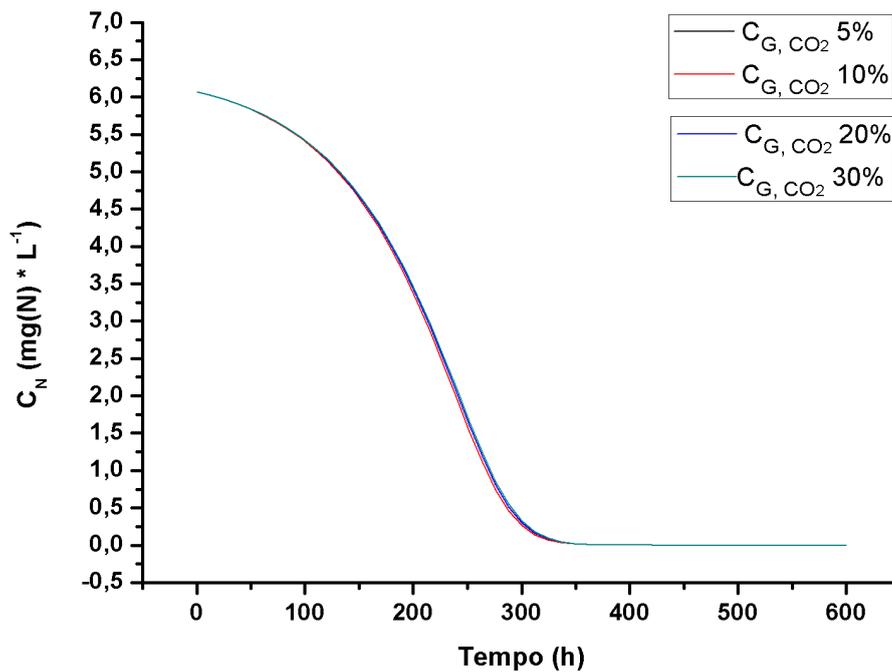
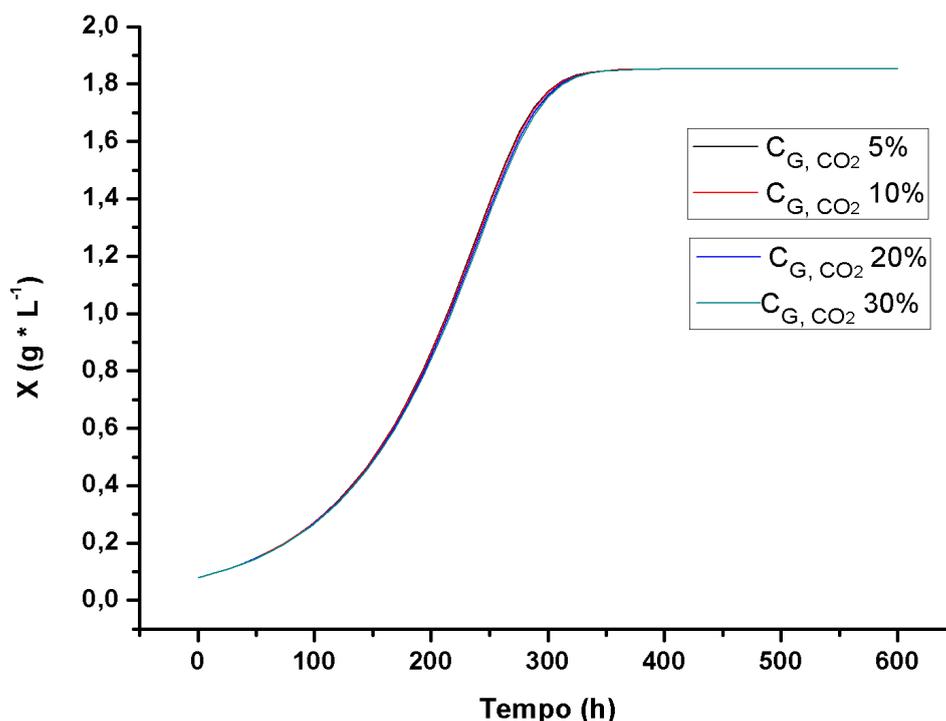


Figura 7 – Evolução temporal de X para diferentes valores iniciais de C_{G,CO_2} .



