ANÁLISE AUTOMATIZADA DE DADOS DE FOTOBIORREATORES APLICADA AO CULTIVO DE MICROALGAS

Larissa Dubiella, Gabriela de Amorim da Silva, Ângelo Paggi Matos, Fábio de Farias Neves, Daniel Pedro Willemann

INTRODUÇÃO

Microalgas apresentam potencial biotecnológico para produção de biomassa e compostos de interesse, sendo seu crescimento influenciado por fatores ambientais como luz, temperatura, pH e disponibilidade de nutrientes (PULZ; GROSS, 2004). O cultivo em fotobiorreatores permite a produção de microalgas em diferentes escalas e condições de operação, incluindo sistemas submetidos às variações ambientais (CHANQUIA; VERNET; KARA, 2022), como o fotobiorreator tubular desenvolvido para aplicação em fachadas de edificações e instalado na fachada oeste da UDESC Laguna (HUGEN; WILLEMANN; NEVES, 2025).

O acompanhamento do desenvolvimento da cultura requer a coleta de parâmetros laboratoriais e ambientais, gerando conjuntos de dados que necessitam ser organizados, tratados e interpretados. Nesse processo, ferramentas computacionais podem auxiliar na automatização das etapas de processamento, na padronização das análises e na geração de visualizações gráficas.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo desenvolver uma estrutura computacional em Python para a organização, o processamento, a integração e a visualização de dados de um cultivo de *Parachlorella kessleri* em fotobiorreator. A abordagem integrou informações ambientais e laboratoriais e possibilitou o cálculo de indicadores relacionados ao crescimento da biomassa e à disponibilidade luminosa, buscando auxiliar o acompanhamento temporal do cultivo e a interpretação das relações entre as condições ambientais e o desenvolvimento da cultura durante o tempo de cultivo.

DESENVOLVIMENTO

Foram realizados dois cultivos de *P. kessleri* no fotobiorreator tubular. Em ambos os cultivos, foram coletadas amostras em dois estratos verticais (A1 e A2), analisadas em duplicata quanto ao pH, absorbância a 680 e 750 nm, massa seca (g/L) e densidade celular por contagem de células em câmara de Neubauer sob microscopia óptica. Os dados considerados foram obtidos pela média das duplicatas e, posteriormente, pela média entre os estratos.

A temperatura do cultivo e a luminosidade incidente foram monitoradas por sensores *data logger* HOBO instalados no reservatório e na superfície do tubo do fotobiorreator, respectivamente. Os dados de luminosidade foram convertidos em Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), a partir da qual foi calculada a Integral Diária de Luz (DLI), permitindo caracterizar a disponibilidade luminosa ao longo do cultivo.

Os dados ambientais e laboratoriais foram integrados e processados por meio de uma estrutura desenvolvida em linguagem Python, utilizando as bibliotecas Pandas, NumPy, SciPy e Matplotlib. Dados meteorológicos externos também foram obtidos por meio da API (Interface de Programação de Aplicações) Open-Meteo, possibilitando sua integração temporal aos dados do cultivo para posterior comparação com variáveis monitoradas no fotobiorreator, como temperatura e disponibilidade luminosa. O fluxo de processamento compreendeu a organização e padronização dos dados, integração temporal das diferentes fontes, cálculo de estatísticas descritivas e indicadores de crescimento e disponibilidade luminosa, além da geração de visualizações gráficas para o acompanhamento do cultivo a fim de obter a máxima produtividade celular.

Neste trabalho, são apresentados como exemplo os dados do segundo cultivo.

RESULTADOS

A estrutura computacional desenvolvida permitiu integrar dados ambientais e laboratoriais em séries temporais padronizadas. A Figura 1 apresenta a temperatura do reservatório, a Radiação Fotossinteticamente Ativa e a Integral Diária de Luz, obtidas a partir do processamento dos registros de luminosidade. Esses indicadores permitiram representar a disponibilidade de luz ao longo do cultivo, condição diretamente relacionada ao crescimento microalgal (BIALEVICH et al., 2022).

A resposta da cultura foi acompanhada por A750, densidade celular e massa seca (Figura 2), permitindo comparar um indicador óptico indireto com medidas de biomassa e concentração celular. A A750 foi utilizada como indicador do comportamento da biomassa devido à menor influência do conteúdo de pigmentos em relação à absorbância em 680 nm. Variações na pigmentação podem alterar a relação entre absorbância e biomassa ao longo do cultivo, sendo a A750 menos suscetível a essa interferência (GRIFFITHS et al., 2011). A A680 e o pH foram utilizados como parâmetros complementares para verificar o crescimento celular ao longo do tempo de cultivo.

