

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THAINÁ GUEDES DA ROSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO DO AR AMBIENTE
UTILIZANDO A MICROALGA *Arthrospira platensis***

PONTA GROSSA

2022

THAINÁ GUEDES DA ROSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO DO AR AMBIENTE
UTILIZANDO A MICROALGA *Arthrospira platensis***

**DEVELOPMENT OF AN AMBIENT AIR FILTRATION SYSTEM USING THE
MICROALGAE *Arthrospira platensis***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Alessandra Cristine Novak Sydney.

Coorientador: Erickson de Lima Arving.

PONTA GROSSA

2022



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).
Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

THAINÁ GUEDES DA ROSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO DO AR AMBIENTE
UTILIZANDO A MICROALGA *Arthrospira platensis***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25/novembro/2022

Alessandra Cristine Novak Sydney
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Erickson de Lima Arving
Especialista em Gestão de Projetos
Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE)

Sabrina Ávila Rodrigues
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Aline de Cassia Campos Pena
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

PONTA GROSSA

2022

Este trabalho é dedicado a toda e qualquer pessoa que, de alguma forma, se fez presente durante essa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela vida e pelo amparo ao longo dela para que eu pudesse ultrapassar qualquer obstáculo. Sem Ele nada disso seria possível.

Agradeço à minha orientadora Professora Alessandra e ao meu co-orientador professor Erickson, por todo o conhecimento que compartilharam comigo durante esse projeto.

À minha família, pelo apoio financeiro e emocional. Apoio que se fez primordial para a conclusão desse curso.

Aos meus amigos, pelos momentos de descontração.

A todos os professores, que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Enfim, a todos que por algum motivo se fizeram presentes para a realização desta etapa da minha vida.

RESUMO

A Qualidade do Ar Interno (QAI) é de extrema importância porque além de proporcionar um maior bem-estar, auxilia na produtividade de colaboradores e alunos em ambientes fechados e climatizados. Um dos elementos que mais prejudicam essa qualidade é o dióxido de carbono, um gás não poluente em ambientes externos, mas que em ambientes internos causa alguns malefícios, como desconforto, redução de aprendizado, menor produtividade, entre outros. O dióxido de carbono pode ser absorvido diretamente pela fotossíntese, e uma alternativa que vem sendo bastante estudada é a utilização de microalgas durante esse processo, visto que as microalgas obtêm maior taxa de absorção em comparação às demais plantas estudadas até o momento. Considerando a importância da QAI, o presente trabalho tem como objetivo compor um biofiltro contendo a microalga *Arthrospira platensis* para promover a melhoria da qualidade do ar de um ambiente fechado. Essa microalga foi escolhida devido à sua fácil manipulação e altas taxas de absorção de CO₂. Assim, foi avaliado dois meios de cultivo com concentrações diferentes de nutrientes, onde se obteve pouca discrepância em relação à quantidade de biomassa algal. Foi também, medido ao longo de cinco dias a biofixação de CO₂ utilizando dois litros de cultivo de *Arthrospira* sp, o qual apresentou uma média de absorção de 488 ppm de dióxido de carbono presente em estufa BOD que permaneceu fechada ao longo do experimento. Considerando o cálculo estequiométrico, faz-se necessário um cultivo de 118 litros de cultivo de microalgas à uma concentração de 40 % dos sais do meio Zarrouk. Contudo, há uma diferença levando-se em consideração a análise utilizando o medidor de gases, pois analisando a concentração de dióxido de carbono dentro da estufa durante as 4 horas de experimento, constatou-se a necessidade de um cultivo com 9,4 litros. Essa diferença da quantidade de cultivo de microalga ocorre devido a alguns fatores, como por exemplo a diferença em relação ao tamanho do local de cada análise.

Palavras-chave: qualidade do ar interno; microalgas; fotossíntese.

ABSTRACT

Indoor Air Quality (IAQ) is extremely important because in addition to providing greater well-being, it helps in the productivity of employees and students in closed and air-conditioned environments. One of the elements that most harm this quality is carbon dioxide, a gas that does not pollute outdoors, but which indoors causes some harm, such as discomfort, reduced learning, lower productivity, among others. Carbon dioxide can be absorbed directly by photosynthesis, and an alternative that has been extensively studied is the use of microalgae during this process, since microalgae have a higher absorption rate compared to other plants studied so far. Considering the importance of IAQ, the present work aims to compose a biofilter containing the microalgae *Arthrospira platensis* to promote the improvement of air quality in a closed environment. This microalgae was chosen because of its easy handling and high CO₂ absorption rates. Thus, two culture media with different concentrations of nutrients were evaluated, where little discrepancy was obtained in relation to the amount of algal biomass. CO₂ biofixation was also measured over five days using two liters of *Arthrospira* sp. cultivation, which showed an average absorption of 488 ppm of carbon dioxide present in a BOD kiln that remained closed throughout the experiment. Considering the stoichiometric calculation, it is necessary to cultivate 118 liters of microalgae at a concentration of 40% of the salts in the Zarrouk medium. However, there is a difference taking into account the analysis using the gas meter, because analyzing the concentration of carbon dioxide inside the greenhouse during the 4 hours of the experiment, it was verified the need for a cultivation with 9,4 liters. This difference in the amount of microalgae cultivation is due to some factors, such as the difference in relation to the size of the site of each analysis.