Nas Figuras 2, 4 e 5 nota-se que as concentrações das espécies C_{G,CO_2} , C_{L,NH_4} e C_{L,NO_3} respectivamente, não sofreram grande alteração durante a simulação. Tal comportamento era esperado para o C_{G,CO_2} , pois o mesmo tende ao equilíbrio com sua fase líquida. No entanto, há discordância em relação ao que era esperado para as concentrações de nitrato e amônio, uma vez que, de acordo com Saldarriaga *et al* (2020) e Welles *et al* (2015) as mesmas deveriam diminuir até alcançar o valor de $0 \text{ mg}(N) \cdot L^{-1}$ e teriam seus máximos valores em $19 \text{ mg}(N) \cdot L^{-1}$ e $13,49 \text{ mg} \cdot L^{-1}$. Em relação às Figuras 1, 3, 6 e 7, as suas respectivas variáveis demonstram o comportamento esperado. Vale ressaltar que a modelagem atinge seu fim quando a concentração de C_N (Figura 6) chega a 0, uma vez que não há mais condições para o crescimento da microalga. Por outro lado, o valor máximo simulado para a biomassa da microalga (Figura 7) é condizente com o valor encontrado pelos autores do experimento ($1,8 \text{ g} \cdot L^{-1}$). Ademais, percebe-se, na Figura 1, o baixo valor para o



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

crédito de carbono final (R\$0,000517), o que é natural e se deve ao fato da microalga ser cultivada em escala laboratorial. Quando essa escala é comparada a lagos de microalgas por exemplo, logicamente não mitigará tanto CO₂. Contudo seu valor, apesar de pequeno, demonstra a capacidade de aplicação dessa tecnologia de sequestro de carbono.

Quanto aos erros relacionados às Figuras 4 e 5, os mesmos se dão por conta das alterações matemáticas realizadas nas equações, além de alguma consideração equivocada adotada para a resolução do modelo. Apesar disso, tais considerações e adaptações necessitaram ser produzidas tanto para suprir a falta de dados fornecidos pelo autor do trabalho experimental quanto como meio de evitar inconsistências computacionais ao transcrever as relações para a linguagem FORTRAN.

Não foi possível realizar a estimação de parâmetros outrora mencionada nos Objetivos.

5. Conclusões

O sistema de equações algébrico-diferenciais proposto por Saldarriaga *et al* (2020) apresenta resultados condizentes com outros estudos da literatura, como o de Patel *et al* (2020). O presente trabalho, baseado no sistema acima citado, reflete uma boa modelagem no que tange ao comportamento esperado das espécies de CO₂ (gasosa e líquida) em equilíbrio, da concentração de nitrogênio disponível para conversão em aminoácidos, da concentração de biomassa da microalga e dos créditos de carbono dos dados simulados. Pode-se dizer, então, que nesses quesitos há uma boa descrição de dados.

No entanto, as modificações matemáticas e considerações teóricas adotadas por necessidade resultaram em divergências na modelagem do comportamento das concentrações de nitrato e amônio quando comparadas ao modelo-base. Tais concentrações apresentam variações pequenas em um grande intervalo de tempo, quando deveriam, na verdade, zerar em na metade do tempo gasto.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Por fim, conclui-se que o a subrotina em FORTRAN chamada DASSL conseguiu resolver de modo satisfatório as equações algébrico-diferenciais de índice 1 com suas condições iniciais. Vale ressaltar também a análise de créditos de carbono obtida, a qual avalia a geração desse crédito para escala laboratorial e pode auxiliar no entendimento da aplicabilidade para escalas industriais.

6. Perspectivas

Futuros trabalhos se fazem necessários para o melhor desenvolvimento e aprimoramento do sistema de equações algébrico-diferenciais aqui executado. Assim como a identificação e correção dos pontos que tangenciaram a teoria nesse presente estudo. Se possível a esquematização de um ambiente visual amigável e interativo permitiria ao código aplicado uma maior facilidade de uso.