Os indicadores de crescimento apresentaram aumento durante o período pré-repique, seguido por redução da A750 e da densidade celular imediatamente após o repique e posterior recuperação. Nos últimos dias de cultivo, entretanto, ambos os parâmetros apresentaram nova redução, indicando alteração no padrão de crescimento que não pode ser atribuída, com os dados disponíveis, a um fator específico. A disponibilidade luminosa e a temperatura do reservatório permaneceram relativamente estáveis entre os períodos, com médias de DLI de 11,63 e 12,33 $mol.m^{-2}.dia^{-1}$ antes e após o repique, respectivamente, e temperatura entre 19,5 e 24,9 °C. Assim, embora as condições monitoradas tenham permanecido dentro de uma faixa sem variações acentuadas, a redução final dos indicadores pode estar relacionada a influência de outros fatores não monitorados continuamente, como, por exemplo, o esgotamento de nutrientes ou restrições nas trocas gasosas do sistema.

As rotinas desenvolvidas em Python automatizaram a organização dos dados, o cálculo de indicadores, as estatísticas descritivas e a geração das visualizações, além de possibilitar a incorporação de dados meteorológicos obtidos por API. Desta forma, a principal contribuição foi estabelecer um fluxo para transformar dados experimentais heterogêneos em informações comparáveis para o monitoramento do cultivo. Como limitação, o processamento ainda depende da inserção manual dos dados e da execução das rotinas no Google Colab, com atualização de parâmetros para cada cultivo, e os sensores não estão integrados diretamente ao fluxo computacional. Como perspectiva, a integração automatizada entre sensores, processamento e uma interface de visualização poderá ampliar a estrutura para um pipeline contínuo de monitoramento. Em parceria com pesquisadores do LabSIN & LabMASSA (https://labsin.ufsc.br/) do Departamento de Engenharia Química da UFSC, esta fase de automação já foi iniciada com o desenvolvimento de um medidor óptico de densidade celular cujos dados serão adquiridos automaticamente por meio de uma interface *wi-fi* de baixo custo desenvolvida em Arduino – uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto baseada em hardware e software livres.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura desenvolvida em Python permitiu integrar e processar dados ambientais e laboratoriais de cultivos de *P. kessleri*, gerando indicadores e visualizações para o acompanhamento temporal da cultura. A atual dependência de inserção manual dos dados já estabeleceu a base para a automatização do monitoramento e encaminhou o início de integração direta dos sensores para o desenvolvimento de um dashboard de monitoramento em tempo real via dispositivos móveis nos próximos passos desta pesquisa.

Palavras-chave: *Parachlorella kessleri;* fotobiorreator; biomassa; monitoramento; Python; processamento de dados.

FIGURAS

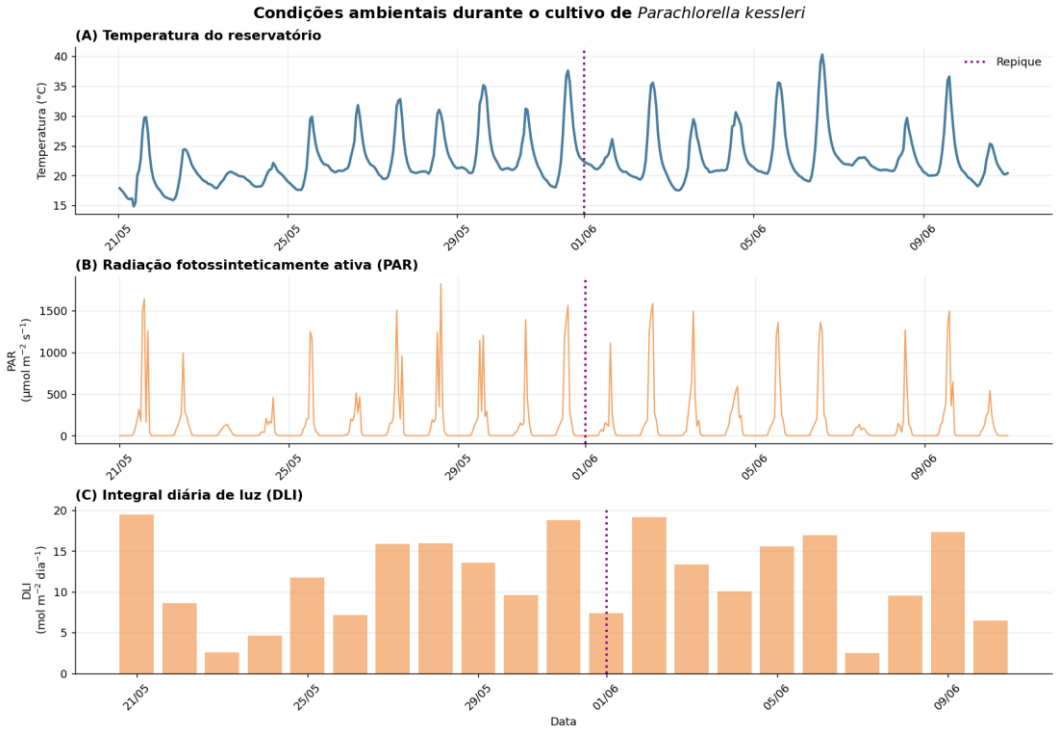


Figura 1 - Condições ambientais do cultivo de *Parachlorella kessleri* em fotobiorreator tubular. (A) Temperatura do reservatório; (B) Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR); (C) Integral Diária de Luz (DLI).