Keywords: indoor air quality; microalgae; photosynthesis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Causas do aumento de CO ₂ no organismo	15
Figura 1 - Taxa de respiração, consumo de oxigênio e produção de CO ₂ em função do metabolismo	16
Fotografia 1 - Medidor de CO ₂ em estufa sem presença do cultivo	24
Fotografia 2 - Medidor de CO ₂ em estufa na presença do cultivo	24
Fotografia 3 - <i>Arthrospira</i> sp. visualizada em microscópio	25
Gráfico 2 - Diferença da quantidade de CO ₂ durante análise de 5 dias pelo período de 4 horas cada dia	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Meio de cultivo Zarrouk	21
Tabela 2 - Quantidade de CO ₂ absorvido pelo cultivo de <i>Arthrospira</i> sp. durante 5 dias em estufa BOD	23
Tabela 3 - Quantidade de biomassa	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATP	Adenosina Trifosfato
NADPH	Fosfato de Dinucleótido de Nicotinamida e Adenina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Qualidade do ar interno e síndrome do edifício doente	14
3.2	Dióxido de carbono	15
3.3	Fixação de dióxido de carbono	17
3.4	Fotossíntese	17
3.5	Microalgas	18
3.6	Biofixação de dióxido de carbono utilizando microalga	18
3.7	<i>Arthrospira platensis</i>	19
3.8	Fotobiorreatores	19
4	METODOLOGIA	21
4.1	Preparo do meio de cultivo da microalga <i>Arthrospira platensis</i>	21
4.2	Medição da concentração de dióxido de carbono em estufa BOD	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5.1	Análise de biomassa	25
5.2	Quantidade de dióxido de carbono absorvido	26
5.3	Cálculos de biofixação de dióxido de carbono	28
6	CONCLUSÃO	30
7	SUGESTÃO TRABALHOS FUTUROS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Existe uma grande preocupação referente a qualidade de vida e o bem-estar em ambientes de trabalho, lazer, escolar e familiar. Assuntos relacionados ao conforto térmico, poluição sonora e qualidade do ar estão sendo cada vez mais relevantes em relação ao bem-estar e produtividade nestes ambientes (BENEDITO, *et al.*, 2015). Em relação à qualidade do ar existe uma dificuldade quanto à percepção, visto que seus níveis de toxicidade são muito baixos, mas que ainda assim podem ser maléficos à saúde e bem-estar do ser humano (FERNANDES, 2015).

Em ambientes fechados existe uma preocupação referente ao elevado nível de gases, como a emissão de CO₂, que pode causar desconforto às pessoas do local. Há duas possibilidades para a redução da concentração de dióxido do ambiente: diminuição da emissão do gás ou absorção do mesmo. O método de absorção de CO₂ ocorre através da absorção química, separação por membrana, armazenamento subterrâneo e pela fotossíntese, que sequestra o dióxido de carbono e converte em gás oxigênio (ARAÚJO, 2000). Com isso, se torna importante o monitoramento dos níveis desse gás, evitando assim, prejuízos à saúde humana e redução na produtividade dos ocupantes do ambiente.

A fixação de CO₂ por microalgas vem sendo considerado como a melhor maneira de se absorver este gás, considerando sua ótima utilização da energia solar em comparação às demais plantas terrestres. Em destaque, temos a *Arthrospira sp.*, que apresenta ótimos resultados referentes a essa fixação e é de fácil cultivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Quantificar os efeitos da inserção do cultivo da microalga *Arthrospira platensis* em relação à taxa de dióxido de carbono em estufa BOD (Biochemical Oxygen Demand).

2.2 Objetivos específicos

- Adaptar um meio de cultivo para a *Arthrospira* sp. com redução dos sais do meio de cultivo;
- Realizar cálculos teóricos relacionados à taxa de consumo de CO₂ por microalgas;
- Analisar a possível redução dos níveis de CO₂ no ambiente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Qualidade do ar interno e síndrome do edifício doente

A Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos define a Qualidade do Ar Interior (QAI) sendo um dos cinco maiores riscos à saúde humana, pois considera que o ar interno pode estar de duas até cinco vezes mais poluído do que o ar externo (FAKHOURY, 2017). Essa baixa qualidade do ar causa um acúmulo de dióxido de carbono (CO_2), que contribui diretamente no aumento da acidez sanguínea e conseqüentemente, aumentando a taxa de respiração (JONES, 1999).

A OMS (Organização Mundial da Saúde) definiu um termo para doenças que estão diretamente relacionadas com a baixa qualidade do ar ambiente interno, a Síndrome do Edifício Doente (SED). Este termo é utilizado em situações em que pelo menos 20% dos ocupantes de determinado local apresentem algum efeito adverso à saúde e ao conforto, mas que desaparecem assim que se evacuam do local, como por exemplo, irritação de mucosas, efeitos neurotóxicos, alterações dos sentidos, sintomas respiratórios e cutâneos (OMS, 1999). Outros problemas de locais mal ventilados são o baixo desempenho em atividades, o que pode vir a interferir diretamente na produtividade, seja ela em ambientes de trabalho quanto escolares (FAKHOURY, 2017). O dióxido de carbono (CO_2) é um dos parâmetros medidos e utilizado como um dos indicadores de qualidade do ar.

Estes e demais sintomas são descritos no Quadro 1 apresentado abaixo, definindo o que ocorre diante do aumento da concentração de CO_2 em ambiente fechado e, podendo-se notar o quão prejudicial se torna essa exposição prolongada a altos níveis de CO_2 , podendo causar até asfixia.

Quadro 1 - Causas do aumento de CO₂ no organismo

Quantidade de CO ₂	Nível toxicológico
360 ppm	Nível normal de CO ₂ .
1000 ppm	Exposição prolongada pode afetar a concentração.
5000 ppm	Limite internacional seguro.
10.000 ppm	A respiração aumenta, mas ainda pouco perceptível.
15.000 ppm	Limite de exposição normal a curto prazo.
20.000 ppm	A velocidade de respiração aumenta em 50% acima da taxa normal. A exposição prolongada causa cansaço e dor de cabeça.
30.000 ppm	A velocidade de respiração aumenta 2 vezes acima do normal. Pode causar um pouco de vertigem, aumento da pressão e frequência cardíaca, e dores de cabeça. Pode também haver algum prejuízo auditivo.
40.000 ppm a 50.000 ppm	Aqui o efeito do CO ₂ poderá ser realmente prejudicial. A respiração estará muito mais rápida, em torno de 4 vezes mais do que o normal e, depois de apenas 30 minutos a este nível, a pessoa poderá apresentar sinais de envenenamento e sufocamento.
50.000 ppm a 10.000 ppm	A este nível o ser humano estará muito cansado, terá respiração intensa, dores de cabeça fortes, bem como a visão prejudicada. Em poucos minutos estará confuso e seguido de inconsciência
100.000 ppm a 1.000.000 ppm	A inconsciência ocorre mais depressa, quanto mais alta for a concentração. Quanto mais alto o tempo de exposição e o nível de gás carbônico, mais depressa ocorrerá a asfixia.

