

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**IAGO BARBOSA DO NASCIMENTO SALVADOR**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE TROCAS  
GASOSAS EM NECROMASSA E GRÃOS**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2023**

**IAGO BARBOSA DO NASCIMENTO SALVADOR**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE TROCAS  
GASOSAS EM NECROMASSA E GRÃOS**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientador: João Victor Pereira Oliveira  
Coorientador: André Luiz de Freitas Coelho

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2023**

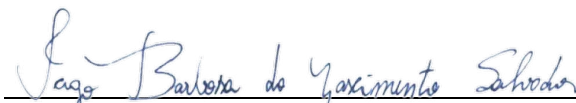
**IAGO BARBOSA DO NASCIMENTO SALVADOR**


**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE TROCAS  
GASOSAS EM NECROMASSA E GRÃOS**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 15 de dezembro de 2023.

Assentimento:

  
Iago Barbosa do Nascimento Salvador  
Autor

  
João Victor Pereira Oliveira  
Orientador

*À minha bisavó Maria.*

## **AGRADECIMENTOS**

A mim primeiramente por não ter desistido mediante as dificuldades e frustrações.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus amigos que foram imensamente importantes para que eu chegasse até aqui, em especial a Antonella, Laura e Isabela que estiveram do meu lado e me ajudaram quando operei durante a graduação.

Aos meus amigos do Coven um agradecimento especial por todo amor e carinho.

Aos professores João e André, pela orientação, apoio e confiança. Vocês dois são minhas inspirações!

A Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG: bolsa nº APQ-03088-18) pelo apoio ao trabalho.

*“O máximo às vezes pode parecer o mínimo,  
mas o mínimo, para quem não tem nada,  
já é muita coisa.” (Erika Hilton)*

## RESUMO

Os dispositivos de medição de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são cruciais tanto na decomposição da necromassa vegetal quanto no metabolismo de grãos e sementes. Eles permitem o monitoramento preciso das taxas respiratórias e germinação, proporcionando informações essenciais para processos agrícolas. Na decomposição, auxiliam no entendimento do ciclo de nutrientes do solo, identificando práticas de manejo adequadas e otimizando a compostagem para promover a saúde do solo e a sustentabilidade agrícola. No caso dos grãos, ajudam a avaliar a qualidade armazenada, facilitando decisões precisas pós-colheita e minimizando perdas nos produtos agrícolas. Dispositivos de baixo custo impulsionam a eficiência, reduzem desperdícios e modernizam a agricultura brasileira, permitindo monitoramento acessível, tomada de decisões conscientes e fortalecimento da competitividade no mercado global. Este estudo visa desenvolver um dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas, autônomo e de baixo custo para a medição das concentrações de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, umidade e temperatura na câmara de medição. O dispositivo é composto por sensores, uma placa de circuito impresso, um microcontrolador ATmega, um display LCD e uma câmara de medição. Foram realizadas duas etapas de monitoramento para avaliar o funcionamento do dispositivo: a respiração de grãos de trigo e decomposição de necromassa. Apesar da versatilidade e acessibilidade da câmara, identificou-se a necessidade de calibração no sensor COZIR-AH-1. Contudo, o sistema desenvolvido demonstrou ser capaz de avaliar as concentrações de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> dos materiais analisados, assim como as alterações na temperatura.

Palavras-chave: Concentração de dióxido de carbono; Monitoramento de necromassa; Respiração de grãos

## ABSTRACT

The carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) measurement devices are crucial both in the decomposition of plant necromass and in the metabolism of grains and seeds. They allow for precise monitoring of respiratory rates and germination, providing essential information for agricultural processes. In decomposition, they assist in understanding the soil nutrient cycle, identifying appropriate management practices, and optimizing composting to promote soil health and agricultural sustainability. In the case of grains, they help evaluate stored quality, enabling precise post-harvest decisions and minimizing agricultural product losses. Low-cost devices drive efficiency, reduce waste, and modernize Brazilian agriculture, enabling affordable monitoring, informed decision-making, and strengthening competitiveness in the global market. This study aims to develop a low-cost, autonomous gas exchange monitoring device for measuring CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, humidity, and temperature concentrations in the measurement chamber. The device comprises sensors, a printed circuit board, an ATmega microcontroller, an LCD display, and a measurement chamber. Two monitoring stages were conducted to assess the device: wheat grain respiration and necromass decomposition. Despite the chamber's versatility and accessibility, a need for calibration in the COZIR-AH-1 sensor was identified. However, the developed system proved capable of evaluating the CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations of the analyzed materials.

