

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS ILHA SOLTEIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO LUIS QUIROZ PALOMINO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS PARA OPERAÇÃO E
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA A PARTIR DE MICROALGAS EM FOTOBIOREATORES**

Ilha Solteira

2017

RICARDO LUIS QUIROZ PALOMINO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS PARA OPERAÇÃO E
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA A PARTIR DE MICROALGAS EM FOTOBIORREATORES**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos

Orientador

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Q86d Quiroz Palomino, Ricardo Luis.
Desenvolvimento de sistemas eletrônicos para operação e monitoramento de parâmetros envolvidos na produção de biomassa a partir de microalgas em fotobiorreatores / Ricardo Luis Quiroz Palomino. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
67 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, 2017

Orientador: Ricardo Alan Verdú Ramos
Inclui bibliografia

1. Monitoramento. 2. Fotobiorreator. 3. Microalga. 4. Temperatura. 5. Luminosidade. 6. Fermentação.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS PARA OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DE PARÂMETROS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA A PARTIR DE MICROALGAS EM FOTOBIOREATORES.

AUTOR: RICARDO LUIS QUIROZ PALOMINO

ORIENTADOR: RICARDO ALAN VERDU RAMOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA MECÂNICA, área: CIÊNCIAS TÉRMICAS pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RICARDO ALAN VERDU RAMOS

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. EMANUEL ROCHA WOISKI

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Dra. VANESSA DA SILVEIRA RAMOS

Técnico de Laboratório/Microbiologia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 01 de setembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos, muito obrigado pela oportunidade que me deu, por todos os ensinamentos e sugestões durante todo este tempo de trabalho. Eu me sinto muito afortunado de ter feito parte do seu grupo de pesquisa.

À minha família, porque sem ela nada teria sido possível. Em especial à minha mãe, Yesenia, que sempre me apoia, aconselha e escuta nos momentos mais difíceis em que mais preciso. Ao meu pai, aos meus primos, tios, e ao meu avô Luis, obrigado por terem acreditado em mim e por terem me ajudado sempre.

À minha namorada, Juliana, que sempre me apoiou e confortou, e à família Pereira dos Santos, por ter me acolhido como parte da família.

À UNESP - Campus de Ilha Solteira e a todos os docentes e funcionários que sempre ofereceram o melhor de si para eu conseguir finalizar minha pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

E, finalmente, a todos os amigos de Ilha Solteira que fizeram mais tranquila e divertida a minha vida.

RESUMO

O efeito de diferentes condições para a produção de biomassa a partir do cultivo de microalgas em um fotobiorreator com iluminação com luz de LED foi estudado nesta dissertação. Com o objetivo de avaliar a produtividade de biomassa da espécie de microalga *Scenedesmus sp*, foram testadas quatro condições de cultivo no fotobiorreator, a saber: cultivo sem controle do fotoperíodo (iluminação durante todo o período de cultivo); cultivo com controle do fotoperíodo por um sistema eletrônico desenvolvido (12 horas de luz e 12 horas de escuro); cultivo com monitoramento da temperatura do ambiente a 20 °C; e, finalmente, cultivo com injeção de CO₂ produzido por meio de um sistema de fermentação desenvolvido. O sistema eletrônico implementado é controlado por uma placa Arduino Uno, com as seguintes principais funções programadas no microcontrolador: controlar o fotoperíodo; monitorar a temperatura; e facilitar o acesso remoto aos dados dos sensores utilizados. O cultivo de microalgas da espécie *Scenedesmus sp* em fotobiorreator, durante 10 dias, mostrou ter uma produtividade modesta de 10,2 mg/l.dia, com um fotoperíodo de 24 horas de luz; de 13,5 mg/l.dia, com o controle do fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro; de 17,8 mg/l.dia, com o monitoramento de temperatura em um ambiente com a temperatura controlada a 20 °C e controle do fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro; e, finalmente, uma produtividade dentro dos níveis normais de 36,2 mg/l.dia, com o controle do fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro e com a injeção do CO₂ produzido durante aproximadamente 3 dos 10 dias de cultivo.

Palavras-chave: Monitoramento. Fotobiorreator. Microalga. Temperatura. Luminosidade. CO₂. Fermentação. Biomassa.

ABSTRACT

The effect of different conditions for production of biomass from the microalgae culture in a photobioreactor with LED light was studied in this dissertation. In order to evaluate the biomass productivity of the *Scenedesmus sp* microalgae specie, four cultivation conditions were tested in the photobioreactor: uncontrolled photoperiod cultivation (lighting during the whole growing period); cultivation with control of the photoperiod by an electronic system developed (12 hours of light and 12 hours of darkness); cultivation with ambient temperature monitoring at 20 °C; and, finally, cultivation with controlled injection of CO₂ produced by means of a developed fermentation system. The electronic system implemented is controlled by an Arduino Uno board with the following main functions programmed in the microcontroller: controlling of the photoperiod; temperature monitoring; and simplification of the remote access to the data of the sensors used. The microalgae cultivation of *Scenedesmus sp* species in photobioreactor for 10 days showed a modest productivity of 10.2 mg/l.day, with the control of photoperiod of 24 hours of light; 13.5 mg/l.day, with the controls of the photoperiod 12 hours of light and 12 hours of dark; 17.8 mg/l.day, with monitoring of temperature in an environment with a controlled temperature at 20 °C and photoperiod 12 hours of light and 12 hours of darkness; and, finally, a productivity with normal levels 36.2 mg/l.day, with the control of photoperiod of 12 hours of light and 12 hours of darkness and with the injection of the CO₂ produced during approximately 3 of the 10 days of culture.

Keywords: Monitoring. Photobioreactor. Microalgae. Temperature. Luminosity. CO₂. Fermentation. Biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alguns tipos de microalgas: a) Azul, b) Verde, c) Vermelha e d) Dourada.	15
Figura 2 - Sistema de cultivo aberto tipo tanque com formato de pista de corrida.	16
Figura 3 - Sistema de cultivo fechado.	17
Figura 4 - Biocombustíveis a partir da biomassa de microalgas.	19
Figura 5 - Processo bioquímico da fermentação alcoólica da levedura.	22
Figura 6 - Consumo de glicose por parte da levedura em meio com células livres.	23
Figura 7 - Placa Arduino Uno.	26
Figura 8 - LCD <i>Keypad Shield</i>	26
Figura 9 - Diagrama de conexões entre o LCD <i>Keypad Shield</i> e o Arduino Uno.	27
Figura 10 - <i>Protoshield</i> Arduino com fiação soldada.	28
Figura 11 - Diagrama de conexão entre o Arduino e sensores.	29
Figura 12 - Diagrama PCB de conexão e cabeamento de sensores no <i>protoshield</i>	29
Figura 13 - Diagrama de conexão circuito de potência.	30
Figura 14 - Circuito de potência optoisolado.	31
Figura 15 - Sensor DS18B20 para medida de temperatura no fotobiorreator.	32
Figura 16 - Sensor DS3231 para medição de temperatura ambiente.	32
Figura 17 - Módulo Wifi.	34
Figura 18 - Conexão entre o Arduino e o módulo Wifi.	35
Figura 19 - Conexão com o módulo Wifi para reprogramar as funções.	36
Figura 20 - Servidor com dados do fotobiorreator.	37
Figura 21 - Conexão módulo <i>bluetooth</i> e Arduino.	38
Figura 22 - Fermentador construído.	39
Figura 23 - Tampa do fermentador.	40
Figura 24 - Medição de dióxido de carbono.	41
Figura 25 - Fotobiorreator disponível no IPBEN de Ilha Solteira.	43

Figura 26 - Encosto que isola o meio de cultura da lâmpada.	43
Figura 27 - Novo sistema de aeração e fornecimento de ar no fotobiorreator.	44
Figura 28 - Flocculação, filtração e pesagem da biomassa.	45
Figura 29 - Produção de dióxido de carbono.....	47
Figura 30 - Monitoramento da temperatura ambiente.	49
Figura 31 - Monitoramento da temperatura do meio de cultura.....	50
Figura 32 - Comparativo da produtividade de biomassa.	51
Figura 33 - Coloração do meio de cultivo depois de 10 dias.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Meio de cultura MBM (<i>Modified Bristol Medium</i>).....	42
Tabela 2 - Misturas utilizadas para a produção de CO ₂	46
Tabela 3 - Produtividade de biomassa no cultivo controle.....	48
Tabela 4 - Produtividade de biomassa com controle do fotoperíodo.	48
Tabela 5 - Produtividade de biomassa com controle do fotoperíodo e monitoramento da temperatura.	50
Tabela 6 - Produtividade de biomassa com controle do fotoperíodo e com injeção de CO ₂ . ..	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATP - Adenosina Trifosfato

CA - Corrente Alternada

GND - Terra

GPIO - Interfase de entrada/saída

I²C - Circuito inter-integrado

ICSP - Programação em Serie de Circuitos

IDE - Ambiente de Desenvolvimento Integrado

LCD - Display de Cristal Líquido

LED - Diodo Emissor de Luz

PCB - Placa de Circuito Impresso

PVC - Policloreto de Vinila

PWM - Modulação por Largo de Pulso

RMS - Valor Eficaz

RTC - Relógio de Tempo Real

Rx - Recepção

SDA - Dados em Serie

SCL - Relógio em Serie

TRIAC - Triodo para Corrente Alternada

Tx - Transmissão

PREFÁCIO

Este trabalho está inserido dentro das linhas de pesquisa do Laboratório Associado do IPBEN (Instituto de Pesquisa em Bioenergia) no Campus da UNESP de Ilha Solteira, sendo o mesmo dividido em 4 Capítulos, conforme será descrito a seguir.

O Capítulo 1 trata sobre a introdução do trabalho, apresentando um contexto histórico, destacando a importância do trabalho, assim como os objetivos do mesmo.

No Capítulo 2 são apresentados os materiais e métodos implementados para o desenvolvimento do projeto. Nele estão presentes os aspectos relacionados à implementação do sistema eletrônico, os sensores utilizados, incluindo diagramas de conexão e o monitoramento remoto através de duas formas diferentes, assim como a construção do fermentador e do fotobiorreator, o meio de cultura e cada um dos componentes, o cultivo e a extração da biomassa.

O Capítulo 3 apresenta os experimentos feitos com o fermentador e os experimentos feitos para a extração de biomassa a partir do cultivo de microalgas em quatro condições diferentes.

No Capítulo 4 são apresentadas as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, é apresentada uma lista com as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho e, também, os anexos nos quais são apresentados os cálculos de atenuação da fermentação e os códigos programados nos microcontroladores utilizados.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Contexto histórico	13
1.2	Importância e relevância do tema	14
1.3	Processo de fermentação	21
1.4	Objetivo	24
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
2.1	Placa Arduino	25
2.2	Outras placas e conexões utilizadas	26
2.3	Sensores de temperatura	31
2.4	Monitoramento remoto	33
2.4.1	Monitoramento remoto através de Wifi	33
2.4.2	Monitoramento remoto através de <i>bluetooth</i>	38
2.5	Fermentador e produção de dióxido de carbono	39
2.6	Meio de cultura	41
2.7	Fotobiorreator	42
2.8	Cultivo	45
2.9	Extração da Biomassa	45
3	EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES.....	46
3.1	Produção de CO ₂	46
3.2	Cultivo e produção de biomassa	48
4	CONCLUSÕES.....	53
4.1	Principais conclusões	53
4.2	Trabalhos futuros	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A - Cálculo da atenuação da fermentação	58

APÊNDICE B - Código programado no Arduino	60
APÊNDICE C - Código programado no módulo Wifi	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto histórico

As microalgas como fonte de alimento têm sido consumidas tradicionalmente em alguns países. Isso ocorre mais notoriamente na África ao redor do lago Chad, onde são coletadas, secadas e vendidas nos mercados locais as microalgas da espécie *Spirulina*.

As pesquisas científicas sobre microalgas começaram no século 19 com cultivos iniciais em laboratório, em especial da espécie de crescimento rápido *Chlorella*. Isto levou aos primeiros estudos sobre a eficiência fotossintética, sendo que estes estudos sugeriram a boa capacidade de fixação das microalgas às moléculas de CO₂.

A ideia de que as microalgas têm uma alta produtividade, muito maior que as plantas cultiváveis, vem desde 1940 quando foram encontradas algumas espécies de microalgas que acumulavam altos níveis de lipídios, sendo que, após a Segunda Guerra Mundial, foi concluída a primeira planta piloto para o cultivo das microalgas em larga escala apresentada por Burlew (1953), cujo objetivo era produzir uma fonte alternativa de proteínas, vitaminas e aminoácidos que pudesse suplementar a dieta alimentar de humanos.

No ano de 1960 começou, no Japão, o desenvolvimento da produção comercial a partir de uma pequena indústria de produção de microalgas da espécie *Chlorella*, a qual depois se expandiu até Taiwan, dando início à venda de microalgas como um suplemento alimentar.

Na década de 70 surgiu o conceito de produção de biocombustíveis a partir das microalgas, como resposta à crise do petróleo. Em 1970 entrou em operação no México a primeira planta de produção de microalgas da espécie *Spirulina* em tanques abertos. Devido ao sucesso dessa planta, novas tecnologias foram implementadas no início dos anos 80 para o cultivo em sistemas abertos, como lagoas em formato de pista de corrida e com agitadores de rodas de pás. Países como a Índia uniram-se ao cultivo em 1990 e em meados do ano 2000 a China tornou-se a maior produtora de microalgas, respondendo hoje por 65 a 75 % do total da produção mundial (SLOCOMBE; BENEMANN, 2016).

No que diz respeito ao cultivo de microalgas em fotobiorreatores, ele foi iniciado nos Estados Unidos em 1980, porém o primeiro país a construir uma planta piloto foi a Inglaterra em 1983, sendo o fotobiorreator do tipo helicoidal tubular e denominado “Biocoil”. Contemporâneo ao fotobiorreator construído em Inglaterra, os franceses Claude Gudin e

Daniel Chaumont do *Centro de Estudos Nucleares de Cadarache* construíram um fotobiorreator tubular para cinco plantas piloto na França e operaram entre 1986 e 1989. Em 1990 começaram a surgir fotobiorreatores mais modernos e sofisticados na Itália e mais tarde na Alemanha e em Israel em 2000 (BOROWITZKA; MOHEIMANI, 2013).

1.2 Importância e relevância do tema

Hoje, devido aos diversos efeitos negativos da queima de combustíveis fósseis sobre o meio ambiente, o cenário com um esgotamento das fontes de energia e o impacto que o homem tem provocado sobre a natureza e, como consequência, sobre o clima, busca-se nos biocombustíveis a solução dos problemas que foram ignorados no passado.

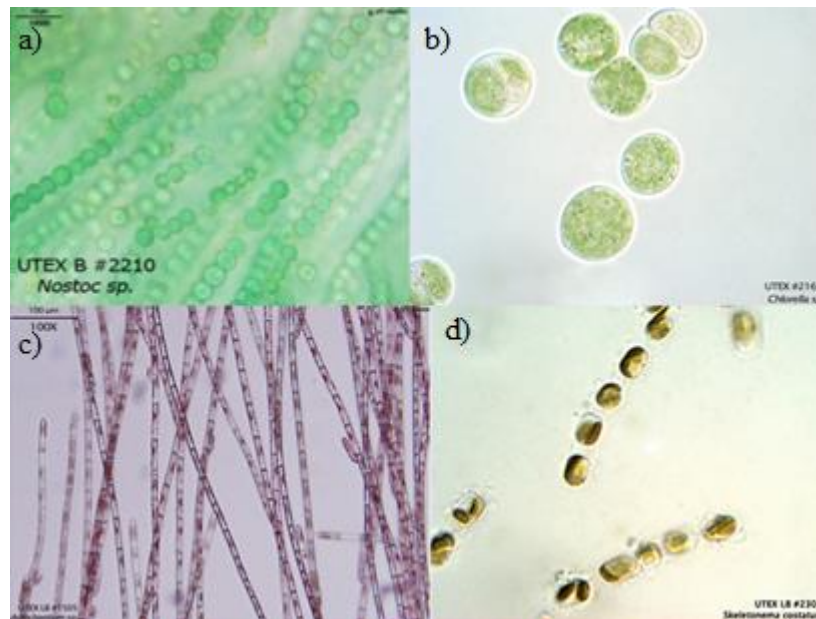
Diante deste contexto, tem sido crescente o número de trabalhos sobre biocombustíveis de terceira geração, que utilizam como matéria-prima espécies vegetais e microrganismos de rápido crescimento, dentre as quais uma das alternativas sustentáveis, e talvez a mais promissora, são as microalgas (CHISTI, 2007).