Fonte: Organização Mundial da Saúde (OMS)

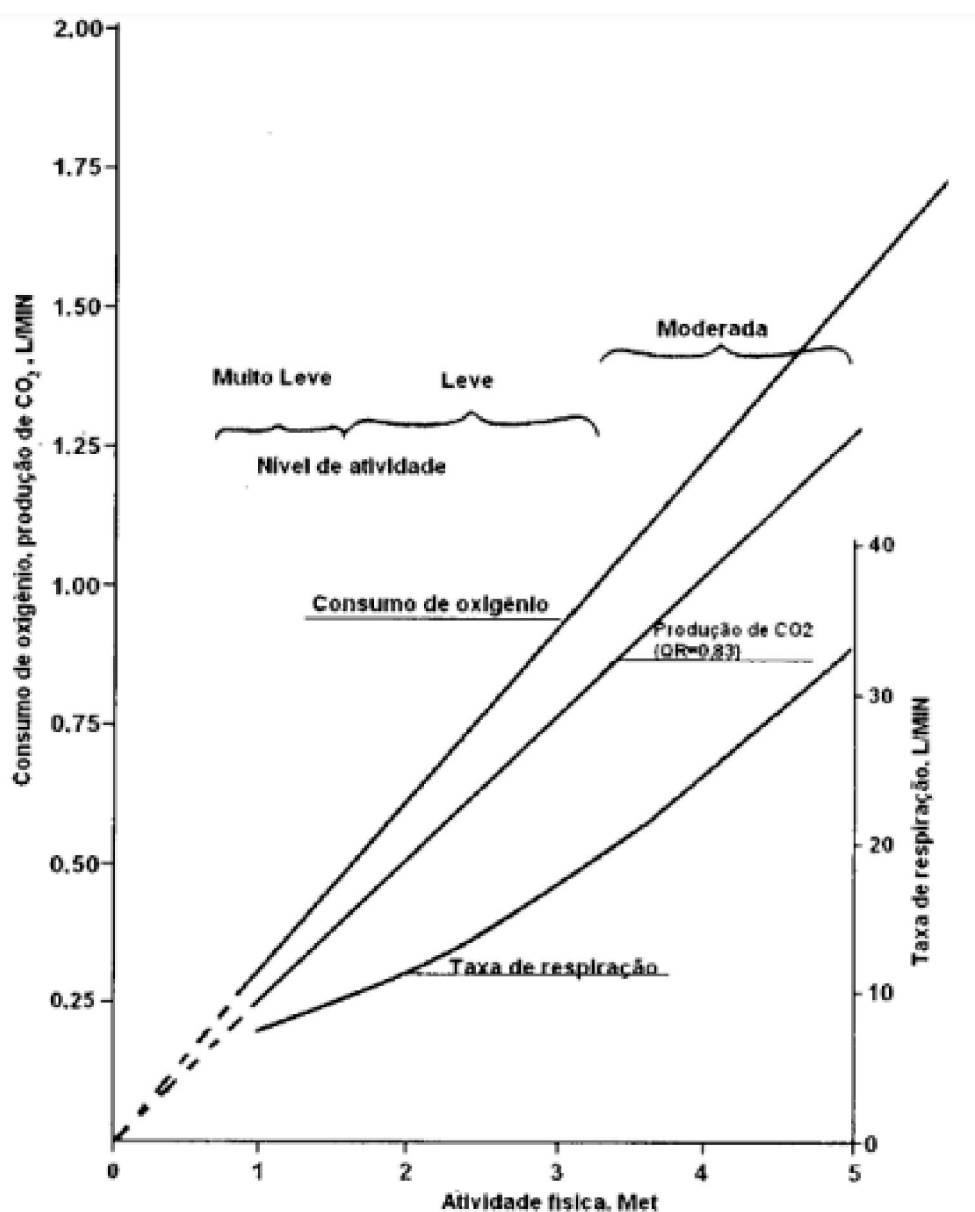
3.2 Dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás incolor, inodoro e não inflamável, que resulta de processos metabólicos e de combustão (QUADROS *et al.*, 2008). Altos níveis de CO₂ em ambientes fechados e climatizados podem vir a causar os sintomas da SED quando o projeto de construção do local não conta com uma ventilação e circulação adequada (LBN, 2019). A resolução RE nº 9, da ANVISA (Brasil, 2003) determina um valor máximo permitido de concentração de CO₂ em 1000 ppm. É recomendado uma vazão de renovação de ar externo de 27 m³/h pela mesma resolução. Sendo assim, uma concentração de CO₂ acima da concentração no ambiente externo, é considerado um indicador do nível de poluição produzido pelas pessoas (ABNT, 2008).

Para sustentação do metabolismo, o organismo humano consome oxigênio e produz o CO₂ e vapor de água, que são eliminados pela respiração. A norma ABNT NBR 16401 mostra que a quantidade de oxigênio consumido e de CO₂

produzido depende da respiração correspondente ao tipo de atividade física, portanto do metabolismo, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Taxa de respiração, consumo de oxigênio e produção de CO₂ em função do metabolismo



Fonte: ABNT (2008)

Uma atividade física mais intensa, tem uma maior taxa de respiração e, conseqüentemente, uma maior produção de CO₂. O dióxido de carbono eliminado durante a respiração é acompanhado da emissão de outros efluentes biológicos humanos, também resultado da atividade metabólica (ABNT, 2008).