Keywords: Carbon dioxide concentration; Necromass monitoring; Grain respiration

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Desenvolvimento do dispositivo .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Calibração do sistema.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. Condução do Experimento.....</b>	<b>14</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Calibração dos sensores.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Monitoramento dos grãos de trigo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Monitoramento de necromassa.....</b>	<b>21</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais desempenham um papel crucial na regulação do ciclo global de carbono e na atenuação das mudanças climáticas, pois absorvem consideráveis quantidades de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera. Embora as árvores absorvam ( $\text{CO}_2$ ) durante o processo de fotossíntese, também o liberam pelo caule durante a respiração. A liberação de ( $\text{CO}_2$ ) pelas árvores através do tronco é responsável por uma parte substancial das emissões totais de carbono de um ecossistema, variando de 5 a 42% (ROWLAND, 2018). Portanto, esse fenômeno tem sido alvo de pesquisas visando avaliar o equilíbrio de carbono nas florestas tropicais e compreender a relação entre os processos externos do ecossistema e os processos metabólicos das árvores (ROWLAND, 2018).

Embora as medições manuais de fluxo de carbono ainda permaneçam como principais métodos, os processos envolvendo a automação do sistema tem crescido cada vez mais, como em trabalhos intensivos de campo, laboratório, locais remotos, estudos de baixo custo e projetos educacionais (CARBONE, 2019). A automação possibilita obter resultados com maior precisão, otimizar a eficiência das operações de laboratório, reprodutibilidade de falha humana (PELLINI, 2017).

De acordo com Helm, câmaras de diferentes tipos são utilizadas para quantificar o ( $\text{CO}_2$ ) liberado pelos caules. Assume-se que essas medidas representam diretamente a quantidade de ( $\text{CO}_2$ ) produzida pela respiração dos tecidos subjacentes das árvores. Todavia, essa suposição não leva em consideração que a emissão local de ( $\text{CO}_2$ ) é o resultado apenas da produção de ( $\text{CO}_2$ ) pela respiração, mas também de uma série de processos que ocorrem após a respiração. Portanto, esses processos podem variar consideravelmente ao longo do tempo e podem ser diferentes entre árvores da mesma espécie. Portanto, o ( $\text{CO}_2$ ) reflete informações importantes sobre as árvores como respostas a adubos, estresse hídrico, entre outros fatores externos (HELM, 2021).

Dispositivos de medição de fluxo de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  têm um papel crucial no aprimoramento dos processos agrícolas, especialmente no que diz respeito à necromassa vegetal e ao metabolismo de grãos. Esses dispositivos oferecem uma compreensão detalhada das trocas gasosas que ocorrem nos sistemas agrícolas, fornecendo informações valiosas sobre a decomposição de matéria orgânica e o ciclo de nutrientes (LIMEIRA, 2020).

Na decomposição da necromassa vegetal, esses dispositivos permitem o monitoramento preciso das taxas de decomposição. Dessa forma, auxilia os agricultores no entendimento do ciclo de nutrientes do solo, na identificação de práticas de manejo adequadas para aumentar a

fertilidade do solo e na otimização da compostagem, contribuindo para a saúde do solo e promovendo a sustentabilidade agrícola a longo prazo (FRÓES, 2021).

Além disso, no metabolismo de grãos e sementes, os dispositivos de medição de fluxo de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> desempenham um papel fundamental ao permitir o acompanhamento das taxas respiratórias e do processo de germinação. Isso fornece informações valiosas sobre a qualidade dos grãos armazenados, auxiliando a tomar decisões mais precisas sobre o armazenamento e a gestão pós-colheita, minimizando perdas e preservando a qualidade dos produtos agrícolas (ZEYMER, 2021).

Ao integrar esses dispositivos de medição da concentração de gases nos processos agrícolas, é possível ajustar estratégias de manejo e armazenamento e otimizar a eficiência dos sistemas produtivos. Isso não apenas impulsiona a produtividade, mas também contribui para a redução de desperdícios e promove práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, fortalecendo a competitividade do setor no mercado global e garantindo a segurança alimentar (GAIKWAD et al., 2021).

Dispositivos de baixo custo simplificam o monitoramento das plantações, o gerenciamento de estoque e logística. Isso resulta na redução de desperdícios e no aumento geral da eficiência na produção. A capacidade de acessar informações sobre o mercado e preços possibilita aos agricultores tomarem decisões mais informadas, impulsionando sua viabilidade financeira e competitividade no mercado. Com essa integração de tecnologia acessível, o setor agrícola brasileiro se moderniza de maneira sustentável, fortalecendo sua base produtiva e competitiva (JUNIOR, 2023).