As microalgas são organismos fotossintetizantes encontrados principalmente em ambientes aquáticos de água doce ou salobra que desempenham vários papéis ecologicamente importantes, como a fixação biológica de dióxido de carbono e de nitrogênio que, em conjunto, são propriedades fundamentais para a qualidade ambiental (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014a).

Estes microrganismos precisam de um meio de cultura que forneça nutrientes suficientes para seu crescimento, dentre os quais se destacam os seguintes macronutrientes: carbono, nitrogênio, fósforo e potássio. É importante encontrar o equilíbrio entre a quantidade de cada um dos macronutrientes para as microalgas se desenvolverem corretamente e, também, para que possam conseguir uma ótima fixação de CO₂ (WANG et al., 2008).

Estima-se que existam mais de 50.000 espécies de microalgas das quais 30.000 já foram estudadas, sendo que as mesmas podem ser classificadas segundo sua taxonomia, incluindo algas azuis, verdes, vermelhas e douradas, como, por exemplo, as mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Alguns tipos de microalgas: a) Azul, b) Verde, c) Vermelha e d) Dourada.



Fonte: AUTEX (2017)

As alternativas mais comuns para a produção de biomassa a partir das microalgas são classificadas de acordo com as características físicas do recipiente que contém o meio de cultura, sendo denominadas de sistemas abertos e sistemas fechados.

Os sistemas abertos apresentam variações em suas dimensões e são chamados de tanques de recirculação. São encontrados em diversas formas e funcionamento, como caixas de água e piscinas rasas de diferentes formatos. Em geral, são sistemas de grande porte e devem ser abertos com incidência direta da luz do sol, sem nenhum tipo de tampa ou proteção, e permitem a produção de biomassa em grandes quantidades, com menor custo de manutenção. A profundidade do tanque deve ser de 15 a 20 cm, visando assegurar uma adequada incidência de luz solar no meio de cultivo (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014b).

O sistema, mostrado na Figura 2, é o mais utilizado em escala industrial por ser mais barato e de simples operação. Este é um sistema aberto conhecido com o nome de tanque com formato de pista de corrida ou *raceway ponds* e geralmente possui um agitador em formato de roda de pás.

Figura 2 - Sistema de cultivo aberto tipo tanque com formato de pista de corrida.



Fonte: Chiamonti et al. (2013).

O cultivo em grande escala envolve um maior consumo de volume de água de boa qualidade e deve possuir registro de análise dos nutrientes. A caracterização da água possibilita a adequada aplicação dos nutrientes e, com isso, a redução de gastos pela diminuição dos componentes utilizados para o enriquecimento do meio de cultura (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014b).

As desvantagens dos sistemas abertos relacionam-se à possibilidade de contaminação por outras espécies; evaporação da água; ou ao transbordamento e diluição do meio de cultura, devido a um excesso de chuvas; aliadas às dificuldades de se controlar algumas variáveis do processo como, luminosidade, pH, temperatura e CO₂ (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014b).

Os sistemas fechados, também conhecidos como “fotobiorreatores”, são equipamentos transparentes, construídos geralmente com tubos de plástico, vidro ou policarbonato, de modo a permitir a passagem da luz (Figura 3). Eles são concebidos de maneira a aproveitar a luz o máximo possível, sendo distribuídos em painéis de forma tubular, achatada ou em serpentina (CHISTI, 2007).

Figura 3 - Sistema de cultivo fechado.



Fonte: Greenwell et al. (2010).

Os fotobiorreatores de configuração fechada se caracterizam por promoverem um maior crescimento das microalgas, além de favorecerem o controle de alguns parâmetros de que devem ser monitorados, como as condições de fluxo de ar ou CO_2 , a temperatura e a intensidade luminosa, entre outros. Dentre as principais vantagens desse sistema, podem ser destacadas as menores perdas de água por evaporação; a redução dos problemas relacionados à contaminação por outros microrganismos; a maior facilidade nos procedimentos de coleta de biomassa, pois se concentra em menores volumes de meio de cultura; a menor necessidade de espaço devido ao volume; o maior rendimento por unidade de área e volume; a maior facilidade de aproveitar o meio de cultura; e a possibilidade de obter cultivos com alto grau de pureza (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014b).

Segundo Richmond (2004), a temperatura, luminosidade, injeção de dióxido de carbono, agitação, pH, nutrientes, tipo de biorreator, idade do inóculo, concentração inicial de biomassa e densidade populacional, são os principais fatores que influenciam o crescimento das microalgas. Assim, a manipulação desses fatores no cultivo de microalgas pode chegar a atingir alvos específicos como uma maior produção de lipídios ou de biomassa.

Os efeitos da temperatura nas reações bioquímicas das microalgas têm uma influência muito importante. Usualmente uma diminuição na temperatura por baixo do grau de maior crescimento, incrementa os graus de lipídios insaturados e, também, pode afetar a taxa metabólica e o crescimento celular (RICHMOND, 2004). Por outro lado, pode-se

observar que espécies de microalgas como a *Scenedesmus sp* são capazes de se desenvolver em temperaturas desde 10 °C até 30 °C, sendo 20 °C a temperatura onde produz uma boa quantidade de biomassa e, também, a maior quantidade de lipídios (XIN; HONG-YING; YU-PING, 2011). Assim, o Brasil, com temperaturas normais entre 18 e 35 °C, reúne as condições ideais para cultivo de microalgas (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014b).

A luz é essencial para o desenvolvimento das microalgas. A quantidade de energia luminosa recebida pelas células irá repercutir na fotossíntese, influenciando a produção de biomassa e a taxa de crescimento das culturas microalgais (DERNER, 2006). As microalgas têm muita sensibilidade a altas intensidades luminosas, bem como a alterações do ciclo claro/escuro (ROCHA; GARCIA; HENRIQUES, 2003). Tendo isso como base, fotobiorreatores tipo *air lift* foram desenvolvidos com a função de transportar a biomassa que se encontra em um lugar de pouca incidência luminosa com as bolhas criadas pelo ar injetado e levar essa biomassa a uma parte do fotobiorreator com maior iluminação através do fluxo de ar (POSTEN, 2009). Os impactos da intensidade da luz na eficiência da fotossíntese têm sido motivo de pesquisas já que a taxa fotossintética é conhecida por ter uma ligação direta com a intensidade da luz dentro de um determinado intervalo (CHU; SHEG; LAM, 2014). A fonte de luz é classificada em termos de fotoperíodo (horas de luz / horas de escuro, ou seja, tempo de exposição à luz), sendo particularmente comum o uso de 12 horas de luz / 12 horas de escuro (ANDRADE; COLOZZI FILHO, 2014b).

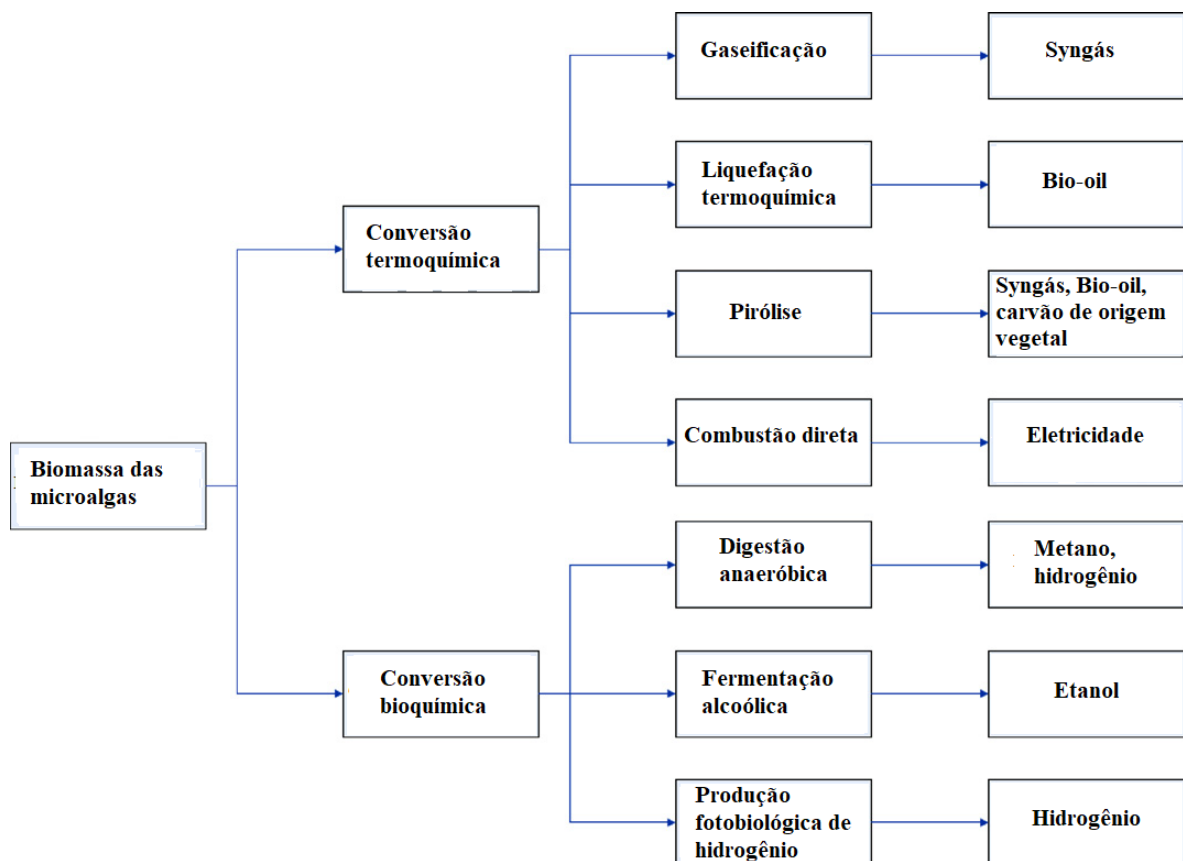
Outro fato essencial ao desenvolvimento da microalga é a quantidade de CO₂, pois ele fornece uma maior quantidade de energia disponível para as microalgas realizarem a fotossíntese. Porém, quantidades excessivas de CO₂ podem mudar o pH e limitar o crescimento das microalgas, afetando a produção de biomassa (AFYOUNI et al., 2011).

As microalgas podem fixar o carbono de diferentes fontes como o CO₂ disponível na atmosfera, CO₂ proveniente de gases de exaustão de processos industriais e de carbonatos solúveis no meio de cultura como, por exemplo, NaHCO₃ ou Na₂CO₃. Tradicionalmente, como já mencionado, as microalgas são cultivadas em sistemas abertos ou tanques onde o meio de cultura fica exposto à aeração ou ao fluxo de ar. As microalgas capturam o dióxido de carbono da atmosfera, porém a atmosfera contém entre 0,03 e 0,06 % de CO₂. Em contrapartida os gases de exaustão de processos industriais contêm até 15 % de CO₂, fornecendo uma fonte rica de dióxido de carbono para o cultivo de microalgas o que permite potencialmente uma melhor assimilação do CO₂ para os processos biológicos (WANG et al., 2008).

Um dos processos industriais mais conhecidos pela geração de dióxido de carbono é a fermentação. Este processo consiste em fornecer carbono, através do açúcar, como fonte de energia para microrganismos ou leveduras que são capazes de transformar a energia disponível no meio em álcool e CO₂. Este processo é conhecido como fermentação alcoólica, e é um método barato que permite gerar dióxido de carbono e etanol utilizando fermento biológico de padaria e açúcar dissolvido em água.

Por fim, o estudo das microalgas tem permitido um avanço nas pesquisas relacionadas a novas fontes de energia renováveis, tendo as mesmas sido utilizada como fonte para a produção de vários tipos de biocombustíveis, através da extração da biomassa com a implementação de diferentes processos físicos ou bioquímicos, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Biocombustíveis a partir da biomassa de microalgas.



Fonte: Adaptado de Brennan e Owende (2009).

Como observado, a biomassa das microalgas tem uma grande utilidade na produção de biocombustíveis, dentre os quais pode ser tanto um biocombustível líquido quanto um biocombustível gasoso. A conversão da biomassa obtida das microalgas em energia

compreende diferentes processos, sendo que cada um deles depende do tipo de biomassa, de sua conservação e da utilização final. As tecnologias para transformar a energia da biomassa das microalgas podem ser classificadas em duas categorias: a conversão termoquímica e a conversão bioquímica. Os fatores que influenciam o processo a ser escolhido dependem do tipo e quantidade de biomassa, do tipo de energia desejada, do custo de produção, dentre outros fatores.

Dentre a conversão termoquímica podem ser encontradas as seguintes metodologias para a obtenção de energia:

- **Gaseificação:** envolve a oxidação parcial da biomassa e sua transformação em um combustível gasoso a altas temperaturas (800-1000 °C).
- **Liquefação termoquímica:** É um processo que pode ser implementado para transformar a biomassa úmida de microalgas em combustível líquido. É um processo realizado a baixas temperaturas (300-350 °C) e alta pressão (5-20 MPa). O processo utiliza a alta atividade da água em condições subcríticas para decompor a biomassa em materiais menores com uma maior densidade de energia.
- **Pirólise:** É a conversão de energia através de altas temperaturas (350-700 °C) com ausência de ar.
- **Combustão direta:** É o processo onde a biomassa é queimada em presença de ar para converter a energia química armazenada nos gases. O processo é realizado a temperaturas altas acima dos 800 °C.

Dentre os processos bioquímicos de conversão de biomassa em outros tipos de combustíveis podem ser destacados os seguintes:

- **Digestão anaeróbica:** Este processo transforma os resíduos orgânicos em biogás, principalmente metano e dióxido de carbono, e envolve a separação da matéria orgânica para produzir um gás com poder calorífico reduzido entre 20 e 40 % com relação ao da matéria-prima.
- **Fermentação alcoólica:** É o processo que transforma os açúcares ou glucose presentes em etanol. Para as microalgas este método é conhecido como fermentação escura (*dark fermentation*), e consiste em adicionar glicose ao meio de cultura como fonte de carbono e deixar o processo acontecer sem presença de luz em um fermentador.
- **Produção fotobiológica de hidrogênio:** As microalgas possuem as características genéticas, metabólicas e enzimáticas para produzir hidrogênio gasoso. Durante a

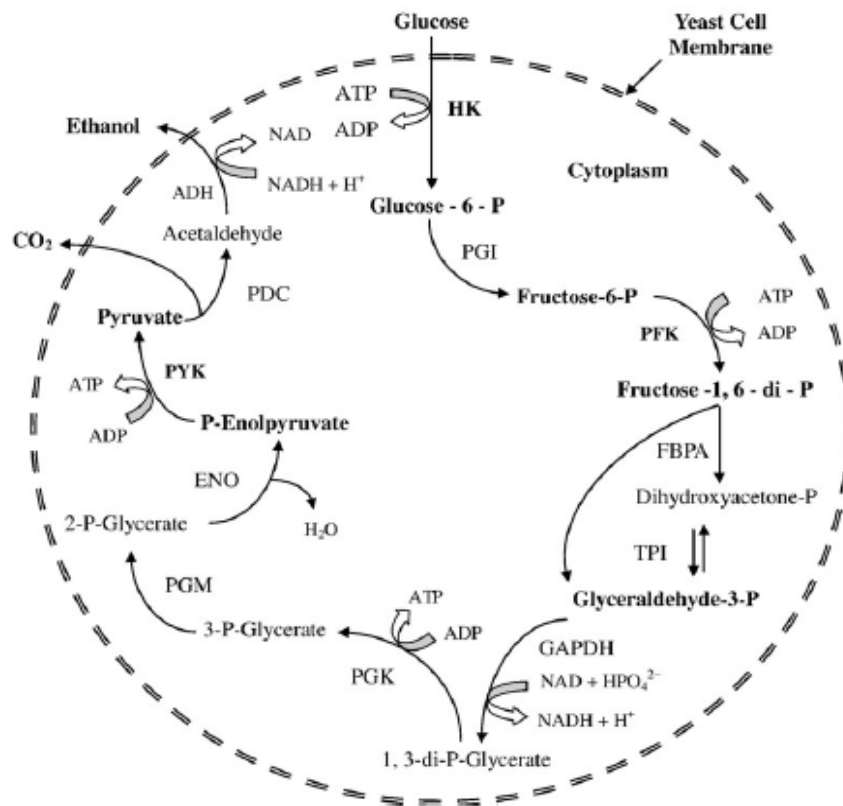
fotossíntese as microalgas convertem as moléculas de água em íons de hidrogênio e oxigênio. Assim, os íons de hidrogênio serão transformados pelas enzimas hidrogenases em hidrogênio gasoso em condições anaeróbicas.