7. Referências bibliográficas

- ANJOS, M. et al. Optimization of CO₂ bio-mitigation by *Chlorella vulgaris*. **Bioresource Technology**, v. 139, p. 149–154, 1 jul. 2013.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. [s.l.] Bookman Editora, 2009.
- FRIEDLINGSTEIN, P. et al. Global carbon budget 2021. **Earth System Science Data**, v. 14, n. 4, p. 1917–2005, 2022.
- HSUEH, H. T. et al. Carbon bio-fixation by photosynthesis of *Thermosynechococcus* sp. CL-1 and *Nannochloropsis oculata*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 95, n. 1, p. 33–39, 2009.
- KUMAR, K. et al. Development of suitable photobioreactors for CO₂ sequestration addressing global warming using green algae and cyanobacteria. **Bioresource technology**, v. 102, n. 8, p. 4945–4953, 2011.
- PATEL, A. K.; JOUN, J.; SIM, S. J. A sustainable mixotrophic microalgae cultivation from dairy wastes for carbon credit, bioremediation and lucrative biofuels. **Bioresource Technology**, v. 313, n. June, p. 123681, 2020.
- PETZOLD, L. R. **Description of DASSL: a differential/algebraic system solver**.

[s.l.] Sandia National Labs., Livermore, CA (USA), 1982.

QUINN, J.; DE WINTER, L.; BRADLEY, T. Microalgae bulk growth model with application to industrial scale systems. **Bioresource technology**, v. 102, n. 8, p. 5083–5092, 2011.

SALDARRIAGA, L. F. et al. Kinetic characterization and modeling of a microalgae consortium isolated from landfill leachate under a high CO₂ concentration in a bubble column photobioreactor. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 44, p. 47–57, 1 mar. 2020.

WELLES, L. et al. Accumulibacter clades Type I and II performing kinetically different glycogen-accumulating organisms metabolisms for anaerobic substrate uptake. **Water research**, v. 83, p. 354–366, 2015.

YUAN, S. et al. Modeling microalgae growth in continuous culture: Parameters analysis and temperature dependence. **Energy**, v. 195, p. 116961, 2020.

8. Outras atividades

Durante o tempo em que o presente estudo foi realizado, houve também a participação em atividades extracurriculares, tais quais minicursos e eventos. Como exemplo, pode-se citar a capacitação em white belt sigma, uma palestra sobre inteligência emocional, um minicurso sobre análise microbiológica de água e uma visita técnica à indústria Taquari. Além disso, houve a participação durante 6 meses em uma empresa júnior e participação da comissão organizadora da quinta edição do sinequi.

Nomenclaturas

Nomenclatura das variáveis utilizadas por Saldarriaga *et al* (2020):

Variável	Nomenclatura [Unidade]
----------	------------------------



SERVIÇO ADMINISTRATIVO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

C_{G,CO_2}	Concentração de CO ₂ em fase gasosa [$mg(CO_2) \cdot L^{-1}$]
C_{L,CO_2}	Concentração de CO ₂ em fase líquida [$mg(CO_2) \cdot L^{-1}$]
C_{L,NH_4}	Concentração e amônio em fase líquida [$mg(N - NH_4^+) \cdot L^{-1}$]
C_{L,NO_3}	Concentração de nitrato em fase líquida [$mg(N - NO_3^-) \cdot L^{-1}$]
C_{L,CO_2}^*	Concentração de CO ₂ na fase líquida em equilíbrio com a fase gasosa [$mg(CO_2) \cdot L^{-1}$]
C_N	Concentração de nitrogênio disponível para conversão em aminoácidos [$mg(N) \cdot L^{-1}$]
$Y_{X/N}$	Coeficiente e rendimento de biomassa por absorção de nitrogênio [$mg(N) \cdot mg(TSS^{-1})$]
q_{S,NH_4}	Absorção específica de amônio [$mg(N - NH_4^+) \cdot mg(TSS^{-1}) \cdot L^{-1}$]
q_{S,NO_3}	Absorção específica de nitrato [$mg(N - NO_3^-) \cdot mg(TSS^{-1}) \cdot L^{-1}$]
X	Concentração de biomassa [$g \cdot L^{-1}$]
m	Constante de equilíbrio gás-líquido adimensional [-]
μ	Taxa específica de crescimento [h^{-1}]