3.3 Fixação de dióxido de carbono

Há diversos estudos a respeito de técnicas para diminuir, capturar e fixar CO₂ da atmosfera. A respeito de emissões de CO₂ na atmosfera, se torna difícil diminuí-la por conta da forma pela qual ela é emitida, que ocorre pelos combustíveis fósseis. Contudo, para capturar e fixar há diversos estudos, como a absorção química, método onde o gás reage com um solvente alcalino e forma ligações covalentes liberando calor (PENG; ZHAO; LI, 2012). O método de separação por membrana, onde neste método ocorre a separação dos componentes de uma mistura conforme a diferença da permeabilidade dos compostos na membrana (AL-MARZOUQI *et al.*, 2008). Armazenamento subterrâneo, onde o CO₂ é injetado no subterrâneo geológico e permanece ao longo dos próximos anos. E a biofixação por microalgas, método qual é absorvido CO₂ por meio da fotossíntese (MORAIS; RADMANN; COSTA, 2011).

3.4 Fotossíntese

A fotossíntese é representada pela equação $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energia luminosa} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$, onde dióxido de carbono, água e luz são convertidos em glicose e oxigênio.

A fotossíntese é composta por duas fases distintas (clara e escura). Na fase clara, é dependente da luz, também denominada fase fotoquímica, onde a energia luminosa gera moléculas energéticas, a partir da excitação dos elétrons pelos fótons da luz, ATP e NADPH que é o agente redutor para a prosseguir a fase escura. Na segunda fase (enzimática/química) não depende diretamente de luz, porém utiliza-se a energia dos fótons para transformar CO₂ até carboidrato e liberar O₂ para a atmosfera por meio da remoção de elétrons da água (MOHANTY; SRIVASTAVA; KRISHNA, 1997; NELSON; COX, 2010; CAMPBELL; FARRELL, 2006). Apesar de ser conhecida como fase escura, a mesma não se faz totalmente independente de luz, considerando que a enzima responsável pela fixação do CO₂, a RuBisCo (carboxilase e oxigenase), depende de luz para ser reduzida e atingir seu estado ativo (MOREIRA, 2013).

3.5 Microalgas

Microalgas são representadas pelo grupo de microrganismos fotossintéticos, procarióticos e eucarióticos, com alta taxa de crescimento devido à sua estrutura celular simples. Desta maneira, a produção de biomassa das microalgas é superior às demais plantas terrestres (LI *et al.*, 2008). Sua estrutura só pode ser observada com a utilização de lupas ou microscópios, pois suas dimensões são pequenas, seu tamanho varia em poucos micrômetros. Pode ser encontrada facilmente em águas doces ou salgadas, ou então em ambientes terrestres (GUIMARÃES *et al.*, 2009).

Além disso, as microalgas são resistentes a fatores abióticos adversos, ou seja, não há a necessidade de serem cultivadas em ambientes férteis, inclusive, há a possibilidade de cultivo em ambientes desérticos (BORGES *et al.*, 2007). Estima-se que haja no planeta cerca de 50 mil espécies, das quais apenas 30 mil foram relatadas. (MATA *et al.*, 2010).

Estudiosos da Algoteca da Universidade de Coimbra, contam com cerca de 4 mil estirpes de aproximadamente mil espécies distintas. Esta variedade demonstra a real importância de estudos mais elaborados a respeito das microalgas, seja para produção de fármacos, aditivos alimentares, fontes de energia ou mitigação de dióxido de carbono.

3.6 Biofixação de dióxido de carbono utilizando microalga

O desenvolvimento das microalgas pode ser realizado por via fotossintética, capturando o dióxido de carbono do ar ambiente, e o transformando em hidratos de carbono e oxigênio na presença de água e luz. Pode ser representado pela equação básica:



A biofixação de CO₂ produz hidratos de carbono, proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos. As microalgas para obterem bons resultados de fixação e absorção dependem apenas de um meio aquoso (de água doce, salgada, salobra ou residual) com presença de luz (natural ou artificial, a segunda proporcionando uma fase escura para crescimento celular) e CO₂ (EMBRAPA, 2017).

3.7 *Arthrospira platensis*

A *Arthrospira sp.* é uma microalga, pertencente ao Reino Monera, com origem nas lagoas de água doce da África e da América Latina, antigamente era conhecida apenas como *Spirulina platensis*. Contudo, por ser considerada um grupo diferente, devido a sua ampla usabilidade, ambos os termos passaram a ser utilizados. São reconhecidas trinta e cinco espécies e as mais conhecidas são *Arthrospira maxima*, *Arthrospira platensis* e *Arthrospira fusiformis* (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Em 1981, a *Arthrospira sp.* foi legalmente aceita pelo FDA (Food and Drug Administration) que declarou que "A *Spirulina sp.* é uma fonte de proteínas e contém várias vitaminas e minerais. Ela pode ser legalmente comercializada como alimento ou complemento alimentar, desde que precisamente qualificada e livre de contaminantes e de adulteração com outras substâncias" (MORAES; MIRANDA & COSTA, 2006).

Segundo a Instrução Normativa - IN nº 28, de 26 de julho de 2018, a *Arthrospira platensis*, possui elevado valor nutricional devido ao seu teor proteico (60 – 70%) e se encaixa na lista de constituintes 2 autorizados para uso em suplementos alimentares (ANVISA, 2018). A *Arthrospira sp.* possui elevado potencial econômico, sendo uma das microalgas mais adequadas para cultivo em larga escala, devido à sua alta eficiência fotossintética, fácil adaptação ao meio ambiente e ao seu rápido crescimento (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

O meio mais utilizado para o cultivo de microalgas é o Zarrouk, padrão para o cultivo da microalga *Arthrospira sp.*, podendo estimular a biossíntese de compostos ao mudar as condições de cultivo. E ainda, considerando sua diluição, diminui consideravelmente os custos da produção.