1.3 Processo de fermentação

A fermentação é um processo anaeróbio de síntese de ATP onde há liberação de energia devido à ação de uma levedura e de alguns tipos de bactérias. Durante o processo da fermentação alcoólica a levedura obtém energia do meio ou substrato que se encontra submersa e, em condições de ausência de oxigênio, transforma uma parte dessa energia em álcool, conforme a célula vai liberando dióxido de carbono. Este processo é conhecido como fermentação e, teoricamente, segundo Bai; Anderson; Moo-Young (2008), para cada molécula de glicose consumida são produzidas 0,511 moléculas de etanol e 0,489 de CO₂.

Na Figura 5 é descrito o caminho metabólico que a levedura faz durante a fermentação. Este caminho é percorrido pela energia em forma de glicose até ser transformado em dióxido de carbono e etanol. O processo começa com a glicose que, ao ser ingerida pela levedura e depois de alguns processos de obtenção e utilização da energia, degrada-se e se converte em piruvato para formar as moléculas de etanol e dióxido de carbono.

Figura 5 - Processo bioquímico da fermentação alcoólica da levedura.



Fonte: Bai, Anderson e Moo-Young (2008).

Este tipo de fermentação é realizado por diversos microrganismos. Um dos microrganismos responsáveis pela reação é a levedura do tipo *Saccharomyces cerevisiae*, que é bastante conhecida por produzir álcool durante a fermentação e, também, é a mesma espécie utilizada para dar volume ao pão.

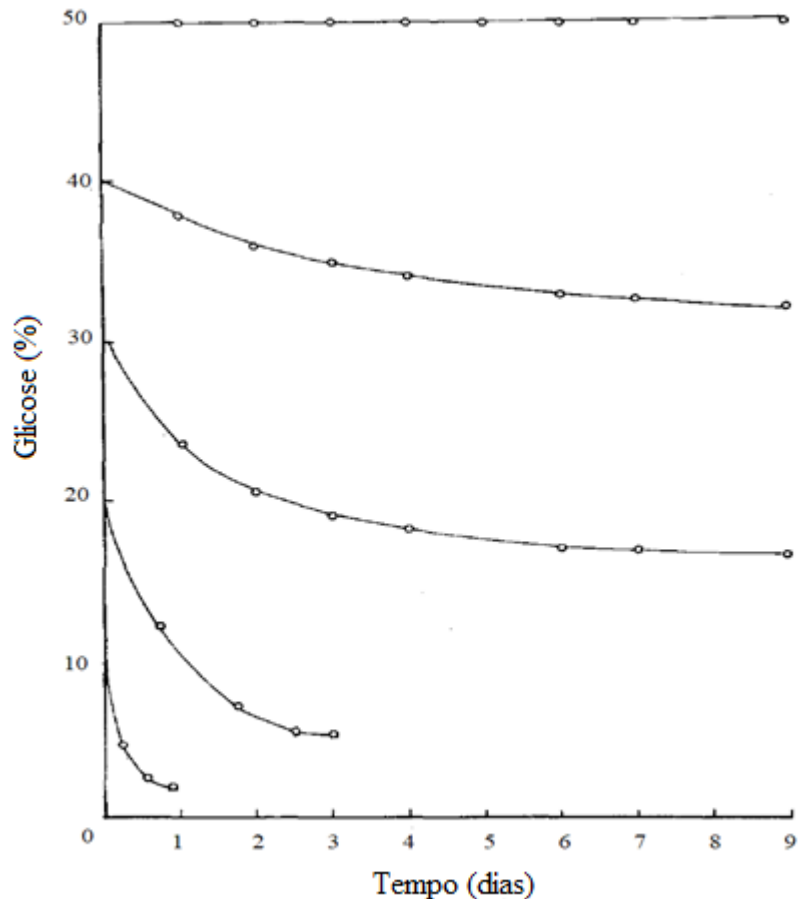
Segundo a literatura (AIBA; SHODA; NAGATANI, 1968; LIN; TANAKA, 2006), o processo do crescimento da levedura dentro do meio está limitado por dois fatores; o primeiro é devido à quantidade de glicose, e o segundo é devido à quantidade de etanol presente no substrato produzido durante a fermentação. Estas limitações podem ser corrigidas com a imobilização das células da levedura através de meios de cultura sólidos, como o gel de ágar, por exemplo. Com isto, busca-se proteger a célula da levedura entrar em contato direto com o álcool e fornecer uma forma mais eficiente de energia à célula.

Para meios onde as células das leveduras se encontram livres, as concentrações de 30 % p/v de glicose têm menos inibição da fermentação do que as concentrações de 40 a 50 % de glicose, nas quais ocorre uma inibição muito alta e a fermentação é quase nula. Com concentrações de 10 a 20 % de glicose a fermentação alcoólica ocorre em taxas mais altas e,

portanto, o consumo de glicose ocorre em um intervalo de tempo menor, como mostrado na Figura 6 (HOLCBERG; MARGALITH, 1981).

Vale destacar que a unidade p/v vem das palavras em inglês *peso/volume* e representa uma medida de, por exemplo, g/l.

Figura 6 - Consumo de glicose por parte da levedura em meio com células livres.



Fonte: Adaptado de Holcberg e Margalith (1981).

Cabe destacar que, para a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a quantidade de glicose que permite uma taxa de fermentação mais prolongada está em torno de 30 % do total do substrato.

Desta forma, para o cultivo de leveduras num substrato com uma porcentagem de 30 % de glicose deve ser provido CO_2 ao sistema por um tempo de aproximadamente seis dias, sendo que os três primeiros dias fornece o maior volume do gás. Depois de seis dias o consumo de glicose por parte da levedura cessa e a produção de dióxido de carbono se

interrompe. Com uma porcentagem um pouco menor que 20 % de glicose ainda disponível, não é possível prosseguir a fermentação devido ao fato de o álcool gerado pela própria levedura impedir que o processo continue até esgotar a glicose.

Segundo Lin e Tanaka (2006), as quantidades de açúcar para o tipo de levedura *Saccharomyces cerevisiae* utilizada para fazer pão são de 150 a 300 g por cada litro de água, podendo produzir no máximo 53 gramas de etanol por cada litro de mistura água, açúcar e levedura, em 8 dias de fermentação. Uma das vantagens de utilizar a fermentação é que, ao final do processo fermentativo, temos uma mistura de água, açúcar, levedura e etanol, sendo que, no melhor dos casos, 18 % da mistura seria etanol, um biocombustível gerado como parte do processo de produção de biomassa utilizada para produzir biocombustíveis.

1.4 Objetivo

O objetivo principal desta dissertação é avaliar a produtividade de biomassa seca obtida pelo cultivo de microalgas *Scenedesmus sp* em um fotobiorreator com controle do fotoperíodo 24 horas de iluminação e 0 de escuro; com controle do fotoperíodo 12 horas de iluminação e 12 horas de escuro; com controle do fotoperíodo 12 horas de iluminação e 12 horas de escuro e o monitoramento da temperatura; e com controle de fotoperíodo 12 horas de iluminação e 12 horas de escuro com injeção de CO₂ no meio de cultura.

Para cumprir este propósito os objetivos específicos são:

- Modificar um fotobiorreator existente para isolar as lâmpadas do meio de cultura e implementar um sistema de aeração dentro do fotobiorreator;
- Implementar um sistema de controle e monitoramento eletrônico que possibilite o controle do fotoperíodo e permita observar o comportamento da temperatura;
- Construir e implementar um sistema de produção e vazão de dióxido de carbono que possa injetar o gás gerado junto com o ar no fotobiorreator.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentam-se os dispositivos eletrônicos utilizados para processar a informação, mostrar as variáveis medidas e o controle da luminosidade dentro do fotobiorreator, assim como as placas (*Shields*) utilizadas com o Arduino, que funciona como a unidade processadora dos dados, assim como o fermentador construído, onde é executado o processo de fermentação, as quantidades de cada um dos ingredientes utilizados para a geração de CO₂, o meio de cultura utilizado para fornecer alimento para as microalgas durante o cultivo e, finalmente, o fotobiorreator utilizado para o cultivo.

2.1 Placa Arduino

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em *hardware* e *software* de fácil utilização. As placas Arduino são capazes de ler sinais de entradas, como a luz em um sensor, acionamento de um botão, dentre outras, e ativar uma porta associada a uma saída, como ativar um motor, ligar um LED, mostrar uma mensagem em uma tela, dentre outras. É possível programar neste dispositivo a ação que se deseja executar enviando-se um conjunto de instruções para o microcontrolador, através da linguagem de programação Arduino com Arduino *Software* (IDE).

Para desenvolver o presente trabalho foi escolhida uma placa Arduino “Uno”, conforme mostrada na Figura 7. Por ser uma placa de um tamanho compacto que possui suficientes portas de entradas e saídas, com um custo acessível, que permite conectar placas que podem ser sobrepostas. Estas placas são conhecidas como “*Shields*” e, desta forma, o Arduino adquire funcionalidades que ajudam a reduzir espaço ocupado com a fiação e conexão que seria utilizado entre os circuitos eletrônicos tradicionais e o Arduino.

A placa Arduino “Uno” é baseada no microcontrolador ATmega328P e possui 14 pinos ou portas de entrada/saída digitais, dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM, 6 como entradas analógicas e 2 de comunicação (recepção e transmissão), além de um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, uma porta para alimentação, uma porta de comunicação ICSP (*In Circuit Serial Programming*) e um botão de reinicialização.

Figura 7 - Placa Arduino Uno.



Fonte: Próprio autor.

2.2 Outras placas e conexões utilizadas

As outras placas utilizadas para desenvolver o projeto foram o *LCD Keypad Shield* e um *protoshield* para fazer montagem dos circuitos para os sensores. O *LCD Keypad Shield* é uma placa que tem uma tela de cristal líquido 16x2 (16 caracteres x 2 linhas), com luz de fundo azul que permite ajuste de contraste, sendo que as portas digitais 4 a 10 do Arduino são utilizadas para controlar o *display*. Esta placa, mostrada na Figura 8, utiliza uma única porta analógica para a conexão e possui 6 botões: *select*, *up*, *down*, *left*, *right* e *reset*, que permitem ao usuário navegar através de menus e selecionar opções que foram configuradas anteriormente no Arduino. As informações mostradas na tela são os valores da temperatura ambiente, do lado esquerdo e a temperatura da água do lado direito, o botão *select*, foi configurado para ligar ou desligar as luzes manualmente.

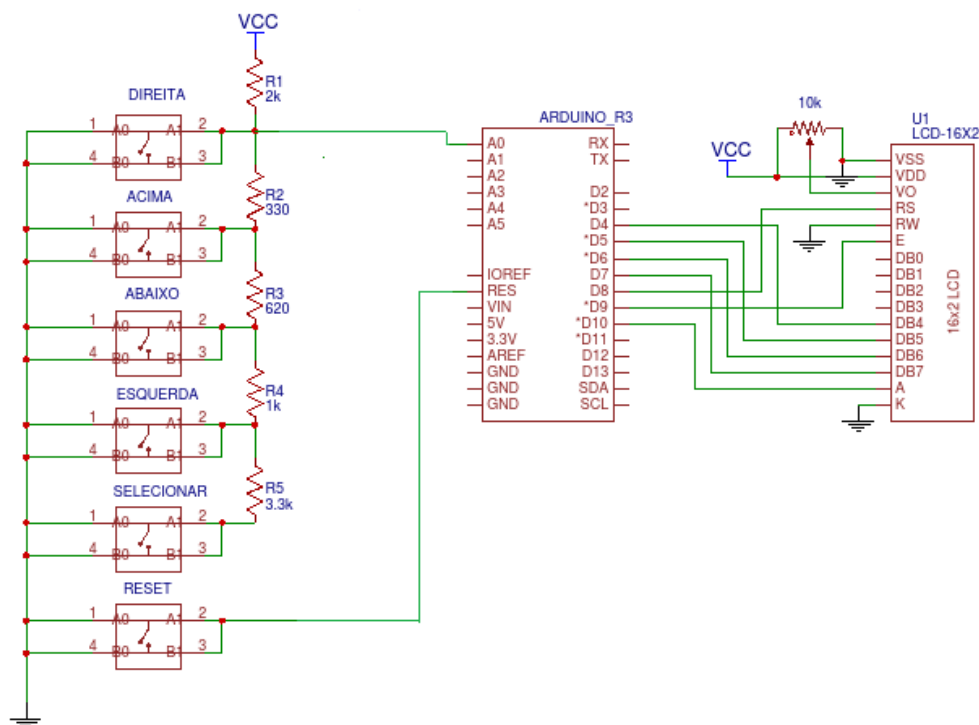
Figura 8 - LCD Keypad Shield.



Fonte: Próprio autor.

Os botões são normalmente abertos e possuem resistências de diferentes valores conectadas em série com cada botão. Quando um botão é ativado ele entrega um valor de tensão que é diferente para cada um devido ao valor da resistência associada ao botão. O diagrama mostrado na Figura 9 representa a conexão ao se interconectar a placa LDC com a placa do Arduino. A frequência com que os dados são enviados pelo Arduino é de uma cadeia de dados a cada 5 minutos, mas essa frequência pode ser modificada reprogramando-se o microcontrolador. Uma interface que possui um menu onde pode ser escolhido o dado a ser mostrado, assim como a data, a hora, ligar e desligar as luzes, foi testada, porém o microcontrolador demorava em responder devido ao frequente pedido de dados do sensor de temperatura DS18B20 e às outras tarefas associadas à tela programadas para tão curto período de tempo.

Figura 9 - Diagrama de conexões entre o LCD Keypad Shield e o Arduino Uno.



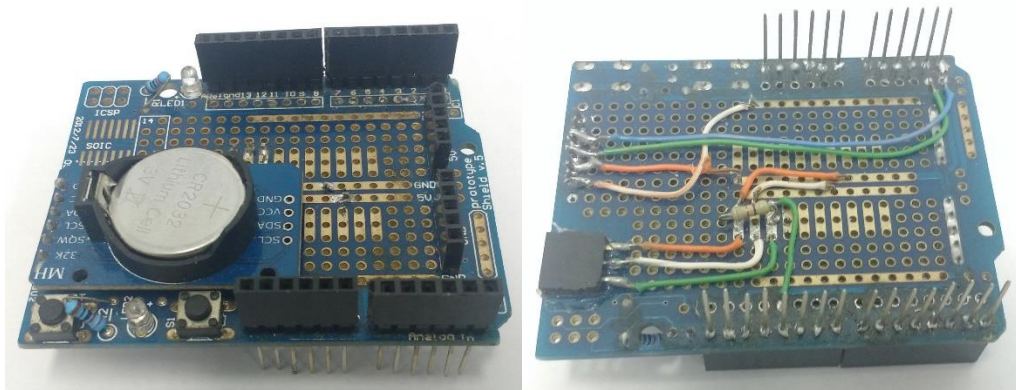
Fonte: Próprio autor.

O *protoshield* é uma placa utilizada para facilitar a montagem de circuitos e o teste de funcionamento de sensores quando não se tem a possibilidade de utilizar uma *protoboard*, seja por causa do seu tamanho ou porque precisam ser fixados os circuitos. O *protoshield* fornece uma grande facilidade na hora de projetar circuitos personalizados e soldá-los

diretamente na placa ou testá-los numa pequena *protoboard* que pode ser adicionada na superfície da placa.

A Figura 10 mostra o circuito que foi projetado para conter a fiação soldada por baixo da placa, assim como a conexão do sensor DS18B20, sendo que por cima está soldado o sensor RTC.