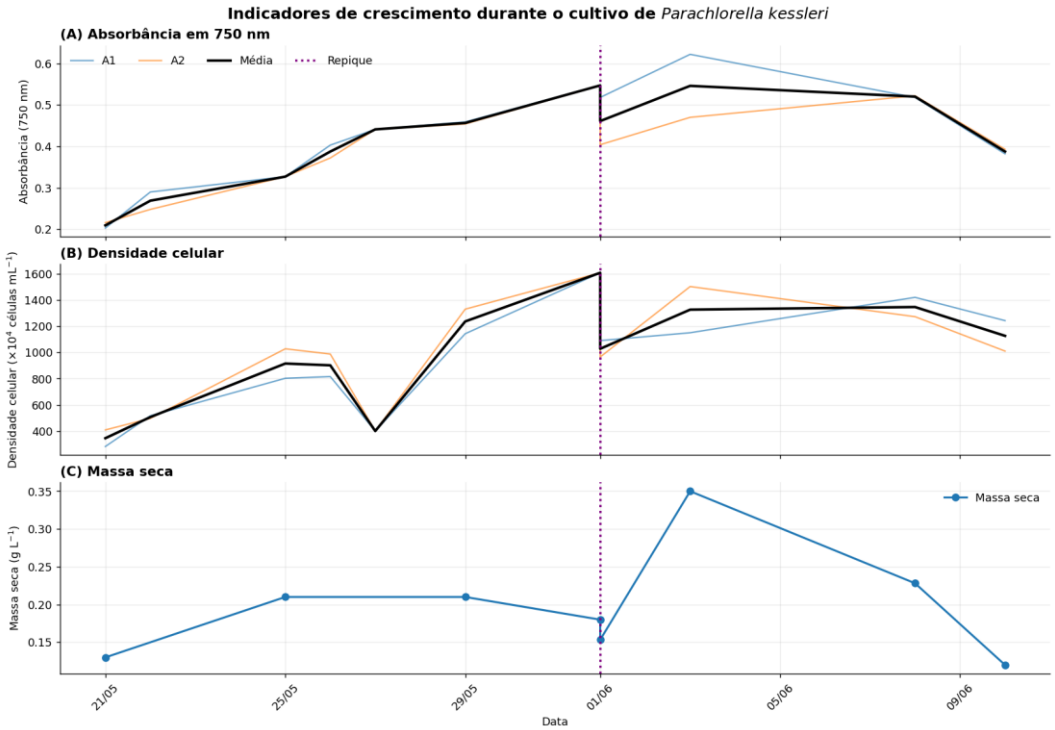


Figura 2 - Indicadores de crescimento de *Parachlorella kessleri* em fotobiorreator tubular. (A) Absorbância a 750 nm; (B) Densidade celular; (C) Massa seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHANQUIA, Santiago N.; VERNET, Guillem; KARA, Selin. Photobioreactors for cultivation and synthesis: specifications, challenges, and perspectives. Engineering in Life Sciences, v. 22, p. 712–724, 2022. DOI: 10.1002/elsc.202100070.

BIALEVICH, Vitali; ZACHLEDER, Vilém; BIŠOVÁ, Kateřina. The effect of variable light source and light intensity on the growth of three algal species. Cells, v. 11, n. 8, p. 1293, 2022. DOI: 10.3390/cells11081293

GRIFFITHS, Melinda J.; GARCIN, Clive; VAN HILLE, Robert P.; HARRISON, Susan T. L. Interference by pigment in the estimation of microalgal biomass concentration by optical density. *Journal of Microbiological Methods*, v. 85, n. 2, p. 119–123, 2011. DOI: 10.1016/j.mimet.2011.02.005.

HUGEN, Lara Alayce; NEVES, Fábio de Farias; WILLEMANN, Daniel Pedro. Desenvolvimento e otimização de fotobiorreatores tubulares para produção de biomassa de microalgas. 2025. Resumo (35º Seminário de Iniciação Científica) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, 2025. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/21405/Lara_Alayce_Hugen_17588253563515_21405.pdf. Acesso em: 19 ago. 2026.

PULZ, Otto; GROSS, Wolfgang. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 65, n. 6, p. 635–648, 2004. DOI: 10.1007/s00253-004-1647-x.

ZACHLEDER, V.; IVANOV, I. N.; KSELÍKOVÁ, V.; BIALEVICH, V.; VÍTOVÁ, M.; OTA, S.; TAKESHITA, T.; KAWANO, S.; BIŠOVÁ, K. Characterization of growth and cell cycle events affected by light intensity in the green alga *Parachlorella kessleri*: a new model for cell cycle research. *Biomolecules*, v. 11, n. 6, art. 891, 2021.