3.8 Fotobiorreatores

Um fotobiorreator é um tipo de biorreator que cultiva microrganismos fototróficos utilizando a emissão de luz, então, é muito utilizado para cultivar microalgas. São tubos transparentes feitos de vidro, plástico ou polimetilmetacrilato, com difusores de ar no fundo da coluna onde sua função é incorporar o CO₂

agitando o sistema. O cultivo nesse tipo de equipamento segue padrões que favorecem o desenvolvimento da espécie por serem sistemas fechados, reduzindo assim possíveis contaminações. Também se torna possível controlar parâmetros básicos necessários para o crescimento das espécies, como pH, temperatura, concentração de CO₂ e luz, facilitando assim atingir uma maior produtividade volumétrica e concentração celular (DARZINS *et al.*, 2010). Outra grande vantagem é a conservação da umidade, que por ser um sistema fechado permite que a água fique retida no sistema. Também, ocupa um menor espaço e possui uma organização estrutural suficiente para ser realizado os cultivos em grande escala sem prejudicar o ambiente de cultivo (HOMIAK, 2014).

O cultivo de microalgas para absorção de CO₂ pode ser realizado tanto em sistemas abertos quanto fechados (KUMAR *et al.*, 2011). O sistema aberto se torna menos vantajoso por não ter controle dos parâmetros, contudo, é mais econômico por não haver gastos com iluminação artificial (BRENNAN; OWENDE, 2010). Outro fator determinante é a baixa presença CO₂ em sistemas abertos, baixando assim sua fixação. Sendo assim, os biorreatores tubulares se tornam mais viáveis por possuírem colunas de cultivo para transferência de CO₂ da fase gasosa à fase líquida (HO *et al.*, 2012).

4 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foram testados dois meios de cultivo com concentrações diferentes para a inoculação da *Arthrospira* sp. Após determinação da concentração de sais do meio de cultivo, realizou-se a medição de CO₂ atmosférico na estufa BOD pelo período de 5 dias, inicialmente sem a presença do meio de cultivo e então em seguida com a presença do mesmo.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioprocessos 2 (D002) do Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, localizado no Bloco D da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

4.1 Preparo do meio de cultivo da microalga *Arthrospira platensis*

Analisou-se o meio de cultivo Zarrouk baseado na metodologia de S. Aiba *et.al* (1997) adaptado, com o propósito de se obter um meio de concentração de 40 % da quantidade de sais para um litro de cultivo, conforme Tabela 1, assim sendo mais econômico.

Tabela 1 - Meio de cultivo Zarrouk

	100%	40%
Substância	Quantidade	Quantidade
NaHCO ₃	13,61 g	5,44 g
Na ₂ CO ₃	4,03 g	1,61 g
K ₂ HPO ₄	0,50 g	0,2 g
NaNO ₃	2,50 g	1 g
K ₂ SO ₄	1,00 g	0,4 g
NaCl	1,00 g	0,4 g
MgSO ₄ . 7H ₂ O	0,20 g	0,08 g
CaCl ₂ . 2H ₂ O	0,04 g	0,016 g
FeSO ₄ . 7H ₂ O	0,01 g	0,004 g
EDTA	0,08 g	0,02 g
Água destilada	1000 ml	1000 ml

Fonte: Modificado de S. Aiba e T. Ogawa (1997)

Pesou-se e transferiu-se a um Erlenmeyer de 2000 ml todos os componentes do meio, exceto o FeSO₄ . 7H₂O que foi pesado em um erlenmeyer separadamente, pois essa substância junto aos demais sais acabaria por comprometer a cor do meio

de cultivo e interferiria diretamente na taxa de iluminação necessária para desenvolvimento da microalga. Após pesagem, os quatro erlenmeyers foram autoclavados a fim de eliminar qualquer contaminante que seja. Em fluxo laminar, levou-se os erlenmeyers e dissolveu-se com 15 ml do meio de cultivo, o $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ que havia sido pesado separadamente, e então adicionou-se à solução.

Adicionou-se então uma determinada quantidade de *Arthrospira* sp. e selou-se os erlenmeyers com um tampão alocando-se em uma estufa BOD a 26 °C com fotoperíodo 12/12 horas (claro/escuro).

No fluxo laminar, transferiu-se 30ml de meio de cultivo para tubos falcon (previamente colocados na estufa a 80 °C durante 24h para eliminar toda umidade do tubo). Centrifugou-se a 10.000 rpm durante 20 minutos a 20 °C, transferiu-se novamente para a estufa por 24 horas e pesou-se para definir quanto de biomassa tem em cada tubo. Ao longo da inoculação, a cada 15 dias, retirou-se novas alíquotas do cultivo para continuar monitorando a quantidade de biomassa presente.

4.2 Medição da concentração de dióxido de carbono em estufa BOD

Após 60 dias de cultivo, obteve-se para os dois litros de cultivo 4,6 g de biomassa algal total. Então iniciou-se as análises de medição de CO_2 .

Monitorou-se ao longo de 5 dias consecutivos quanto de CO_2 pôde ser absorvido na presença dos cultivos de *Arthrospira* sp., realizou-se 4 medições. Registrou-se a quantidade inicial de CO_2 às 9 horas, na estufa BOD sem a presença do cultivo utilizando um medidor de gases da marca Generic, equipamento o qual segundo fornecedor não há necessidade de calibração. Em seguida, inseriu-se os dois cultivos, com 1 litro cada, de *Arthrospira* sp. na estufa, aguardou-se mais uma hora e obteve-se novo resultado. Registrou-se novamente após cada hora a quantidade de dióxido de carbono presente disponibilizado pelo medidor de gases. Foram feitas 4 medições por dia, e os resultados são apresentados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Quantidade de CO₂ absorvido pelo cultivo de *Arthrospira sp.* durante 5 dias em estufa BOD

Presença de cultivo				
Dia	Horário	Sim	Não	Concentração de CO ₂ (ppm)
1°	9h		x	944
	10h	x		521
	11h	x		468
	12h	x		443
2°	9h		x	1225
	10h	x		741
	11h	x		697
	12h	x		603
3°	9h		x	940
	10h	x		697
	11h	x		521
	12h	x		482
4°	9h		x	864
	10h	x		648
	11h	x		597
	12h			483
5°	9h	x		940
	10h	x		703
	11h	x		632
	12h			464

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Fotografia 1 e 2, está representada a quantidade expressa em ppm de dióxido de carbono na estufa, respectivamente.