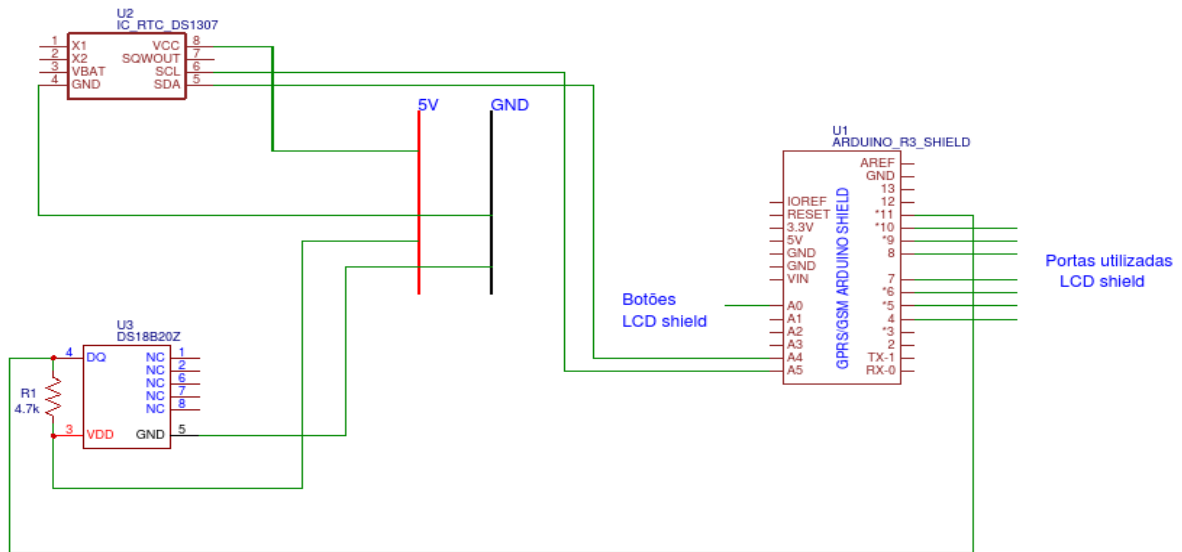
Figura 10 - *Protoshield* Arduino com fiação soldada.



Fonte: Próprio autor.

O circuito mostrado na Figura 11 mostra a conexão entre o Arduino “Uno” e a placa que contém os sensores de temperatura e RTC. O sensor DS3232 está conectado na porta SCL do sensor com a porta analógica A5 do Arduino, e a porta SDA do sensor foi conectada com a entrada analógica A4 do Arduino, enquanto a tensão e GND do sensor são conectadas a um barramento, o qual se encontra no meio do *protoshield*. O sensor DS18B20 utiliza o mesmo barramento para a conexão da tensão e de GND, porém o cabo de dados do sensor está conectado na porta digital 11 do Arduino.

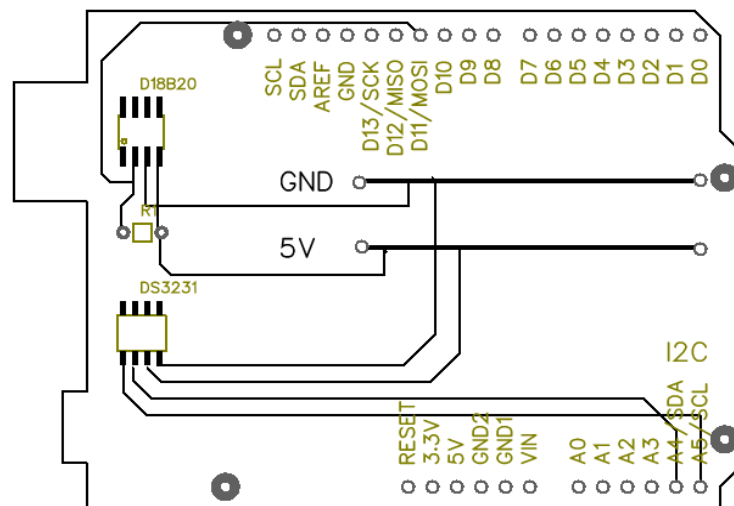
Figura 11 - Diagrama de conexão entre o Arduino e sensores.



Fonte: Próprio autor.

O diagrama PCB da Figura 12 apresenta a localização dos sensores e a conexão com o Arduino, mostrando como foi fisicamente cabeadada a conexão no *protoshield*.

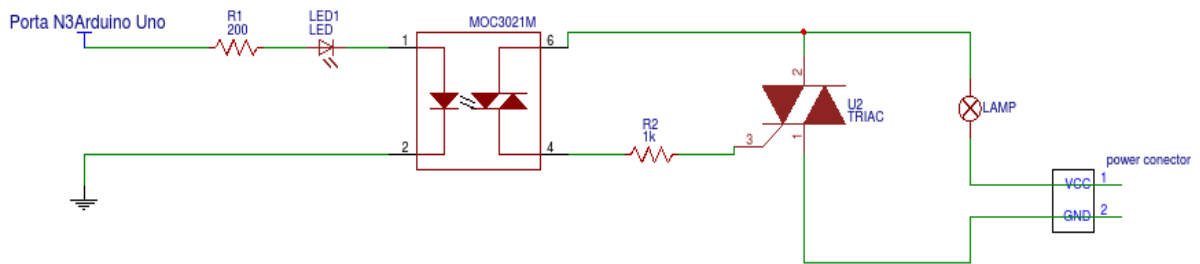
Figura 12 - Diagrama PCB de conexão e cabeamento de sensores no *protoshield*.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 13 mostra o diagrama do circuito responsável pelo isolamento do circuito de controle do circuito de potência.

Figura 13 - Diagrama de conexão circuito de potência.



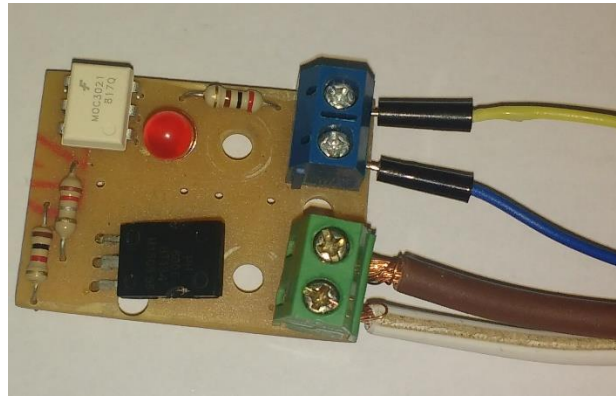
Fonte: Próprio autor.

Para poder ativar qualquer tipo de atuador que funcione em 110 ou 220 V, seja uma resistência, um ventilador ou lâmpada, a partir de um dispositivo que trabalha com 5 V de tensão, é necessário um circuito de isolamento para que o microcontrolador não receba uma tensão muito alta.

Assim, para isolar o microcontrolador de uma forma segura, foi utilizado um dispositivo optoisolador MOC3021 que transforma internamente um sinal elétrico em um sinal luminoso. Este sinal é controlado pelo Arduino, quando a porta associada à lâmpada estiver ligada será ativada a luz interna do optoisolador que permite a condução de energia no TRIAC. O TRIAC é o dispositivo que se encontra conectado à rede elétrica, como mostrado na Figura 13, o qual, quando recebe tensão na porta 3, funciona como um interruptor que permite, ou não, a passagem de tensão à lâmpada.

O LED vermelho observado na Figura 14 é um dispositivo de supervisão do funcionamento quando o optoisolador é ativado. Quando o LED se encontra aceso, indica que o LED interno do optoisolador também deve estar aceso, o que indica a etapa de condução e, assim, a lâmpada deve estar ligada. Assim, se o LED vermelho estiver ligado e a lâmpada dentro do fotobiorreator não, o sistema está indicando falhas no funcionamento, na conexão dos dispositivos de controle com os dispositivos de potência, ou uma falha ou danificação dos componentes.

Figura 14 - Circuito de potência optoisolado.



Fonte: Próprio autor.

2.3 Sensores de temperatura

A temperatura é um parâmetro que pode afetar o bom desenvolvimento das microalgas. Por isso, é necessário observar o comportamento da temperatura dentro e fora do fotobiorreator.

Para medir esta variável dentro do fotobiorreator foi utilizado o sensor DS18B20, conforme mostrado na Figura 15. O DS18B20 é um termômetro digital que mede temperaturas entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, com uma resolução configurável e uma precisão de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este sensor utiliza o protocolo *One Wire* que permite a comunicação entre sensor e o microcontrolador só com um fio: o fio de dados. O dispositivo obtém a energia da linha dos dados graças à tensão coletada por um capacitor interno durante períodos de tempo quando o sinal se encontra em nível alto, e continua a operar sem essa fonte de energia durante os tempos baixos até a linha retornar num nível alto para reabastecer o capacitor. O protocolo *One Wire* suporta o envio, leitura e escrita de dados do sensor e a conversão de temperatura, sem precisar de uma fonte de tensão externa. Múltiplos sensores DS18B20 podem ser conectados num mesmo barramento, pois cada sensor contém um número de série único. O fabricante recomenda que, ao utilizar este sensor, um resistor de $4,7\text{ K}\Omega$ seja conectado entre o fio de alimentação e o fio dos dados para o correto funcionamento.

Figura 15 - Sensor DS18B20 para medida de temperatura no fotobiorreator.



Fonte: Próprio autor.

Para a medição da temperatura ambiente foi utilizado um sensor DS3231, mostrado na Figura 16, o qual também é um relógio de tempo real RTC de alta precisão, que possui um sensor de temperatura embutido e um cristal oscilador.

Figura 16 - Sensor DS3231 para medição de temperatura ambiente.



Fonte: Próprio autor.

O sensor de temperatura do DS3231 trabalha entre 0 e 70 °C com uma resolução de 0,25 °C e com uma precisão de ± 3 °C. Este sensor utiliza o protocolo de comunicação bidirecional I²C ou circuito inter-integrado (*inter-integrated circuit*), para a comunicação entre o dispositivo e o microcontrolador e é necessário conectar dois fios associados com as portas SDA e SCL do Arduino, como observado na Figura 10.

Para o presente trabalho este sensor é importante, porque pode armazenar e contabilizar informações do tempo tais como horas e minutos para o sistema, permitindo,

assim, controlar e configurar o fotoperíodo durante o cultivo das microalgas. As horas de luminosidade ou fotoperíodo podem ser modificadas através da reprogramação do Arduino e, se acabar-se a pilha do sensor RTC, a hora do sistema se perderá enquanto o dispositivo não estiver conectado na alimentação.

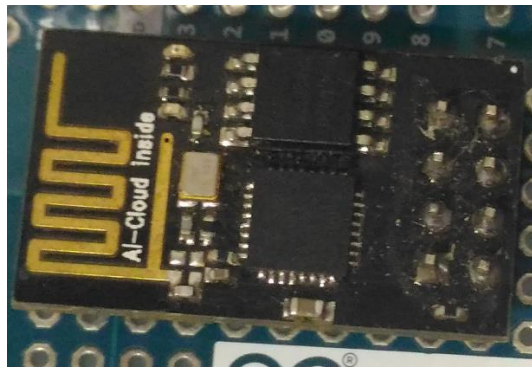
2.4 Monitoramento remoto

Diante à dificuldade de estabelecer perto do fotobiorreator um computador conectado com o Arduino através de cabo USB para a aquisição dos dados enviados pelos sensores, foi necessária a implementação de um sistema de aquisição de dados remoto que é capaz de obter a informação capturada pelos sensores de forma automática e enviá-la através de sistemas de comunicação sem fio para depois ser armazenada e analisada. Para este tipo de monitoramento foram implementados dois tipos de sistemas de comunicação remota, um através de Wifi e o outro através de *bluetooth*.

2.4.1 Monitoramento remoto através de Wifi

Para possibilitar ao sistema o acesso a uma rede de internet é necessária a aquisição de um módulo de internet que permita primeiro o acesso à internet e segundo que a informação obtida pelos sensores, e processada pelo microcontrolador, possa ser enviada e guardada em um servidor. O módulo de Wifi, conforme mostra a Figura 17, permite o acesso sem fio às redes de internet disponíveis e, também, subir ou descarregar informação disponível na internet, em geral todas as ações relacionadas com a comunicação e conexão à internet devem ser programadas neste módulo. Devido ao módulo Wifi possuir um microcontrolador próprio, é necessário implementar um protocolo de comunicação entre o módulo e o Arduino. Para este sistema, o Arduino é quem controla os dados a serem salvos no servidor, sendo que o módulo Wifi está sempre esperando a informação do Arduino. Quando este entrega os dados ao microcontrolador do módulo Wifi, este é encarregado de acessar o servidor e salvar a cadeia de caracteres segundo a ordem a serem mostrados. Assim, cada vez que o Arduino envia informação ao módulo Wifi, este adiciona uma linha de dados no site de internet.

Figura 17 - Módulo Wifi.



Fonte: Próprio autor.

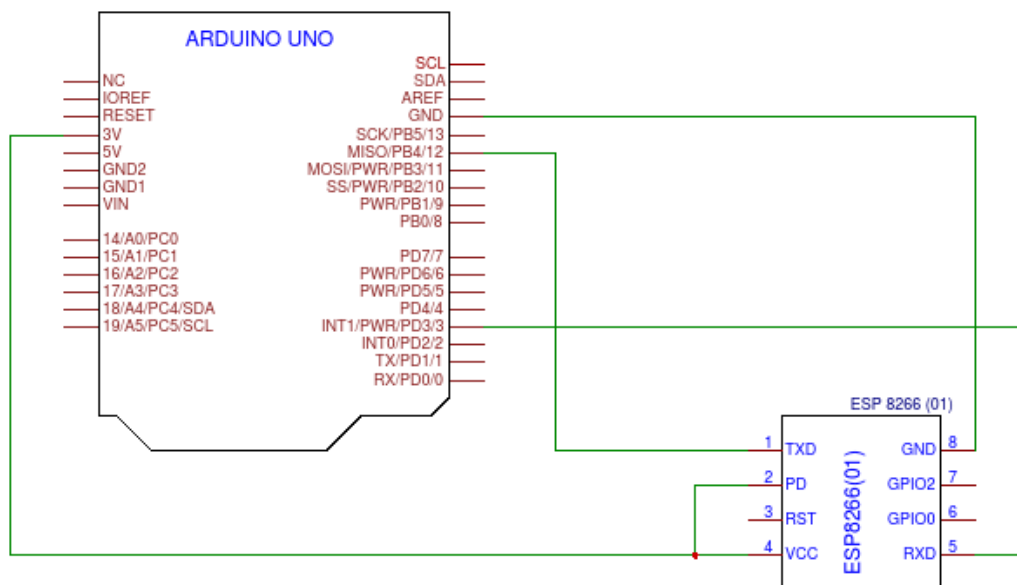
O servidor foi disponibilizado pela companhia de componentes eletrônicos Sparkfun, sendo o mesmo um servidor gratuito que oferece 50 MB para armazenar a informação dos sensores no formato de uma tabela na qual podem ser inseridos os nomes das variáveis e os dados do sensor. Para que o módulo envie a informação ao servidor é necessário criar uma conta no site. Depois de criar a conta são fornecidos dois códigos para o usuário poder enviar as informações. Um dos códigos é o referente ao endereço da página na qual vai ser armazenada a informação, e o outro é o código chave que permite modificar todas as informações mostradas no site como, por exemplo, o título, os nomes das variáveis, e, também, que permite enviar a informação do sistema ao site. Para o módulo Wifi enviar informação na internet utilizando este servidor da Sparkfun o módulo verifica se possui acesso à internet, se possuir acesso, comunica-se com o servidor enviando os dados através de um endereço que possui os códigos do endereço, o código chave e a mensagem entregada pelo Arduino. O código programado no módulo Wifi pode ser consultado nos anexos e mostra como foi desenvolvido o programa de postagem da informação no servidor.

O programa possui o comando *input*, ou *post*, com o objetivo de inserir informação no servidor, o código do endereço e o código chave, e no final do link se encontra a informação referente aos dados entregados pelo Arduino ao microcontrolador do módulo Wifi. Desta forma, o módulo recebe uma mensagem tipo *string*, ou cadeia de caracteres, que é um vector alfanumérico onde se encontram armazenados os valores dos sensores e da luminosidade. Assim, o módulo lê a informação recebida pela porta Rx e armazena automaticamente esses valores em outros vectores tipo *string* que fazem parte da mensagem entregada ao servidor. No site também podem ser descarregados os dados que estão guardados, assim como gerar gráficos das variáveis numéricas.

O módulo de Wifi possui dois tipos de conexões com o Arduino, uma quando o módulo está recebendo dados do Arduino e enviando os dados ao servidor e outra quando é preciso reprogramar as tarefas do módulo.