Nomenclatura das constantes utilizadas por Saldarriaga *et al* (2020), assim como seus valores:

Constante	Nomenclatura [Unidade]	Valor
$C_{G,CO_2,IN}$	Concentração de CO ₂ em fase gasosa no fluxo de entrada [$mg(CO_2) \cdot L^{-1}$]	$2,075 \cdot 10^1$
F_G	Taxa de fluxo de gás [$m^3 \cdot h^{-1}$]	$4,8 \cdot 10^{-2}$



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

H_{CO_2}	Constante de Henry para o CO_2 [$mol \cdot m^{-3} \cdot atm^{-1}$]	34
I_{ave}	Intensidade média da luz [$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]	220
K_{DIC,NH_4}	Constante de inibição para a concentração total de carbono inorgânico dissolvido (absorção de amônio) [$mg(N) \cdot L^{-1}$]	237,18
K_{DIC,NO_3}	Constante de inibição para a concentração total de carbono inorgânico dissolvido (absorção de nitrato) [$mg(N) \cdot L^{-1}$]	75,77
$K_{DIC,X}$	Constante de inibição para a concentração total de carbono inorgânico dissolvido [$mg(C) \cdot L^{-1}$]	404,84
$K_L a$	Coefficiente de transferência de massa de CO_2 [h^{-1}]	23,454
K_{NH_4}	Constante de inibição para o amônio [$mg(N - NH_4^+) \cdot L^{-1}$]	0,75
$K_{S,I}$	Meia saturação do modelo de monod para a intensidade luminosa [$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]	368,52
$K_{S,N}$	Meia saturação do modelo de monod para o nitrogênio [$mg(N) \cdot L^{-1}$]	1,72
K_{S,NH_4}	Meia saturação do modelo de monod para o amônio [$mg(N - NH_4^+) \cdot L^{-1}$]	3,01
K_{S,NO_3}	Meia saturação do modelo de monod para o nitrato [$mg(N - NO_3^-) \cdot L^{-1}$]	11,31
$K_{a,1}$	Constante de dissociação do bicarbonato [$mol \cdot L^{-1}$]	$4,46 \cdot 10^{-7}$
$K_{a,2}$	Constante de dissociação do carbonato [$mol \cdot L^{-1}$]	$4,67 \cdot 10^{-11}$



SERVIÇO ACADÊMICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

$K_{i,N}$	Constante de inibição de Haldane para o nitrogênio [$mg(N) \cdot L^{-1}$]	774,18
K_{i,NH_4}	Constante de inibição de Haldane para o amônio [$mg(N - NH_4^+) \cdot L^{-1}$]	39,14
N_{ini}	Concentração inicial de nitrogênio [$g \cdot m^{-3}$]	36,4
V_G	Volume de retenção de gás [m^3]	$4,24 \cdot 10^{-5}$
V_L	Volume médio no fotobiorreator [m^3]	$8 \cdot 10^{-3}$
Y_{X/CO_2}	Coefficiente de rendimento de biomassa por absorção de CO_2 [$\frac{mg(CO_2)}{mg(TSS^{-1})}$]	0,487
q_{max,NH_4}	Máxima absorção específica de amônio [$\frac{mg(N - NH_4^+)}{mg(TSS^{-1}) \cdot L^{-1}}$]	$6,80 \cdot 10^{-3}$
q_{max,NO_3}	Máxima absorção específica de nitrato [$\frac{mg(N - NO_3^-)}{mg(TSS^{-1}) \cdot L^{-1}}$]	$9,90 \cdot 10^{-3}$
pH	Potencial hidrogeniônico [-]	6,355
μ_{max}	Máxima taxa específica de crescimento [h^{-1}]	0,43