Fotografia 1 - Medidor de CO₂ em estufa sem presença do cultivo



Fonte: Autoria própria (2022)

Fotografia 2 - Medidor de CO₂ em estufa na presença de cultivo



Fonte: Autoria própria (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise de biomassa

Após 10 dias de cultivo, analisou-se em microscópio (40x de aumento) uma alíquota de 30 ml para acompanhar o desenvolvimento da *Arthrospira* sp., conforme a Fotografia 3.

Fotografia 3 - *Arthrospira* sp. visualizada em microscópio óptico



Fonte: Autoria própria (2022)

Com 30 dias de cultivo, foram analisadas as alíquotas com 30 ml do cultivo para determinar a quantidade de biomassa presente nas concentrações de 100% e 40% de sais. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de biomassa

Tempo de cultivo	Concentração (%)	Peso dos tubos (g)	Peso dos tubos + amostra (g)	Peso seco (g)
30 dias	40	10,0414	10,0437	0,0023
	100	10,2548	10,2581	0,0033
45 dias	40	10,1195	10,1440	0,0245
	100	10,0762	10,1123	0,0361
60 dias	40	10,3230	10,3921	0,0691
	100	10,9330	10,8347	0,0983

Fonte: Autoria própria (2022)

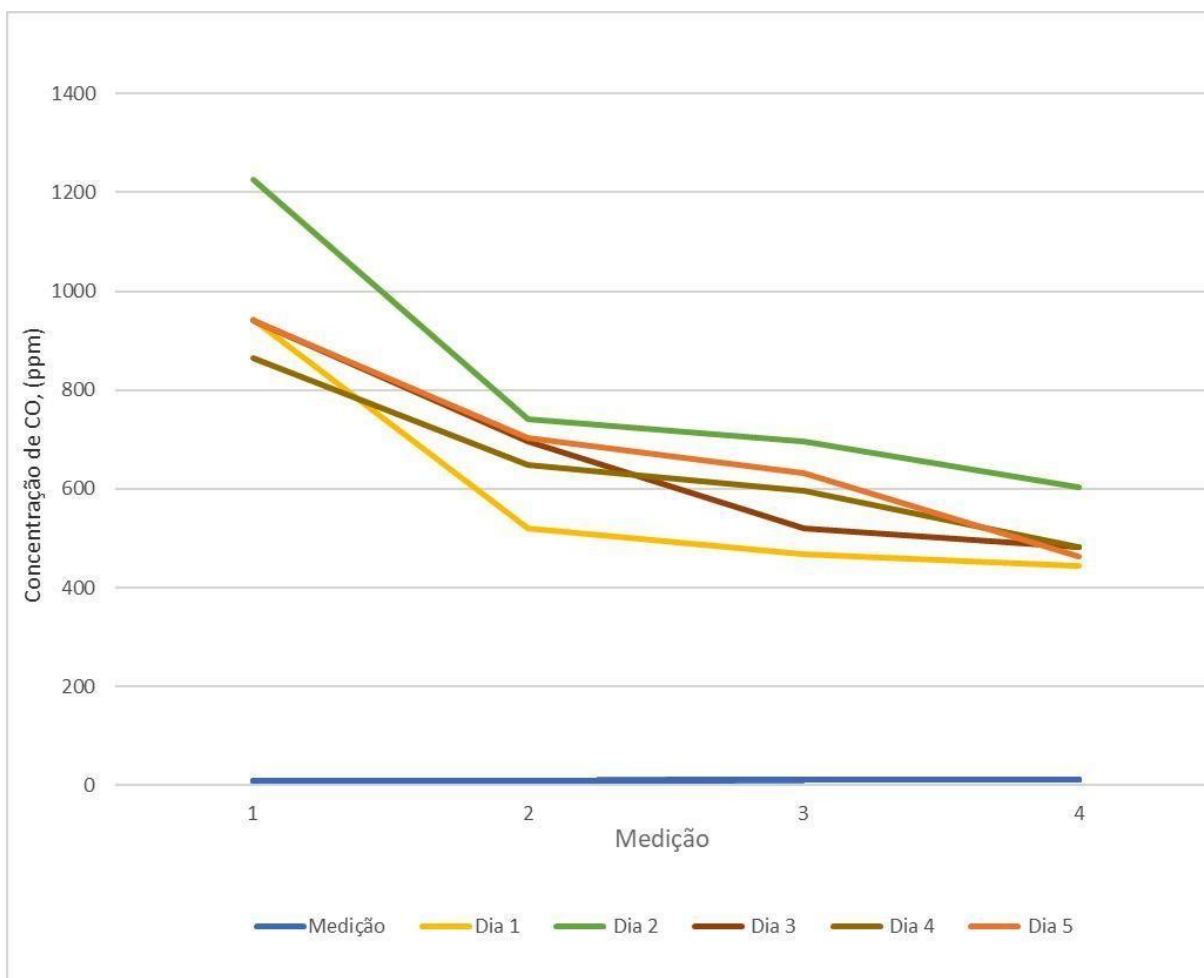
Um estudo realizado por LI *et al.* (2020), um cultivo com meio Zarrouk numa concentração de 100% da quantidade de sais, com 18 dias de cultivo apresentou 1,75 g de biomassa algal para 1 litro de cultivo. Na análise realizada apresentou com 45 dias de cultivo na concentração de 40% dos sais 0,077 g de biomassa e com 60 dias atingiu 2,3 g de biomassa para cada litro de cultivo. Comparando os resultados, com o cultivo de 100% da concentração de sais, para 45 dias obteve-se 1,2 g de biomassa algal e com 60 dias já havia 3,28 g de biomassa. Essa diferença de resultados entre as concentrações e o estudo realizado por LI *et al.* (2020), pode ocorrer devido às concentrações iniciais de microalga presente no meio utilizado para os cultivos, a quantidade de CO₂ disposta no ambiente, dentre outros fatores.