A Figura 18 mostra o tipo de conexão para recebimento e envio de dados. Neste tipo de conexão o módulo se encontra em estado de operação, as portas doze e três do Arduino são programadas como portas de comunicação serial e permitem uma comunicação bidirecional entre os dispositivos. Toda a informação do Arduino é enviada através da porta três que está conectada com a porta Rx do módulo. Neste tipo de configuração não precisam ser conectadas as portas GPIO0 nem GPIO2 do módulo, pois não foram programadas ações que modifiquem uma variável física. Estas portas podem ser programadas para ativar um motor ou ligar uma lâmpada se for necessário. Note-se que o dispositivo de Wifi deve ser alimentado com um nível de tensão de 3,3 V, e com um valor de corrente de 80 mA.

Figura 18 - Conexão entre o Arduino e o módulo Wifi.



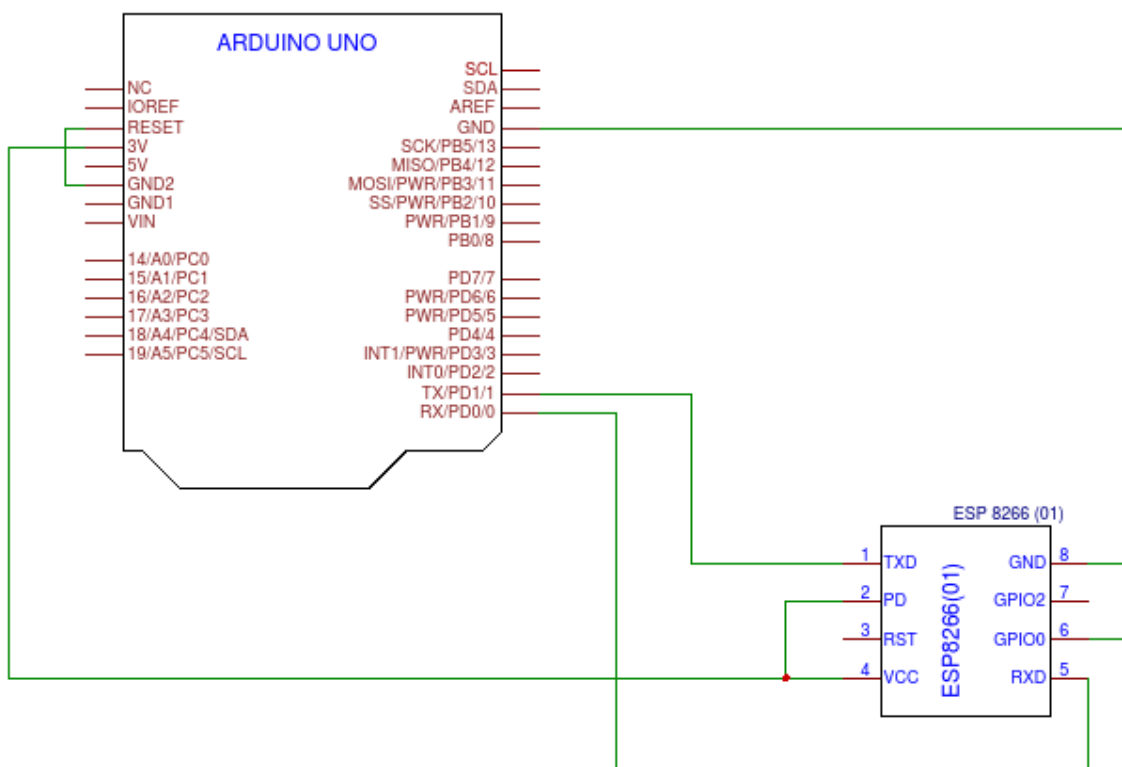
Fonte: Próprio autor.

O Arduino, alimentado pela porta serial, pode entregar apenas 50 mA, sendo necessária uma fonte externa de alimentação conectada na porta de alimentação externa do Arduino. Sem a fonte externa não é possível utilizar nenhum dos dois dispositivos, se estiverem conectados, pois a demanda de corrente do módulo Wifi provoca uma reinicialização constante do Arduino impedindo o correto funcionamento. Se o módulo for desconectado, o Arduino consegue operar normalmente sem a fonte externa, sendo

alimentado pela porta serial, porém, a programação teria que ser modificada para que o Arduino envie os dados através do cabo da porta serial e não pelas portas digitais programadas quando o dispositivo de Wifi for utilizado.

A Figura 19 mostra o tipo de conexão quando é preciso reprogramar as tarefas do módulo como, por exemplo, adicionar uma coluna de dados no servidor ou ativar uma porta associada ao módulo Wifi. Para adicionar ou retirar qualquer tipo de tarefa realizada pelo dispositivo, este necessita ser reprogramado e a conexão entre o módulo e o Arduino muda porque o dispositivo precisa estar em modo de programação para poder receber o novo código através de uma porta serial. Para realizar a reprogramação do módulo Wifi foi instalada a biblioteca ESP 8266 no *software* de programação do Arduino que permite reprogramar o microcontrolador deste módulo.

Figura 19 - Conexão com o módulo Wifi para reprogramar as funções.



Fonte: Próprio autor.

Para reprogramação das funções do dispositivo Wifi, é necessário colocar o módulo em modo de programação conectando a porta GPIO0 no GND e reiniciar o dispositivo retirando o cabo de tensão dos 3,3 volts e conectando-o de novo. Devido ao módulo não

possuir uma porta de comunicação serial, é necessário um módulo de comunicação serial para programar através do computador as funções do dispositivo Wifi. Porém, o Arduino possui este tipo de porta serial, que é a mesma utilizada para ele receber o código da interface de programação. Assim, para utilizar-se a porta serial do Arduino sem utilizar as demais portas foi necessário cabear a porta de RESET do Arduino no GND, e a informação é programada nas portas Tx e Rx onde foi conectado o módulo Wifi em modo programação para receber os dados modificados no módulo Wifi e não no microcontrolador do Arduino. O circuito do módulo Wifi precisa de um divisor de tensão na porta de Rx, além de um condensador de 0,1 μ F para evitar danificar o dispositivo. Para evitar problemas com o servidor é importante criar um servidor próprio ou pagar por um serviço estável que garanta o funcionamento e a acessibilidade, pois o servidor utilizado é gratuito e em qualquer momento pode parar de funcionar ou entrar em manutenção, sem prévio aviso.

A Figura 20 mostra como são apresentados os dados enviados através do módulo Wifi ao servidor. A coluna *time stamp* é colocada automaticamente pelo servidor e possui 3 horas de diferença com o horário do Brasil. O endereço para verificar a informação dos sensores é: data.sparkfun.com/ipbenilha.

Figura 20 - Servidor com dados do fotobiorreator.

The screenshot shows a web browser window with the URL data.sparkfun.com/ipbenilha. The page title is "Fotobiorreator IPBEN Ilha Solteira - SP" and the subtitle is "Dados de sensores de temperatura e fotoperíodo, para o cultivo de microalgas". There are buttons for "JSON", "CSV", "MySQL", "PostgreSQL", and "Atom". On the right, there are "Manage" and "Export to Analog.io" buttons, and tags for "fotoperíodo" and "temperatura". A status bar indicates "100% (50.00 of 50 MB) remaining".

luz	temp1	temp2	timestamp
ligada	27.25	26.00	2017-08-03T03:31:55.001Z
ligada	29.50	25.56	2017-08-03T03:32:55.972Z
ligada	33.00	26.94	2017-08-03T02:56:12.121Z
ligada	33.00	26.94	2017-08-03T02:54:21.782Z
desligada	33.00	26.94	2017-08-02T16:59:05.218Z
desligada	33.00	26.94	2017-07-29T03:24:14.148Z

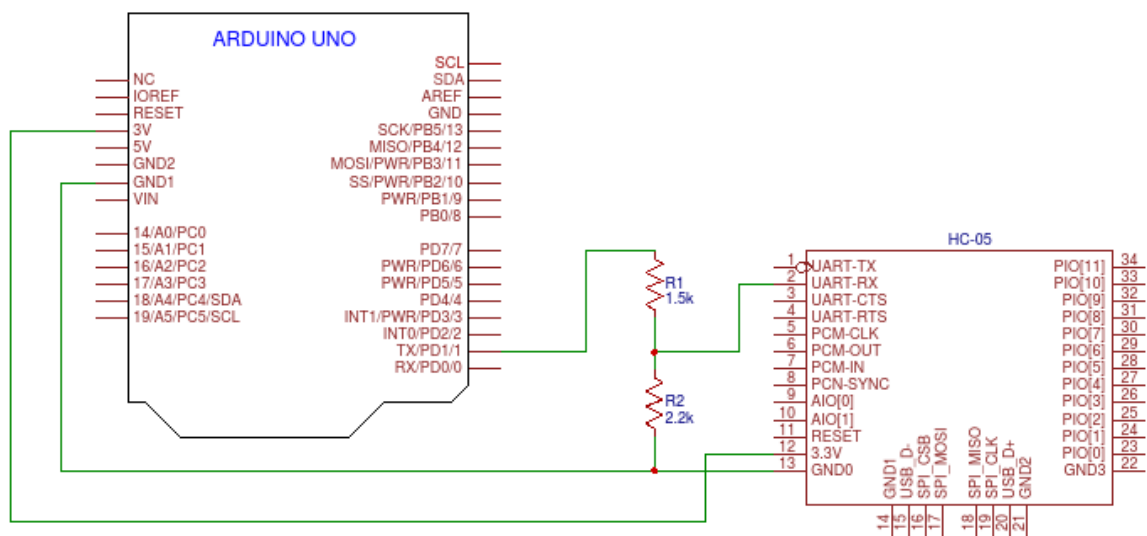
Navigation buttons: ← Newer, Older →

Fonte: Próprio autor.

2.4.2 Monitoramento remoto através de bluetooth

Devido a falhas no servidor ao receber os dados e à parada de manutenção, foi necessária a implementação de outro sistema de monitoramento e obtenção dos dados. Devido ao fato de que a conexão do Arduino com um computador através de cabo USB não era viável, optou-se pelo protocolo *bluetooth*. Com a implementação do módulo *bluetooth* foi possível estabelecer a comunicação e enviar os dados do Arduino através da porta serial implementando uma conexão sem fio. Este tipo de comunicação permite que qualquer dispositivo com este tipo de conexão possa acessar a informação. Para a colheita dos dados foi utilizado um aparelho celular com conexão *bluetooth* e o aplicativo de recepção de dados *Bluetooth USB Wifi Terminal*, que permitiu receber e guardar a informação na memória do aparelho celular automaticamente. O celular podia ser acessado remotamente através do *software* de monitoramento remoto *Team Viewer* para obter a informação. A Figura 21 mostra o diagrama de conexão entre o módulo *bluetooth* e o Arduino.

Figura 21 - Conexão módulo *bluetooth* e Arduino.



Fonte: Próprio autor.

Como mostrado na Figura 21, a porta de transmissão dos dados do Arduino deve ser cabeada à porta de recepção do módulo *bluetooth* para que o módulo receba os dados e os envie ao dispositivo através da conexão sem fio.

O dispositivo de *bluetooth* HC-05 trabalha com uma tensão de 3,3 V. Por esta razão, é necessária a implementação de um divisor de tensão entre a porta Tx do Arduino e a porta

de Rx do dispositivo *bluetooth*. Normalmente, a tensão de saída do Arduino é de 5 V e, por meio de um circuito divisor de tensão, pode-se ajustar esse valor ao valor requerido pelo dispositivo, através da utilização de um resistor de 1,5 k Ω em série com um resistor de 2,2 k Ω , obtendo-se, assim, uma tensão de saída de aproximadamente 3 V, na porta Rx do módulo *bluetooth*.

2.5 Fermentador e produção de dióxido de carbono

O fermentador é o recipiente que armazena a mistura de água mais açúcar e a levedura, isola a mistura do oxigênio e dá origem à produção de dióxido de carbono e etanol. Para a construção deste dispositivo, foram utilizados 50 cm de tubo de PVC roscável de alta pressão (diâmetro de 100 mm e parede com espessura de 5 mm), um recipiente umidificador para balão de oxigênio de uso hospitalar, um fluxômetro para controlar a saída de CO₂, e uma válvula de segurança, a qual se abre quando a pressão atinge 1,5 bar para evitar acidentes. A Figura 22 mostra o fermentador construído.

Figura 22 - Fermentador construído.



Fonte: Próprio autor.

Como mostrado na Figura 22, um dos extremos do cano de PVC foi selado com uma tampa do mesmo material. Para garantir a passagem da mistura a ser fermentada até o fundo do cano, foi furada uma garrafa umidificadora de ar de uso hospitalar e, depois, a

mesma foi colada com cola para PVC no outro extremo do cano PVC. Após um dia de secagem, a cola foi reforçada por fora com Araldite para, assim, evitar-se vazamento e descolagem entre a garrafa e o tubo. A razão principal para a utilização da garrafa humidificadora de ar para uso hospitalar é porque a tampa facilita o isolamento entre o meio externo do fermentador e a parte interna, já que possui vários tipos de conexões que suportam pressões entre 0 e 2 bar, além de ser um produto que é fácil de se encontrar no mercado. A Figura 23 permite observar a tampa do fermentador e a variedade de conexões e instrumentos instalados.

Figura 23 - Tampa do fermentador.



Fonte: Próprio autor.

Do lado direito da imagem da Figura 23, pode-se observar o fluxômetro de CO₂ conectado à tampa do fermentador através de mangueiras e fixado com braçadeiras que impedem o vazamento do gás e conferem rigidez à conexão. A conexão que sobressai por cima da tampa é a que fixa a mangueira do medidor de pressão com a tampa e, por último, a válvula de segurança. Cabe destacar que a tampa é fabricada com uma válvula de segurança própria, porém esta válvula foi selada, pois suporta pressões até 0,4 bar, que é uma pressão muito baixa para o sistema de injeção de dióxido de carbono. Por isso, foi implementada uma válvula diferente que suporta uma pressão de até 1,5 bar antes de ser acionada.

Para saber a quantidade de dióxido de carbono que pode ser produzido no fermentador e se encontrar a quantidade de levedura a ser utilizada durante o processo da fermentação, foi medida a quantidade de gás através de um sistema de deslocamento da água graças à injeção do gás como mostrado na Figura 24.

Figura 24 - Medição de dióxido de carbono.



Fonte: Próprio autor.

Neste sistema, uma proveta plástica de 250 ml foi apoiada num suporte e colocada de cabeça para baixo dentro de um recipiente com água, sem tocar o seu fundo. Dentro dessa proveta foi introduzida a mangueira proveniente do fermentador e, conforme o dióxido de carbono era produzido, a pressão deslocava a água de dentro da proveta para o recipiente e, através desse volume deslocado, era possível se determinar a quantidade de CO₂ produzida pelo processo da fermentação.

2.6 Meio de cultura

Com base em experimentos anteriormente desenvolvidos por Erazo (2017), todos os cultivos foram feitos com o meio de cultura MBM (*Modified Bristol Medium*), que é um meio BM (*Bristol Medium*), adicionado de 1 ml da solução A₅ (micronutrientes) por cada 1000 ml de meio. A Tabela 1 mostra a composição do meio de cultura utilizado.

Tabela 1 - Meio de cultura MBM (*Modified Bristol Medium*).

Componentes	Quantidade
KNO ₃	25 mg
MgSO ₄ .7H ₂ O	7,5 mg
K ₂ HPO ₄	7,5 mg
KH ₂ PO ₄	17,5 mg
NaCl	2,5 mg
CaCl ₂ .2H ₂ O	1,0 mg
FeSO ₄ .7H ₂ O	2,0 mg
Solução A₅	0,1 mL
Água destilada	100 mL
Ágar (para meio sólido)	1,5 g
	pH 6,0
Solução A₅	
H ₃ BO ₃	286 mg
MnSO ₄ .7H ₂ O	250 mg
ZnSO ₄ .7H ₂ O	22,2 mg
CuSO ₄ .5H ₂ O	7,9 mg
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	2,1 mg
Água destilada	100 mL

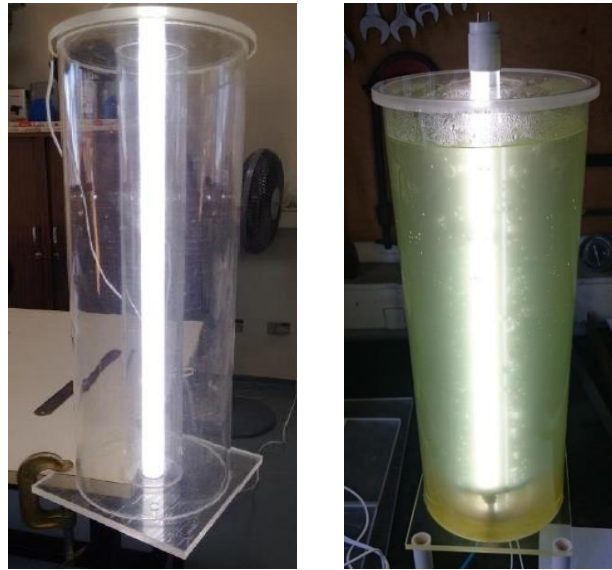
Fonte: Erazo (2017).