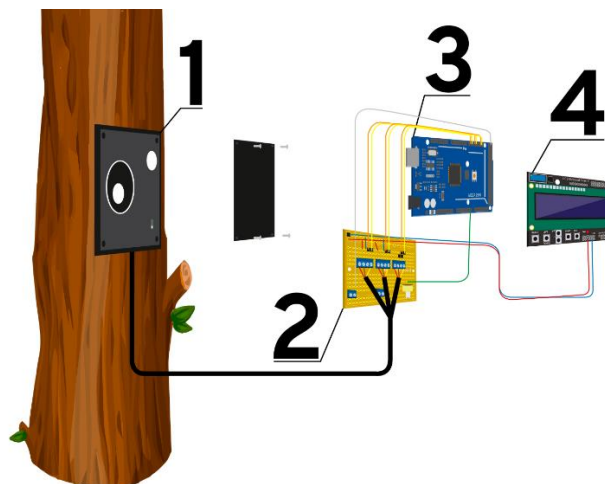
Por isso, esse trabalho objetivou desenvolver um projeto de uma câmara portátil de de baixo custo e totalmente autônoma, que permita medições simultâneas, *in situ*, das concentrações de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, umidade e temperatura dentro da câmara a partir de troncos em decomposição e por fim, respiração de sementes, podendo ser usado para outras aplicações.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas foi desenvolvido no Núcleo Agrícola de Automação, Controle, Sistemas Embarcados, Instrumentação e Robótica (NAACSIR), localizado no Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. As calibrações foram realizadas no Viveiro de Mudanças Florestais, pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) presente na mesma universidade, também na cidade de Viçosa, MG. A validação do sistema ocorreu no Laboratório de Mecanização Agrícola na UFV.

O dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas é composto por uma case, desenvolvida em impressão 3D demonstrado na figura 1, contendo os sensores. A case foi fixada dentro de um recipiente de plástico onde o material analisado foi colocado. O recipiente onde a case é fixado será denominado câmara de medição, essa câmara pode variar de tamanho de acordo com o tamanho do material analisado, mas deve visar a menor troca possível de gás com o ambiente externo, quando ocorrer a necessidade de trocas o mesmo deve ser realizado com injeção de uma bomba de ar. Além do case com os sensores e da câmara, o sistema é dotado de uma placa de circuito impresso, um microcontrolador ATmega e um display LCD. A Figura 1 apresenta uma ilustração do sistema montado para o monitoramento de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> em caule de árvore.

Figura 1 - Esquema simplificado do sistema desenvolvido para monitoramento das concentrações de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> em caule de árvore. 1) case com sensores 2) placa de circuito impresso 3) Microcontrolador ATmega e por fim, 4) Display LDC



Fonte: Autor.

## 2.1. Desenvolvimento do dispositivo

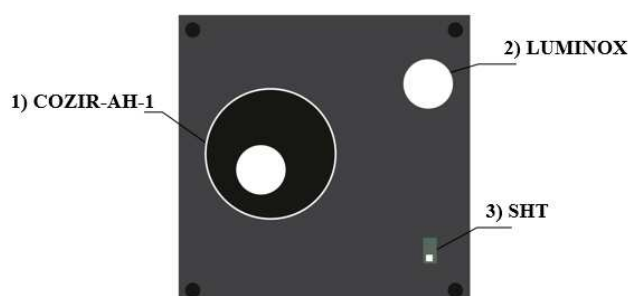
O dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas foi construído com base na placa microcontroladora ATmega 2560, descrita no site do fabricante Arduino. Os sensores conectados à placa incluíam: o sensor COZIR-AH-1 para a medição do dióxido de carbono, o sensor LuminOX LOX-02 para a medição do oxigênio, e o sensor SHT85 para medir a temperatura e umidade dentro da câmara. Também foi utilizada uma bomba RS385 para a injeção dos gases atmosféricos externos dentro da câmara de medição.

Além disso, o dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas está equipado com um módulo Data Logger Shield com RTC DS1307, destinado à obtenção da data e horário dos dados coletados, bem como ao armazenamento destes dados no cartão micro SD. Um display Shield 16x2 com teclado foi empregado para a apresentação em tempo real dos dados e o controle do período de operação da bomba. Todos os componentes foram dispostos em uma placa de circuito impresso com dimensões de 10 cm x 5 cm.