Pela pouca diferença entre os resultados, optou-se em realizar as demais análises com o meio Zarrouk adaptado na concentração de 40% da quantidade de sais para um litro de cultivo.

5.2 Quantidade de dióxido de carbono absorvido

Com relação aos dados apresentados na Tabela 2, pôde ser calculado a quantidade de absorção por dia e então, obter os valores de CO₂ absorvidos conforme Gráfico 1 abaixo:

Gráfico 1 - Diferença da quantidade de CO₂ durante análise de 5 dias pelo período de 4 horas cada dia



Fonte: Autoria própria (2022)

A análise foi realizada durante 5 dias, iniciando às 9 horas e finalizando às 12 horas em cada dia. No primeiro dia, durante as 3 horas de análise, absorveu 501 ppm (46,93%) do CO₂ presente. No segundo dia, 622 ppm (49,22%). No terceiro dia houve 458 ppm (51,28%) de dióxido de carbono absorvido. No quarto dia 381 ppm, em relação à quantidade inicial, foi o dia de maior taxa de absorção (55,90%). E, por último, foi absorvido 476 ppm (49,36%). Fazendo uma média, podemos notar que foi absorvido cerca de 488 ppm (50,54%) de CO₂ na estufa. Nota-se que a maior taxa de fixação do carbono ocorre na primeira hora e que não há uma grande alteração

nas demais horas do experimento, isso se deve devido a quantidade inicial de moléculas de CO₂ presentes no ar atmosférico.

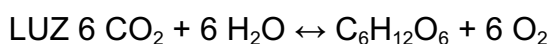
5.3 Cálculos de biofixação de dióxido de carbono

A taxa de dióxido de carbono liberado por cada ser humano varia conforme sua massa corpórea, altura, idade e atividade metabólica.

No presente trabalho, foi utilizado como base de cálculos o estudo realizado por MESQUITA E ARAÚJO (2006), onde foi medido em uma sala de aula a taxa de CO₂ presente. Primeiramente, mediu-se a concentração às 7h30 com a sala vazia, onde apresentou 723 ppm. Então, a sala foi ocupada por 60 alunos onde apresentou 2199 ppm de CO₂ após 1 hora de ocupação, o que já extrapola o limite regulamentado pela ANVISA de 1000 ppm. A segunda medição foi realizada às 11h30 e apresentava 3293 ppm de dióxido de carbono presente. Segundo Meerman e Brown (2014), cada pessoa emite por dia aproximadamente 200 g de CO₂ no mesmo ambiente.

Considerando as taxas de CO₂ que foram absorvidas durante o experimento com a *Arthrospira* sp., podemos calcular a quantidade necessária que seria utilizada para fixar o carbono do ar ambiente dessa sala de aula.

Baseando-se na composição química média da biomassa microalgal, aproximadamente 1,8 toneladas de CO₂ são necessárias para a produção de 1 tonelada de biomassa (CHISTI, 2007). Esta demanda de CO₂ é estimada através do balanço estequiométrico da equação simplificada da fotossíntese conforme demonstrado a seguir:



Massa molecular do CO₂ = 44;

Massa atômica do carbono = 12;

Então segundo a estequiometria acima, 264 g (6 x 44) de CO₂ necessita de 144 g de *Arthrospira* sp. para fixar aproximadamente 72 g (6 x 12) de carbono. E 500 g de CO₂, quantidade liberada, aproximadamente, por 60 pessoas, utiliza cerca de 273 g de microalga para fixar 136,4 g de carbono.

Considerando que, nas análises de obtenção de biomassa, foi encontrado ao final dos 60 dias de inóculo 0,0691 g de biomassa algal em 30 ml, para que fosse produzido 273 g de biomassa, seria necessário um cultivo com aproximadamente 118 litros. Porém, se considerarmos apenas a quantidade em ppm, podemos determinar que, se 2 litros de cultivo absorvem em média 488 ppm, para absorver os 3293 ppm na sala de aula, seria necessário um cultivo de apenas 13,23 litros.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou analisar a viabilidade da implementação de cultivos de microalgas em ambientes fechados, a fim de melhorar a qualidade do ar ambiente. Por ser uma microalga de fácil manuseio e reprodutividade, a *Arthrospira* sp. apresentou um bom desenvolvimento em concentrações menores de nutrientes, podendo-se obter resultados satisfatórios utilizando o meio de cultivo com 40% da concentração de sais comparando com o resultado de produção de biomassa no cultivo de 1 litro com 100% da concentração dos sais utilizados no meio Zarrouk.

Para um ambiente pequeno, a quantidade de cultivo presente foi suficiente para se obter bons resultados para análise. Pode-se relacionar a absorção de CO₂ atmosférico presente na estufa BOD com a quantidade de CO₂ presente em uma sala de aula com 60 alunos ocupando a mesma. Com isso, foi possível ampliar os resultados em uma escala maior com base no cálculo estequiométrico, definindo que, para essa sala de aula, se faz necessário um cultivo em torno de 120 litros. Contudo, baseando-se apenas na análise realizada utilizando o medidor de gases, menos de 14 litros seria o suficiente. Essa diferença de resultados pode ocorrer pela diferença de proporção no tamanho do local da análise.

7 SUGESTÃO TRABALHOS FUTUROS

Sabe-se que as microalgas possuem grande aplicabilidade, mas ainda são pouco exploradas, elas são de grande importância para a realização de pesquisas utilizando fotossíntese como fonte de energia e obtenção de compostos e processos de alto valor agregado. Sendo assim, sugere-se que sejam feitas mais pesquisas utilizando a *Arthrospira* sp., tanto para realização de projetos que busquem melhorias ao meio ambiente, quanto em busca de obtenção de novos produtos.

Sugere-se também, que seja desenvolvido o presente trabalho em uma escala maior, para que seja possível a obtenção de resultados mais fiéis, possibilitando uma comparação mais realista com o resultado estequiométrico e também, para que possa ser colocada essa ideia em prática.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 1640: Instalações de ar-condicionado. Sistemas centrais e unitários. Brasil, 2008.