2.7 Fotobiorreator

O projeto do fotobiorreator escolhido foi de forma de coluna bombeado por sistema *air-lift*, pois, segundo Posten (2009), esse é um dos modelos mais utilizados, especialmente em cultivos de grande escala em laboratórios.

Uma limitação deste modelo é que no centro da coluna surge uma região escura. No modelo que se encontra no Instituto de Pesquisas em Bioenergia da Unesp (IPBEN), Campus de Ilha Solteira, construído por Guerra (2015), esta limitação é sanada por meio de uma lâmpada LED tubular, no sentido axial da coluna (Figura 25). Assim, a região do centro que seria mais escura, recebe iluminação diretamente da lâmpada.

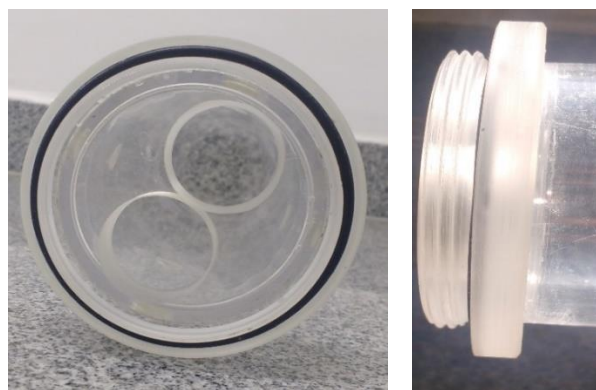
Figura 25 - Fotobiorreator disponível no IPBEN de Ilha Solteira.



Fonte: Erazo (2017).

Para desenvolver o presente projeto foi necessário o melhoramento da arquitetura deste fotobiorreator, pois a lâmpada submersa no meio de cultura poderia interferir no correto funcionamento da fonte de luz, além da dificultar a agitação do meio de cultura. A possível contaminação que a lâmpada e os circuitos podiam trazer como consequência ao cultivo e a possibilidade de um curto circuito eram outros problemas presentes no projeto desenvolvido por Guerra (2015). Para resolver estas dificuldades decidiu-se isolar a coluna interna, que contém a lâmpada, do meio de cultura através da construção de uma peça com um encosto, ou anel de vedação, de borracha do tipo O-ring, como mostrado na Figura 26.

Figura 26 - Encosto que isola o meio de cultura da lâmpada.



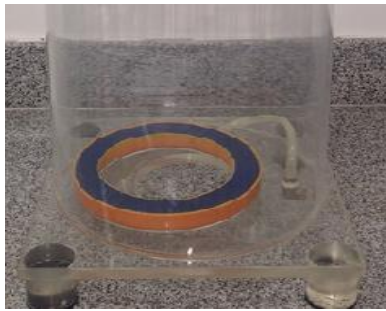
Fonte: Próprio autor.

O tubo interno que isola a lâmpada do meio de cultura foi projetado para rosquear no fundo do fotobiorreator e poder ser retirado depois do cultivo para limpeza e manutenção.

Testes feitos inicialmente em vidros Erlenmeyer demonstraram pouca potência da lâmpada utilizada no modelo de Guerra (2015), devido à falta de energia luminosa e diante a dificuldade de encontrar lâmpadas mais potentes com as mesmas características físicas como o comprimento e o formato da lâmpada, foram utilizadas duas lâmpadas tubulares de LED de 9 W (T8), iguais à que estava sendo utilizada.

Com a modificação do sistema de iluminação também foi necessária a modificação do sistema de aeração que era composto por uma mangueira de ar comprimido com pequenos furos que circundava o tubo interno. Assim, foi utilizado um novo sistema constituído por uma pedra porosa de formato circular (diâmetro externo de 100 mm e interno de 80 mm) instalada no fundo do fotobiorreator. Este sistema permite gerar bolhas de ar de um tamanho menor dentro do meio de cultura fornecendo, assim, uma aeração mais adequada que no modelo anterior. A conexão com a mangueira proveniente da bomba de ar foi fixada no fundo do fotobiorreator e possui uma peça que interliga a mangueira da bomba de ar com a pedra porosa como mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Novo sistema de aeração e fornecimento de ar no fotobiorreator.



a) Pedra porosa para aeração.



b) Conexão de entrada do ar.



b) Válvula antiretorno.

Fonte: Próprio autor.

A vazão de CO_2 foi gerada pelo mesmo processo de fermentação, sendo que o fluxo não é constante devido ao consumo de açúcar da levedura. A pressão do gás injetado foi a pressão ambiente devido ao fato de que a válvula de controle de estrangulamento do fluxômetro encontrava-se totalmente aberta. Uma válvula antiretorno foi utilizada para evitar que o meio de cultura, por efeito da gravidade, entrasse na mangueira de CO_2 quando o gás não estivesse sendo produzido.

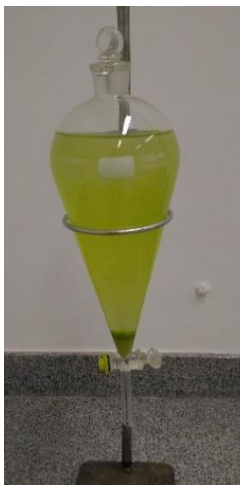
2.8 Cultivo

Para realizar o cultivo foi preenchido o fotobiorreator com 9 litros, dos 9 litros de capacidade do fotobiorreator 1 litro era de uma cultura prévia e isolada de microalgas da espécie *Scenedesmus sp* feita por Erazo (2017) no mesmo meio de cultura, e os 8 litros restantes foram completados com o meio de cultura MBM e água destilada. A concentração do meio de cultura foi 10 ml/l de cada um dos componentes do meio MBM e cada um dos experimentos teve uma duração de 10 dias.

2.9 Extração da Biomassa

O processo de extração da biomassa foi feito depois 10 dias de cultivo. A extração demora um dia para flocular e concentrar a maior quantidade possível de biomassa gerada a partir do cultivo. A concentração foi feita através da adição de 1 ml por litro de NaOH (0,1 mol/l) o que muda o pH do meio de cultura, levando-o a um valor próximo de 10, como descrito por Erazo (2017). Depois de ser concentrada a biomassa por 24 horas, esta passa a ser filtrada por um filtro de papel, e, finalmente, ela é secada durante 24 horas à temperatura ambiente dentro do próprio filtro de papel. Por fim, a biomassa seca é pesada em uma balança de precisão de 0,001 g para comparar qual método implementado durante o cultivo foi mais produtivo. A Figura 28 mostra o processo de floculação, filtração e pesagem da biomassa.

Figura 28 - Floculação, filtração e pesagem da biomassa.



a) Biomassa floculada.



b) Biomassa filtrada.



c) Biomassa pesada.

Fonte: Próprio autor.

3 EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES

Neste Capítulo são apresentados os experimentos e resultados da produção de CO₂ no fermentador construído, e a produção de biomassa seca a partir do cultivo de microalgas em um fotobiorreator em ambiente fechado. Através da comparação a biomassa seca produzida sem sistema de monitoramento e com fotoperíodo de 24 horas de iluminação e 0 de escuro (cultivo controle), assim como a biomassa produzida utilizando o controle de luminosidade 12:12 (12 horas de iluminação e 12 horas sem), a implementação do sistema com controle de luminosidade e o monitoramento remoto da temperatura e, por último, a implementação do sistema com controle de luminosidade e a injeção de dióxido de carbono produzido pelo processo de fermentação.

3.1 Produção de CO₂

Para estes experimentos foram testadas três quantidades diferentes de açúcar, levedura e água dentro do fermentador como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Misturas utilizadas para a produção de CO₂.

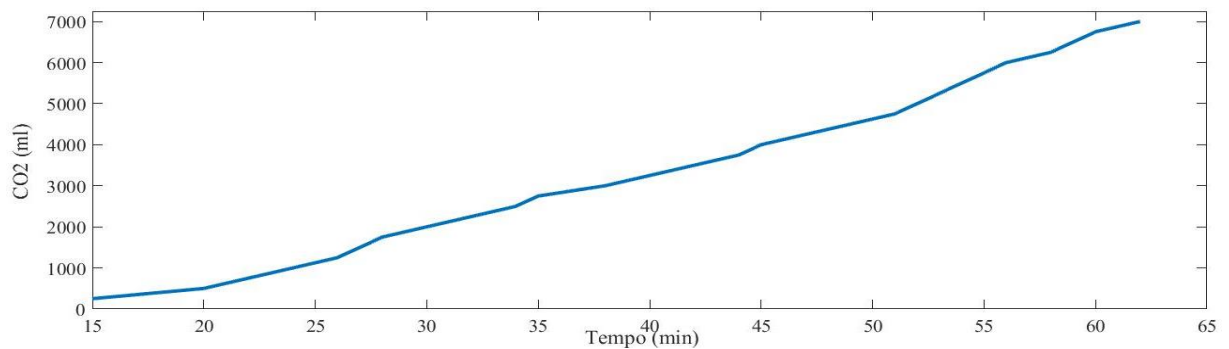
Receita	Água (ml)	Açúcar (g)	Levedura (g)
1	1500	300	42
2	1500	300	21
3	1000	200	14

Fonte: Próprio autor.

Na receita 1, realizar o processo de medição da quantidade do gás produzido foi muito difícil devido a fato de que a produção de dióxido de carbono foi muito rápida e, também, devido ao fato de que proveta era capaz de medir um volume de somente 250 ml e, devido à quantidade de levedura, a produção de dióxido de carbono foi muito grande. Por isto foi necessário fechar a válvula do fluxômetro para poder encher a proveta de água e poder continuar com o processo de medição. Isso e o aumento da espuma dentro do fermentador fizeram a pressão do fermentador aumentar até acionar a válvula de segurança, perdendo-se o gás produzido.

Na receita 2, também foi necessário fechar a válvula do fluxômetro, porém neste caso a pressão não aumentou o suficiente para acionar a válvula de segurança. Para este experimento a primeira proveta preenchida com CO₂ foi aos 15 minutos após ter colocado a mistura dentro do fermentador. O experimento demorou 2 horas no total com o fechamento da válvula e o preenchimento de água da proveta, produziu 7000 ml de CO₂, tendo demorado uma hora para produzir essa quantidade de CO₂, como mostrado na Figura 29. Enquanto a válvula estava fechada o cronômetro que contabilizava o tempo estava pausado até recarregar a proveta, assim, quando sistema estava pronto para fazer a medição o cronômetro era reativado.

Figura 29 - Produção de dióxido de carbono.



Fonte: Próprio autor.

Na receita 3, a produção de dióxido de carbono começou 1 hora depois de ter misturado os ingredientes no fermentador, chegando a produzir em 3 horas e 13 minutos 5250 ml do gás. Devido ao fato de que a produção foi mais demorada que nas duas receitas anteriores decidiu-se utilizar uma receita com um pouco menos de água para evitar a entrada da espuma gerada nos aparelhos do fermentador. Assim, utilizando uma quantidade de açúcar correspondente a 30% do volume de água e 21 gramas de levedura, foi verificada uma rápida geração do gás.

Assim, os experimentos feitos mostraram que o processo de fermentação para a produção e injeção de CO₂ no fermentador construído demora entre 2 e 4 dias e durante o primeiro dia do processo é onde maior quantidade de dióxido de carbono é liberada. Embora seja possível que o processo fermentativo continue após os primeiros 4 dias de fermentação, a produção de dióxido de carbono, no fermentador construído, demorou menos tempo do que o cultivo de microalgas no fotobiorreator, por isso deve ser reiniciado o processo de fermentação com uma mistura nova de açúcar, levedura e água. O fermentador pode ser

enchido com até 1,8 litros, porém existem riscos de que a espuma gerada durante a fermentação alcance a tampa e entre no fluxômetro e demais instrumentos e mangueiras. Por isso, é recomendável utilizar-se entre 1 e 1,2 litros de mistura de água, levedura e açúcar no fermentador. Uma mistura de água, açúcar e levedura adequada para este fermentador é de 1 litro de água, 300 g de açúcar e 20 g de levedura.

3.2 Cultivo e produção de biomassa

O primeiro cultivo feito no fotobiorreator foi o cultivo controle. Neste experimento foram cultivadas as microalgas com as lâmpadas do fotobiorreator ligadas durante 10 dias ou um fotoperíodo de 24 horas de iluminação, 0 horas de escuro. A produtividade de biomassa foi indicada pela massa seca extraída por meio da adição de uma solução flocculante de NaOH, filtrada em filtro de papel, secada e pesada em uma balança de precisão. A Tabela 3 mostra a quantidade de biomassa extraída no cultivo controle.

Tabela 3 - Produtividade de biomassa no cultivo controle.

Amostras de biomassa seca (10 dias de cultivo)	Média	Produtividade
99 (mg/l)	102 mg/l	10,2 mg/l.dia
105 (mg/l)		

Fonte: Próprio autor.

Com a mesma metodologia foram obtidos os dados a biomassa seca para os seguintes cultivos realizados. Assim, para o cultivo da espécie de microalga *Scenedesmus sp* no fotobiorreator com a luminosidade controlada com um fotoperíodo de 12 horas de iluminação e 12 horas com as lâmpadas desligadas obteve-se os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Produtividade de biomassa com controle do fotoperíodo.

Amostras de biomassa seca (10 dias de cultivo)	Média	Produtividade
126 (mg/l)	135 mg/l	13,5 mg/l.dia
144 (mg/l)		

Fonte: Próprio autor.

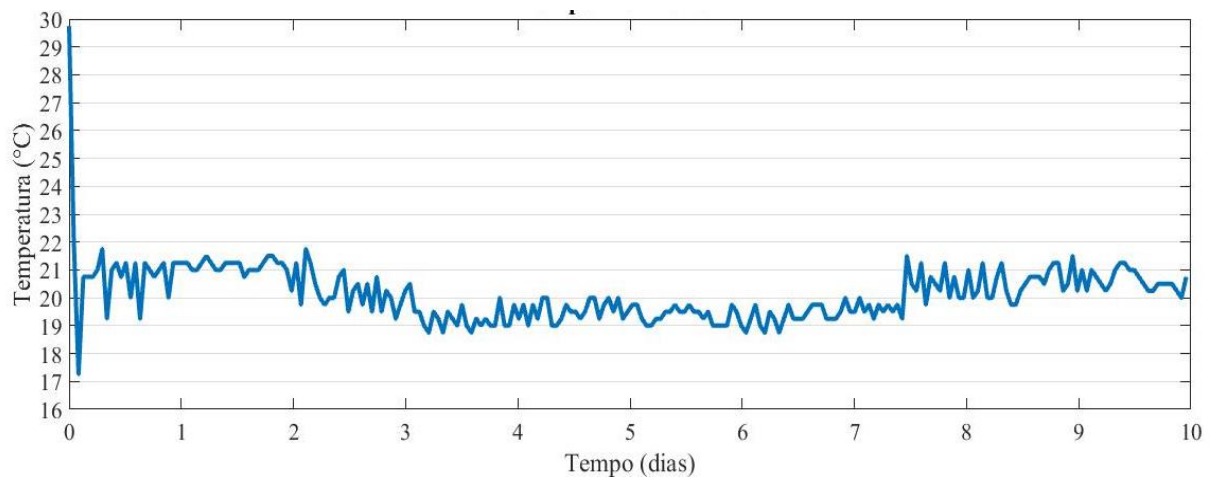
O estudo da literatura indicou que a temperatura ótima para produção de biomassa e lipídios da microalga cuja espécie é *Scenedesmus sp*, é de 20°C. Porém, trata-se de uma

microalga que pode crescer em uma ampla variedade de temperaturas, principalmente entre 10°C e 30°C (XIN; HONG-YING; YU-PING. 2011).

Neste trabalho, a temperatura foi monitorada em uma sala com ar condicionado a 20°C, os sensores de temperatura fizeram medições tanto da temperatura do ar quanto da temperatura do meio de cultura. O comportamento da temperatura durante os dez dias de cultivo pode ser observado nas Figuras 30 e 31.