A case foi instalado na câmara de medição, a fim de evitar quaisquer interações gasosas com o ambiente circundante. É crucial que a câmara de medição seja hermética para evitar a interação direta dos gases externos com o material a ser analisado. Se houver necessidade de introduzir gases externos, isso deve ser feito de maneira controlada através de injeção usando uma bomba, ou outro componente.

A alimentação do sistema foi provida por uma fonte de corrente contínua de 12V. A programação do sistema contemplava a leitura dos dados a cada intervalo de 40 segundos, com a subsequente exibição dos resultados no visor, enquanto o salvamento dos registros no cartão de memória ocorre a cada minuto. A Figura 2 apresenta uma ilustração do sistema de sensores desenvolvidos para o monitoramento da pesquisa.

Figura 2 - Case desenvolvida em impressora 3D com os sensores. 1) COZIR-AH-1, 2) LuminOX e 3) SHT



Fonte: Autor.

## 2.2. Calibração do sistema

Os sensores utilizados na câmara de medição de concentrações de gases possuem uma calibração de fábrica através de protocolos digitais como UART ou I2C, para atender às necessidades específicas do sistema de fluxo desenvolvido neste projeto, uma recalibração do sensor de CO<sub>2</sub>. Essa nova calibração permitiu um ajuste mais preciso dos dados coletados pelo sensor, otimizando assim a sua performance para a finalidade do projeto.

Para a calibração do sensor COZIR-AH-1, diversas concentrações de foram obtidas no interior de um estufim em uma casa de vegetação onde a injeção controlada de CO<sub>2</sub> ocorreu nas extremidades. A fim de medir a concentração de CO<sub>2</sub> dentro do estufim, o sensor de mercado Instrutherm DG300 foi empregado como sensor referência. O dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas foi posicionado dentro desse ambiente, ao lado do sensor Instrutherm DG300. A coleta de dados foi realizada pontualmente, a cada minuto, ao longo de um período de duas horas, com variações nas concentrações de CO<sub>2</sub> no ambiente de controle. A calibração envolveu a obtenção de uma equação por meio de regressão linear para corrigir os valores fornecidos pelo sensor COZIR-AH-1. A tabela 1 resume as configurações técnicas dos sensores e da bomba.

Tabela 1 - Descrição e informações dos sensores usados e da bomba

Sensor	COZIR-AH-1	LuminOX LOX-02	SHT85	Instrutherm DG300	Bomba RS385
<b>Descrição</b>	Medição de concentração de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Sensor de oxigênio (O <sub>2</sub> ) com tecnologia de luminescência para concentração de oxigênio	Sensor combinado de temperatura e umidade	Medição de concentração de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Bomba
<b>Fabricante</b>	Gas Sensing Solutions Ltd.	SST Sensing Ltd.	Sensirion	Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda	OEM
<b>Tensão de operação (V)</b>	3,6 a 5,5	4,75 a 5,25	2,15 a 5,5	5	12
<b>Faixa de medição</b>	0 a 10000 partes por milhão (ppm)	0 a 25% de concentração de O <sub>2</sub>	Temperatura: -40°C a +125°C e Umidade: 0% a 100%	0 a 9999 (ppm)	1500 a 2000 ml
<b>Tempo de resposta</b>	40 segundos	30 segundos	8 segundos	2 segundos	Programável

Fonte: Autor.

### 2.3. Condução do Experimento

A validação da câmara de medição em desenvolvimento foi conduzida no laboratório de Mecanização Agrícola, LMA. O período de validação teve a duração de 4 dias, com coleta automática de dados a cada 40 segundos, esse tempo foi adotado uma vez que o sensor COZIR-AH-1 tem o tempo de resposta de 40 segundos, já o LuminOX tem tempo de resposta de 30 segundos, por isso foi adotado o maior tempo de resposta, 40 segundos.

Para a análise da respiração dos grãos de trigo, inicialmente, os grãos foram submersos em água por um período de três horas, com o intuito de aumentar o teor de umidade e, conseqüentemente, estimular o metabolismo dos grãos e dos microorganismos presentes na amostra. Em seguida, os grãos foram colocados na câmara de medição, e a case com os sensores fixada na tampa da câmara conforme ilustrado na Figura 3. A troca de gases com o ambiente externo foi minimizada para preservar as condições experimentais. No monitoramento dos grãos de trigo, a bomba foi programada para injetar ar externo no recipiente a cada 60 segundos, com duração de funcionamento de 10 segundos, mantendo assim um controle preciso do ambiente interno.