AIBA, S.; OGAWA T., 1977. Assessment of Growth Yield of a Blue-green Alga, *Spirulina platensis*, in Axenic and Continuous Culture. *Journal of General Microbiology*, 102(1), 179–182.

AL-MARZOUQI, M. H. *et al.* Modeling of CO₂ absorption in membrane contactors. *Separation and Purification Technology*, v. 59, p. 286-293, 2008.

ARAÚJO, M. Relatório de análise de Desenvolvimento Limpo – MDL. ANEEL, 2000. Disponível em: <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/r1parte2d.pdf>. Acesso em: 29/05/2022.

BENEDITO, F. H. A. *et al.* Sensor de qualidade do ar em ambientes internos por nível de CO₂. 2015.

BRENNAN, L. *et al.* Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 557–577, 2010.

BORGES, L. *et al.* Potencial de absorção de carbono por espécies de microalgas usadas na aquicultura: primeiros passos para o desenvolvimento de um “mecanismo de desenvolvimento limpo”, 2007.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. v. 25, p. 294-306, 2007.

DARZINS, A. *et al.* Current status and potential for algal biofuels production. *BioIndustry Partners & NREL, Bioenergy*, 2010.

EMBRAPA. Pesquisa encontra microalgas que crescem em resíduos e geram biocombustíveis. 07 fev. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/20361833/pesquisa-encontra-microalgas-que-crescem-em-residuos-e-geram-biocombustiveis>. Acesso em: 29/05/2022.

FAKHOURY, N. A. Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais. 2017. Dissertação de mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FERNANDES, S. Sistema de monitorização e de controle de qualidade do ar interior: construção, validação e aplicação. 2015. Tese de Doutorado.

GUIMARÃES, J. *et al.* Colheita, identificação e conservação de microalgas. ACOI, Algoteca do Departamento de Botânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009.

HOMIAK, J. A. Produção de biodiesel utilizando microalgas. SaBios - Revista de Saúde e Biologia, v. 9, n. 2, p. 65-74, 2014.

HO, S-H. *et al.* Photobioreactor strategies for improving the CO₂ fixation efficiency of indigenous *Scenedesmus obliquus* CNW-N: Statistical optimization of CO₂ feeding, illumination, and operation mode. Bioresource Technology, v. 105, p. 106-113, 2012.

JONES, A. P. Indoor air quality and health. Atmospheric Environment. Atmospheric Environment: 33., 1999.

KUMAR, K. *et al.*. Development of suitable photobioreactors for CO₂ sequestration addressing global warming using green algae and cyanobacteria. Bioresource Technology, v. 102, p. 4945-4953, 2011.

LBN Análises. O impacto do Dióxido de Carbono (CO₂) em locais com ar condicionado. Disponível em:

[https://www.lbnanalises.com.br/blog/co2-ar-condicionado/#:~:text=Qualidade%20do%20Ar-,O%20impacto%20do%20Di%C3%B3xido%20de%20Carbono%20\(CO2,em%20locais%20com%20ar%20condicionado&text=Concentra%C3%A7%C3%B5es%20moderadas%20de%20di%C3%B3xido%20de,gerar%20a%20perda%20de%20consici%C3%Aancia](https://www.lbnanalises.com.br/blog/co2-ar-condicionado/#:~:text=Qualidade%20do%20Ar-,O%20impacto%20do%20Di%C3%B3xido%20de%20Carbono%20(CO2,em%20locais%20com%20ar%20condicionado&text=Concentra%C3%A7%C3%B5es%20moderadas%20de%20di%C3%B3xido%20de,gerar%20a%20perda%20de%20consici%C3%Aancia). Acesso em: 27/05/2022.

LI, Y. *et al.* Biofuels from Microalgae. Biotechnol. Prog, vol. 24, pág. 815-820, 2008.

MATA, T.M. *et al.* Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.14, p.217-232, 2010.

MEERMAN, R; BROWN, A. J. When somebody loses weight, where does the fat go? Revista The BMJ, 2014.

MESQUITA, M. S.; ARAÚJO, F. M. Diagnóstico da qualidade do ar interno das edificações do campus da Unifor. Revista Tecnologia Fortaleza, v. 27, p. 163-170, 2006.

MOHANTY, P. *et al.* The Photosynthetic Apparatus of *Spirulina*: Electron Transport and Energy Transfer. In: VONSHAK, A. *Spirulina platensis (Arthrospira)* Physiology, cell-biology and biotechnology. London: Taylor & Francis, 1997, Cap. 2, p. 17-42.

MORAIS, M. *et al.* Biofixation of CO₂ from Synthetic Combustion Gas Using Cultivated Microalgae in Three-Stage Serial Tubular Photobioreactors. Zeitschrift für Naturforschung, v. 66, p. 313-318, 2011.

PENG, Y *et al.* Advance in post-combustion CO₂ capture with alkaline solution: a brief review. *Energy Procedia*, v. 14, p. 1515-1522, 2012.

MOREIRA, C. Fotossíntese. *Revista Ciência Elementar*, v. 1, p. 5, 2013.

Quadros, M. E. 2008. Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: parâmetros físico-químicos e microbiológicos. 135 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RADMANN, E. M.; CAMERINI, F. V.; SANTOS, T. D.; COSTA, J. A. V. Isolation and application of SOX and NOX resistant microalgae in Biofixation of CO₂ from thermoelectricity plants. *Energy Conversion and Management*, v. 52, p. 3132-3136, 2011.

SANGUESSUGA. M. S. G. Síndrome dos Edifícios Doentes Estudo da qualidade do ar interior e despiste da eventual existência de SED entre a população do edifício “E” de um estabelecimento de ensino superior. Dissertação de mestrado da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, 2012.

ZARROUK, C. Contribution à l'étude d'unecyanophycée. Influence de diversfacteurs physiques et chimiquessur la croissance et photosynthese de *Spirulina maxima* Geitler. Ph.D. Thesis, University of Paris, 1966.