Na Figura 30 é possível observar que a temperatura da sala teve pequenas variações durante os dias de cultivo sendo de ao redor de um grau celsius, com pouca duração. Assim obteve-se como resultado uma temperatura média do ar na sala de 20,10°C e um desvio padrão de $\pm 0,978^\circ\text{C}$.

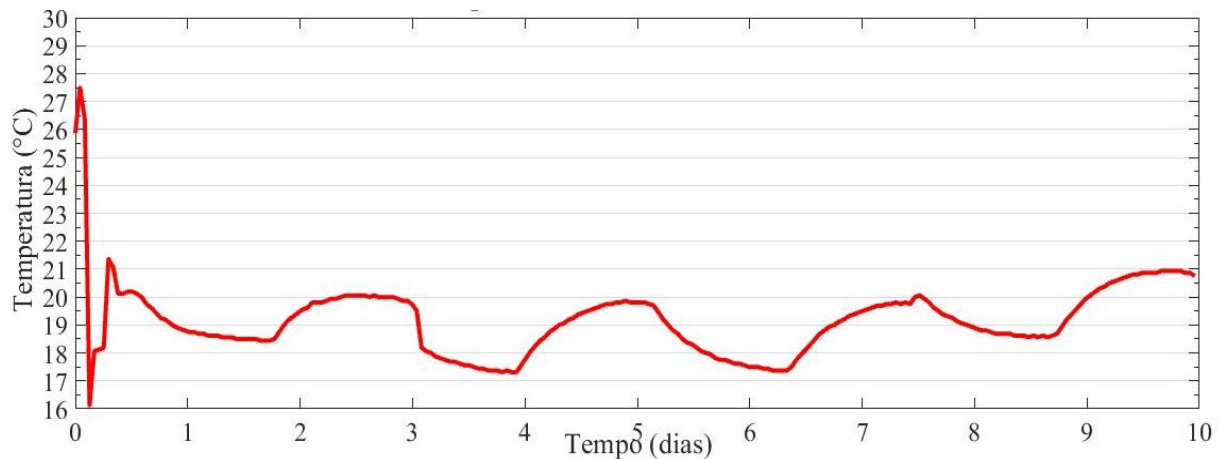
Figura 30 - Monitoramento da temperatura ambiente.



Fonte Próprio autor.

Na Figura 31, observa-se que a temperatura do meio de cultura flutuou entre os 17°C e 20 °C, estas variações podem ser devido a mudanças de temperatura no meio ambiente e devido ao fato de que o dispositivo de refrigeração controlava a temperatura da sala e não diretamente do meio de cultura, com isto obteve-se uma temperatura média do meio de cultura de 19,15 °C, com um desvio padrão de $\pm 1,263^\circ\text{C}$.

Figura 31 - Monitoramento da temperatura do meio de cultura.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados obtidos do cultivo com a luminosidade controlada e a temperatura monitorada estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Produtividade de biomassa com controle do fotoperíodo e monitoramento da temperatura.

Amostras de biomassa seca (10 dias de cultivo)	Média	Produtividade
175 (mg/l)	178 mg/l	17,8 mg/l.dia
181 (mg/l)		

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 6 apresenta a quantidade de biomassa seca obtida do cultivo de microalgas com controle de fotoperíodo e com injeção de dióxido de carbono gerado pela fermentação alcoólica.

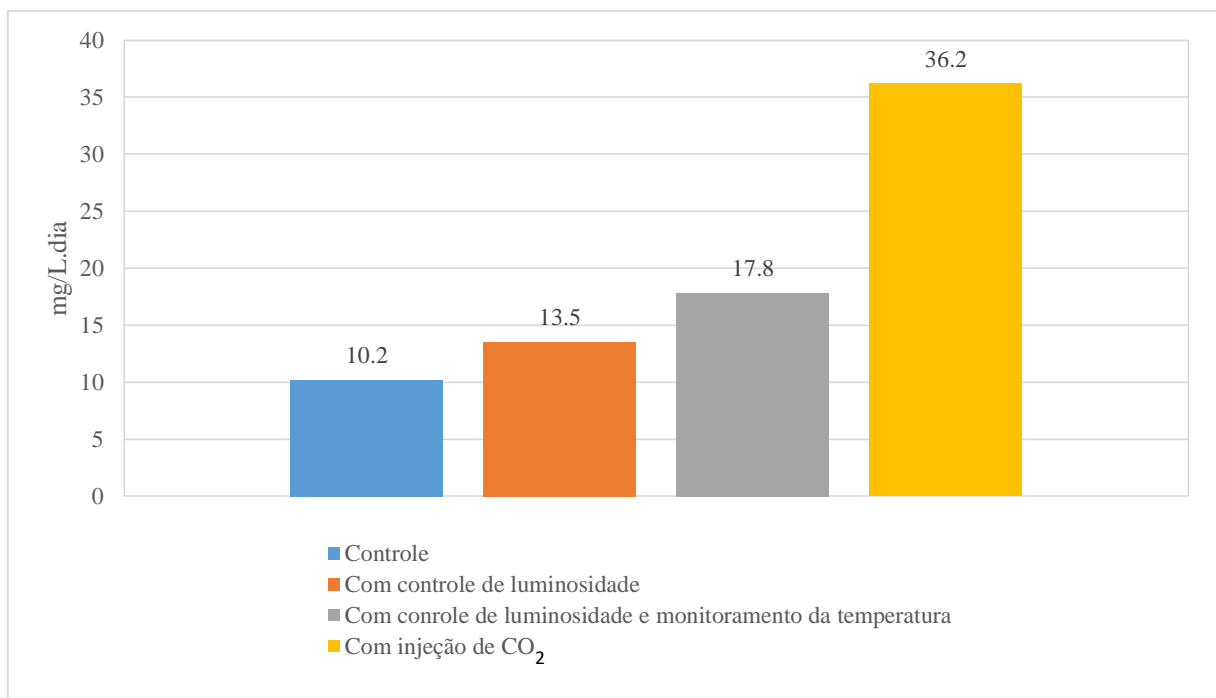
Tabela 6 - Produtividade de biomassa com controle do fotoperíodo e com injeção de CO₂.

Amostras de biomassa seca (10 dias de cultivo)	Média	Produtividade
353 (mg/l)	362 mg/l	36,2 mg/l.dia
371 (mg/l)		

Fonte: Próprio autor.

Embora o processo de geração de dióxido de carbono através da fermentação alcoólica somente produziu CO₂ durante os primeiros 3 dias de cultivo, a quantidade de biomassa produzida alcançou quantidades maiores que sem a implementação de dióxido de carbono, chegando dobrar a produção de biomassa quando comparada a produção de biomassa do cultivo com o monitoramento da temperatura e a luminosidade controlada. A Figura 32 mostra a produtividade de cada cultivo em unidades e mg/l.dia.

Figura 32 - Gráfico comparativo da produtividade de biomassa.



Fonte: Próprio autor.

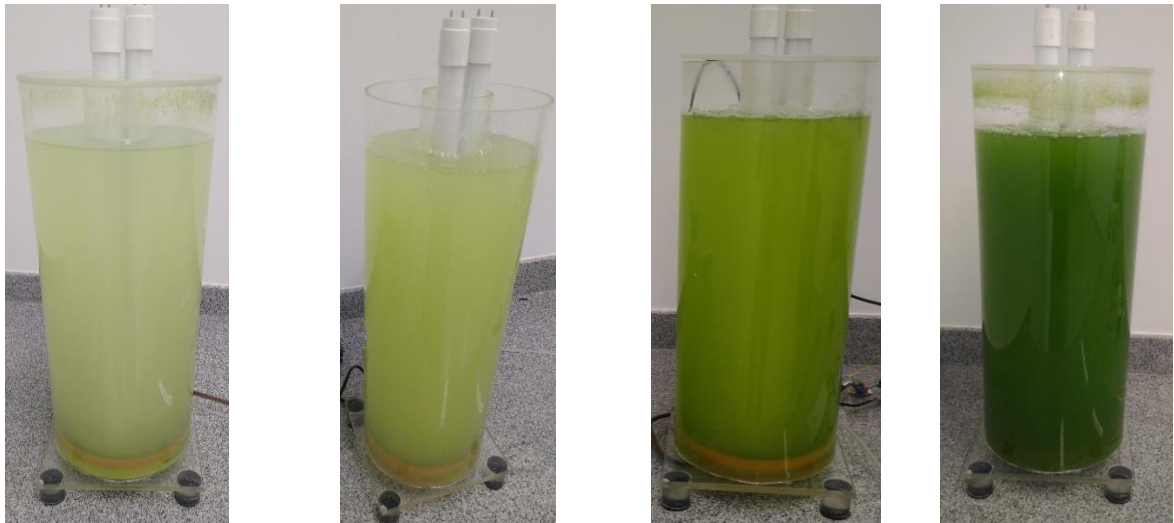
A diferença na produtividade de biomassa com a injeção de gás carbônico permite inferir que a implementação de CO₂ para o cultivo de microalgas, cujo foco é produção de biomassa, pode trazer um aumento importante da produção.

O estudo da literatura mostrou que para a espécie *Scenedesmus sp*, utilizada no trabalho feito por Erazo (2017), produziu uma quantidade de biomassa de 8 mg/l.dia, um valor de produção muito próximo do valor atingido no cultivo controle, assim como a espécie *Scenedesmus Meyen 1829*, cuja produção de biomassa foi de 7,55 mg/l.dia (ANDRADE; COLOZZI FILHO. 2014b). No trabalho apresentado por Quevedo; Morales; Acosta (2008), a maior quantidade de biomassa obtida pela microalga da espécie *Scenedesmus sp* durante 30 dias de cultivo foi de 13,3 g/l.dia. Assim, pode-se observar que os valores de biomassa

obtidos neste trabalho sem a implementação do sistema de CO₂ e cultivo com temperatura ambiente (10,2 a 13,5 g/l.dia) estão dentro da produção encontrada na literatura, sendo, no entanto, ligeiramente maior nos experimentos feitos controlando o fotoperíodo e a temperatura (17,8 g/l.dia) e, notavelmente, muito maior quando foi implementada a injeção de dióxido de carbono no cultivo (36,2 g/l.dia).

A Figura 33 mostra a coloração do cultivo depois dos 10 dias para cada um dos experimentos. Observa-se que, com a injeção de dióxido de carbono, a cor no final do cultivo foi diferente da coloração dos cultivos onde não foi injetado CO₂, indicando um maior crescimento das microalgas.

Figura 33 - Coloração do meio de cultivo depois de 10 dias.



a) Fotoperíodo 24 horas de luz.

b) Fotoperíodo 12 horas de luz e 12 de escuro.

c) Com controle de fotoperíodo e de temperatura

d) Com fonte de CO₂.

Fonte: Próprio autor.

4 CONCLUSÕES

4.1 Principais conclusões

Os sistemas eletrônicos desenhados e implementados para o cultivo de microalgas em fotobiorreatores mostraram que, embora o grau de automação não seja muito alto ou sofisticado, permite levar um controle certo da iluminação, assim como o acesso remoto a bases de dados que armazenam informações relevantes, tanto do cultivo quanto do sistema de controle. Uma das limitações encontradas com a utilização do Arduino como o principal microcontrolador é que a frequência de processamento das tarefas da placa utilizada não é suficiente para realizar todos os processos como o requerimento de dados de diferentes sensores e mostrar os dados em tempo real em dispositivos LCD. Isto pode acabar limitando, também, a quantidade de sensores e atuadores implementados, embora a placa possua portas livres. O sistema de monitoramento através de rede sem fio deve possuir um servidor estável que garanta o funcionamento para evitar perder a informação durante o tempo de cultivo. O monitoramento sem fio através de *bluetooth* pode servir como alternativa quando não é possível conectar-se o sistema através de fiação e quando não é possível a utilização de redes Wifi para a obtenção dos dados. Se alguma destas opções estiver disponível, é melhor evitar o uso do *bluetooth* pelo fato de que este sistema pode perder a conexão facilmente e a informação não chegar a ser coletada.

O cultivo de microalgas da espécie *Scenedesmus sp* em fotobiorreator mostrou ter uma produtividade modesta 10,2 mg/l.dia a normal 36,2 mg/l.dia.

A implementação de dióxido de carbono produzido pela fermentação durante o cultivo de microalgas sugere um aumento da produção de biomassa, assim como uma mudança da coloração do cultivo deixando-o com uma cor verde escuro. A implementação do fermentador para produção de CO₂ utilizado como nutriente para o cultivo de microalgas, é viável para o cultivo em fotobiorreator, e pode fornecer até 4 dias de gás. Medições do pH do meio de cultura são necessárias sempre que o dióxido de carbono seja utilizado para o cultivo de microalgas, pois mudanças no pH do meio de cultura podem inibir o crescimento das microalgas e prejudicar a produção de biomassa. O cultivo de microalgas no fotobiorreator utilizado precisa ser levemente agitado pelo menos uma vez por dia durante cada dia de cultivo, pois a biomassa das microalgas se deposita no fundo do fotobiorreator.

4.2 Trabalhos futuros

Como possibilidade de trabalhos futuros podem ser citados:

- Implementação de um sistema de controle eletrônico utilizando dispositivos mais robustos como Raspberry-pi que, em conjunto com Arduino, permitam levar um controle eficaz dos processos do cultivo que já foram implementados, assim como do pH, CO₂ e análise de gases, e, também, do processo de fermentação.
- Implementar um sistema que permita coletar as microalgas cultivadas no fotobiorreator de forma automática que garanta a mesma quantidade de microalgas por cada cultivo.
- Padronizar o cultivo da espécie de microalga a ser cultivada antes do cultivo no fotobiorreator.
- Realizar testes comparativos com diferentes fotoperíodos e lâmpadas para encontrar a iluminação mais eficiente para a produção de biomassa.
- Realizar cultivos onde seja testada a quantidade de dióxido de carbono necessária para modificar o pH do meio de cultura.
- Destilar a quantidade de álcool produzida durante a fermentação e avaliar a qualidade através do teste em um motor de combustão interna.

REFERÊNCIAS

- AIBA, S.; SHODA, M.; NAGATANI, M. Kinetics of product inhibition in alcohol fermentation. **Biotechnology and Bioengineering**, Hoboken, v. 10, p. 845-864, 1968.
- AFYOUNI, E.; CLARCK, M.; CHU, P.; RODGERS, J. **Research and Analysis of the Effects of Carbon Dioxide on the Growth of *Chlorella Saccharophila***. Curitiba: Federal University of Paraná, 2011.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A. **Microalgas de águas continentais: potencialidades e desafios do cultivo**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná - Iapar, 2014a. v.1. 343 p.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A. **Microalgas de águas continentais produção de biomassa e coprodutos**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná - Iapar, 2014b. v. 2. 443 p.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A. **Coleção IPR de microalgas**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná - Iapar, 2014c. v. 3. 57 p.
- BAI, F. W.; ANDERSON, W. A.; MOO-YOUNG, M. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. **Biotechnology Advances**, New York, v. 26, p. 89-105, 2008.
- BOROWITZKA, M. A.; MOHEIMAI, N. R. **Algae for biofuels and energy: developments in applied phycology 5**. Murdoch,,: Springer, 2013, 288 p.
- BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae: a review of technologies from production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 14, n. 2, p. 557-577, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.10.009.
- BURLEW, J. S. **Algal culture from laboratory to pilot plant**, Washington: Carnegie Institution of Washington, 1953.
- CHIARAMONTI, D.; PRUSSI, M.; CASINI, D.; TREDICI, M. R.; RODOLFI, L.; BASSI, N.; ZITELLI, G. C.; BONDIOLI, P. Review of energy balance in raceway ponds for microalgae cultivation: Re-thinking a traditional system possible. **Applied Energy**, Kidlington, v. 102, p. 101-111, 2013.
- CHISTI, Y. Biodiesel from microalgal. **Biotechnology Advances**, New York, v. 25, p. 294-306, 2007.
- CHU, F. F.; SHEG, X. F.; LAM, P. K. S. Optimization of CO₂ concentration and light intensity for biodiesel production by *Chlorella vulgaris* FACHB-1072 under nitrogen deficiency with phosphorus luxury uptake. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 26, p. 1631-1638, 2014.

DERNER, R. B. **Efeito de fontes de carbono no crescimento e na composição bioquímica das microalgas *Chaetoceros muellei* e *Thalassiosira fluviatilis*, com ênfase no teor de ácidos graxos polinsaturados.** 2006. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ERAZO, R. G. T. P. **Isolamento, seleção e cultivo em meio sintético e vinhaça de microalgas com potencial para a produção de biodiesel.** 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2017.

GREENWELL, H. C.; LAURENS, L. M. L.; SHIELDS, R. J.; LOVITT, R. W.; FLYNN, K. J. Placing microalgae on the biofuels priority list: a review of the technological challenges. **Journal of the American Oil Chemist’s Society**, Berlin, v. 7, p. 703-26, 2010.

GRIMA, M.; FERNANDEZ, A. F. G.; CAMACHO, G. F.; CHISTI, Y. Photobioreactors: light regime, mass transfer and scale up. **Journal of Biotechnology**, Berlin, v. 70, p. 231-247, 1999.

GUERRA, G. **Projeto e construção de um fotobiorreator para cultivo e crescimento de microalgas para produção de biodiesel.** 2015. 38 f. Relatório (Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

HOLCBERG, I. B.; MARGALITH, P. Alcoholic fermentation by immobilized yeast at high sugar concentrations. **European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 13, p. 133-140, 1981.

LIN, Y.; TANAKA, S. Ethanol fermentation from biomass resources: current states and prospects. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, Heidelberg, v. 69, p. 627-642, 2006.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 14, n. 1, p. 217-232, 2010.

POSTEN, C. Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. **Engineering in Life Science**, Weinheim, v. 9, p. 165-177, 2009.

QUEVEDO, O. C.; MORALES, V. S. P.; ACOSTA, C. A. Crecimiento de *Scenedesmus sp* en diferentes medios de cultivo para la producción de proteína microalgal. **Revista de la Facultad de Química Farmacéutica**, [S. l.], v. 15, p. 25-31, 2008.

RICHMOND, A. **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology.** [S. l.]: Willey-Blackwell, 2004.

ROCHA, J. M. S.; GARCIA, J. E. C.; HENRIQUES, M. H. F. Growth aspects of the marine microalga *Nannochloropsis gaditana*. **Biomolecular Engineering**, Amsterdam, v. 20, p. 237-242, 2003.

SLOCOMBE, S. P.; BENEMANN, J. R. **Microalgal production for biomass and high value products.** Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2016.

WANG, B.; LI, Y.; WU, N.; LAN, C. Q. CO₂ bio-mitigation using microalgae. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 79, p. 707-718, 2008.

XIN, L; HONG-YING, H.; YU-PING, Z. Growth and lipid accumulation properties of fresh water microalgae *Scenedesmus sp.* under different cultivation temperature. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 102, p. 3098-3102, 2011.

APÊNDICE A - Cálculo da atenuação da fermentação

Com o intuito de saber se a fermentação acabou, pode ser calculado o parâmetro conhecido como “atenuação aparente” (*At aparente*). Este parâmetro indica a conversão de açúcar em etanol por parte da levedura. Para realizar o cálculo, primeiro deve ser medida a densidade antes de colocar a mistura no fermentador, assim como durante o processo de fermentação também deve ser medida, isto sem introduzir oxigênio dentro do fermentador, com os dados da densidade, pode ser utilizada a seguinte equação:

$$At\ aparente\ [\%] = \frac{100*(Di-Df)}{Di-1} \quad (1)$$

onde:

Di: Densidade inicial da mistura água, açúcar e levedura.

Df: Densidade final da mistura água, açúcar e levedura.

A equação (1) calcula a atenuação aparente já que o densímetro não é capaz de medir a densidade final da mistura, isto devido ao fato de que o álcool presente na mistura, depois de ter fermentado, tem uma densidade menor e pode acarretar erros de leitura. Para calcular a atenuação real faz falta calcular o extrato real ou densidade final verdadeira, que pode ser calculada através da seguinte equação:

$$Df\ verdadeira = (Di[^\circ P] * 0,188) + (Df[^\circ P] * 0,8192) \quad (2)$$

onde:

Di: Densidade inicial da mistura água, açúcar e levedura em graus Plato.

Df: Densidade final da mistura água, açúcar e levedura em graus Plato.

Os graus Plato são uma medida de concentração de sacarose, unidade de massa dissolvida em uma solução de água. Assim um grau Plato significa que 1 % da massa da solução é composta de sacarose e 99 % restante é massa da água.

Para converter o valor da densidade para graus Plato tem-se a seguinte equação:

$$^\circ P = 259 - \left(\frac{259}{Densidade} \right) \quad (3)$$

Para converter o valor de graus Plato para densidade tem-se a seguinte equação:

$$Densidade = \frac{259}{259 - ^\circ P} \quad (4)$$

Estes cálculos de atenuação do açúcar são especialmente conhecidos na indústria de cerveja, porque a porcentagem de atenuação dos açúcares presentes no líquido afeta o sabor do produto.

APÊNDICE B - Código programado no Arduino

```

// Declaração de bibliotecas utilizadas
#include <LiquidCrystal.h>           // Biblioteca para visualizar os dados na tela
LCD                                 //
#include <Wire.h>                    // Biblioteca para comunicação com o sensor de
tempo real                          //
#include <TimeLib.h>                 // Biblioteca para contabilizar o tempo
#include <TimeAlarms.h>              // Biblioteca para programar o temporizador
que liga e desliga as luzes do fotobiorreator
#include <DS3232RTC.h>               // Biblioteca para ler os dados do sensor de
tempo real                           //
#include <OneWire.h>                 // Biblioteca para a comunicação entre o sensor
de temperatura DS18B20               //
#include <DallasTemperature.h>       // Biblioteca para obtenção dos dados do
sensor de temperatura DS18B20        //
#include <elapsedMillis.h>           // Biblioteca para contabilizar o tempo sem
parar o funcionamento do microcontrolador

LiquidCrystal lcd(8,9,4,5,6,7);      // Declaração das portas utilizadas com a tela
LCD
elapsedMillis timeElapsed;          // Declaração de variável para contabilizar o
tempo de toma dos dados

int LED=3;                           // Declaração da porta associada com as lâmpadas led
unsigned long interval = 300000;     // Tempo de toma de dados na porta serial
int encender = 0;                    // Variável declarada para ligar ou desligar as luzes
manualmente. Inicialmente as lâmpadas estão desligadas

int keypad_pin = A0;                 // Declaração da porta utilizada para conexão
com os botões do módulo LCD
int keypad_value = 0;
int keypad_value_old = 0;

char btn_push;

#define ONE_WIRE_BUS 11               // Porta de conexão entre o Arduino e o
sensor de temperatura DS18B20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);       // Declaração da biblioteca para
comunicação na porta 11 do Arduino
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Declaração da biblioteca para ler os
dados do sensor através da biblioteca de um fio
DeviceAddress insideThermometer;     // Leitura do endereço interno do sensor
DS18B20

void setup()                          // Inicialização de variáveis e sensores
{
  pinMode(LED,OUTPUT);                // Declarar a porta associada com as
lâmpadas como uma porta de saída

```

```

sensors.begin();                // Inicializa o sensor de temperatura DS18B20

lcd.begin(16,2);                // Inicializa a tela LCD

Serial.begin(9600);
while (!Serial) ;                // Espera até a porta serial do Arduino estar
disponível para recepção de dados
setSyncProvider(RTC.get);        // Obtém os dados do sensor de tempo real

if(timeStatus()!= timeSet)
  Serial.println("Nao foi possivel obter dados do sensor RTC");
else
  Serial.println("O sensor RTC configurou o tempo do sistema com sucesso");

Alarm.alarmRepeat(7,30,0,MorningAlarm);    //instrução para ligar as luzes às
7:30am todos os dias
Alarm.alarmRepeat(19,30,0,EveningAlarm);    //instrução para desligar as luzes às
7:30pm todos os dias

}
void loop()
{

  btn_push = ReadKeypad();                // Instrução para ler qual botão está sendo
apertado

  Hora();                                  // Instrução para entrar no ciclo hora
  Alarm.delay(1000);                        // Tempo de espera para ligar ou desligar as luzes
com o temporizador

if(btn_push == 'S')                        // Se o botão SELECT for apertado entrar no ciclo de
configurar luz
  {
    Confluz();
  }

}

void Hora()
{

  digitalClockDisplay();                    // Mostra os dados dos sensores na tela LCD

}

//Mostra uma mensagem na porta serial quando as luzes sejam
ligadas

void MorningAlarm() {

```

```

    digitalWrite(LED, HIGH);          // Quando For chamada a função Morning Alarm, o
    Arduino liga a luzes do fotobiorreator

    Serial.println("- Alarme: - Ligar as luzes automaticamente"); // Mensagem na porta serial
    que indica que as luzes foram ligadas

}

void EveningAlarm() {

    digitalWrite(LED, LOW);          // Quando For chamada a função Evening Alarm, o
    Arduino desliga a luzes do fotobiorreator

    Serial.println("- Alarme: - Desligar as luzes automaticamente"); // Mensagem na porta
    serial que indica que as luzes foram desligadas

}

void Configluz()
{
if (btn_push == 'S'){                // Quando for apertado o botão SELECT o Arduino faz a
operação 1-encender
    encender = 1 - encender;        // Esta operação permite armazenar o valor de 1 na
variável e, assim, ligar ou desligar as lâmpadas do fotobiorreator
    WaitBtnRelease();
}
if(encender){
digitalWrite(LED, HIGH);
Serial.println("Luzes ligadas manualmente"); // Mensagem que indica que as luzes foram
ligadas manualmente na porta serial
}
else{

digitalWrite(LED, LOW);
Serial.println("Luzes desligadas manualmente"); // Mensagem que indica que as luzes foram
desligadas manualmente na porta serial
}
}

void digitalClockDisplay(){
    sensors.requestTemperatures(); // Instrução para a leitura do sensor de temperatura
    DS18B20
    int t = RTC.temperature();      // Instrução para leitura do sensor de temperatura
    embutido no sensor de tempo real
    float celsius = t / 4.0;        // Instrução para entregar o dado do sensor de temperatura
    embutido no sensor de tempo real em graus Celsius

    if (timeElapsed > interval)    // Condição para iniciar o contador que mostra os dados
    na porta serial

```

```

{
    // Dados mostrados na porta serial
    Serial.print(hour());
    printDigits(minute());
    printDigits(second());
    Serial.print(" ");
    Serial.print(day());
    Serial.print(" ");
    Serial.print(month());
    Serial.print(" ");
    Serial.print(year());
    Serial.print(" -- ");
    Serial.print(" Temperatura ambiente: ");
    Serial.print(celsius);
    Serial.print(" C ");
    Serial.print(" -- ");
    Serial.print(" Temperatura d'agua: ");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
    Serial.println(" C ");
    timeElapsed = 0;
}

// Dados mostrados na tela LCD
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(celsius);
lcd.print((char)223);
lcd.setCursor(6,0);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
lcd.print((char)223);
lcd.setCursor(15,0);
lcd.print("C");

//Segunda linha do lcd. Na parte de baixo mostra a hora
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(hour());
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(6,1);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(7,1);
lcd.print(minute());
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(second());
lcd.print(" ");

```

```

}

void printDigits(int digits){
    // Ciclo para imprimir um zero antes dos números menores que 10 ao
    mostrar a hora ou a data
    Serial.print(":");
    if(digits < 10)
        Serial.print('0');
    Serial.print(digits);
}

char ReadKeypad()          // Ciclo para ler os botões da placa LCD keypadshield
{
    keypad_value = analogRead(keypad_pin);

    if(keypad_value < 50)
        return 'R';
    else if(keypad_value < 195)
        return 'U';
    else if(keypad_value < 400)
        return 'D';
    else if(keypad_value < 600)
        return 'L';
    else if(keypad_value < 800)
        return 'S';
    else
        return 'N';
}

//Espera que o botão volte para sua posição inicial

void WaitBtnRelease()
{
    while( analogRead(keypad_pin) < 800){}
}

```

APÊNDICE C - Código programado no módulo Wifi

```

#include <ESP8266WiFi.h> // Biblioteca do módulo Wifi ESSP 8266
const char* ssid = "ricardoqz"; // Nome da rede Wifi
const char* password = "ricardo123"; // Senha para se conectar à rede
const char* host = "data.sparkfun.com"; // Nome do servidor que vai armazenar a
informação

const char* streamId = "aGVgEJ3nXGuwOaD6xQzo"; // Endereço IP dos dados
armazenado no servidor

const char* privateKey = "KE5e9Nw6mEIb7VaBZd6v"; // Código chave para inserir a
informação no servidor

String data1 = ""; // Dados recebidos do Arduino
String temp1,temp2,nulo,luz; // Dados inseridos ao servidor

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(10);

  // O primeiro passo é conectar o módulo com a rede Wifi

  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Conectando com "); // Mensagem que o módulo está se
conectando com a rede Wifi

  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password); // Instrução para se conectar com a rede Wifi
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { // Enquanto o modulo é conectado,
mostrar um ponto, até o módulo ter acesso à rede

    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado"); // Quando o módulo tiver acesso à rede mostra
a mensagem que está conectado e o endereço IP do módulo Wifi

  Serial.println("Endereço IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

}

void loop() {
  readingdata(); // Depois de estar conectado à rede Wifi, o módulo vai
ler os dados que está recebendo na porta Rx

```

```

}
void postingdata(){ // Depois de receber os dados o módulo deve inserir
a informação recebida no servidor

    delay(5000);
    Serial.print("conectando com "); // Antes de enviar a informação, o módulo se
conecta com o servidor

    Serial.println(host);
    WiFiClient client; // A conexão entre o módulo e o servidor é realizada
através da porta 80 do roteador

const int httpPort = 80;
if (!client.connect(host, httpPort)) {
    Serial.println("A conexão falhou"); // Se a porta 80 do roteador estiver bloqueada
ou não tiver conexão com o servidor mostra a mensagem de conexão falha

return;
}

// Agora é criada a mensagem com os dados que serão
inseridos no servidor
String url = "/input/aGVgEJ3nXGuwOaD6xQzo.txt"; // Instrução input para colocar dados
no formato .txt e o endereço que serão guardados
url += "?private_key="; // O código chave é requerido para inserir a
informação no servidor
url += privateKey;
url += "&temp1=";
url += temp1; // Temperatura ambiente entregada pelo Arduino
url += "&temp2=";
url += temp2; // Temperatura do meio de cultura entregada pelo
Arduino
url += "&luz=";
url += luz; // Mostra uma mensagem indicando se as luzes estão
ligadas ou desligadas

Serial.print("Requesting URL: ");
Serial.println(url);

// A seguinte instrução envia a mensagem de requerimento
"POST" anteriormente criada ao servidor
client.print(String("POST ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + host + "\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");
unsigned long timeout = millis();
while (client.available() == 0) {
    if (millis() - timeout > 5000) {
        Serial.println(">>> Client Timeout !");
        client.stop();
        return;
    }
}

```

```

    }
}

// Lê a mensagem de resposta do servidor e a mostra na porta
serial
while(client.available()){
  String line = client.readStringUntil('\r');
  Serial.print(line);
}

Serial.println();
Serial.println("Terminando a conexão com o servidor"); // Mostra a mensagem de
finalização da comunicação entre o servidor e o módulo Wifi

}

void readingdata(){

  data1.remove(0); // Reinicializa o vetor de letras referente aos dados recebidos
na porta Rx
  temp1.remove(0); // Reinicializa o vetor de letras da temperatura da sala
  temp2.remove(0); // Reinicializa o vetor de letras da temperatura do meio de
cultura
  luz.remove(0); // Reinicializa o vetor de letras com a mensagem da
iluminação
  nulo.remove(0); // Vetor nulo de verificação da porta Rx
  delay(30);
  data1=Serial.readString(); // Guarda a informação recebida na porta Rx no vetor
data1
  temp1 = data1.substring(0,5); // Lê o vetor data1 e armazena a informação da posição
0 à posição 5 e a guarda no vetor temp1
  temp2 = data1.substring(6,11); // Lê o vetor data1 e armazena a informação da posição
6 à posição 11 e a guarda no vetor temp2
  luz = data1.substring(12,21); // Lê o vetor data1 e armazena a informação da posição
12 à posição 21 e a guarda no vetor luz
  if(data1>nulo){ // Condição que avalia se foi recebido algum dado na porta
serial
  postingdata(); // Se for recebido alguma mensagem o módulo prossegue o
envio ao servidor
  }
}
}

```