Figura 3 - (A) recipiente com os grãos de trigo e (B) a case com os sensores fixados na tampa do recipiente

(A)



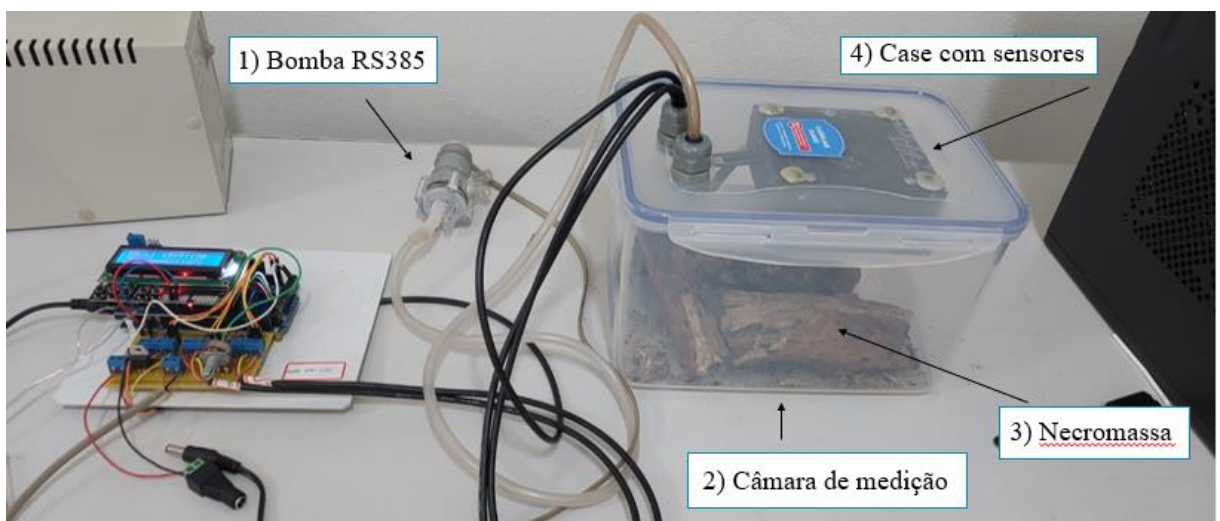
(B)



Fonte: Autor.

Para a análise da necromassa o material a ser analisado foi colocado na câmara de medição e a case com os sensores na tampa da câmara de medição. A primeira parte do experimento envolveu a injeção de ar externo a cada 60 segundos, acionando a bomba por 10 segundos, enquanto a segunda parte foi conduzida sem a ativação da bomba, conforme na Figura 4.

Figura 4 - Experimento para monitoramento de trocas gasosas em necromassa florestal



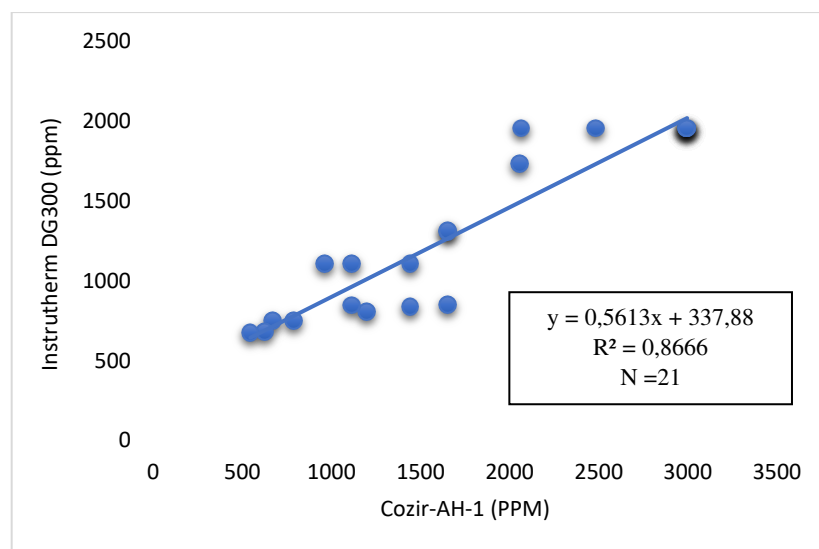
Fonte: Autor.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Calibração dos sensores

Os parâmetros da equação de calibração do sensor para medição de CO<sub>2</sub> foram significativos com base em regressão linear. O Gráfico 1 apresenta os resultados da análise de regressão.

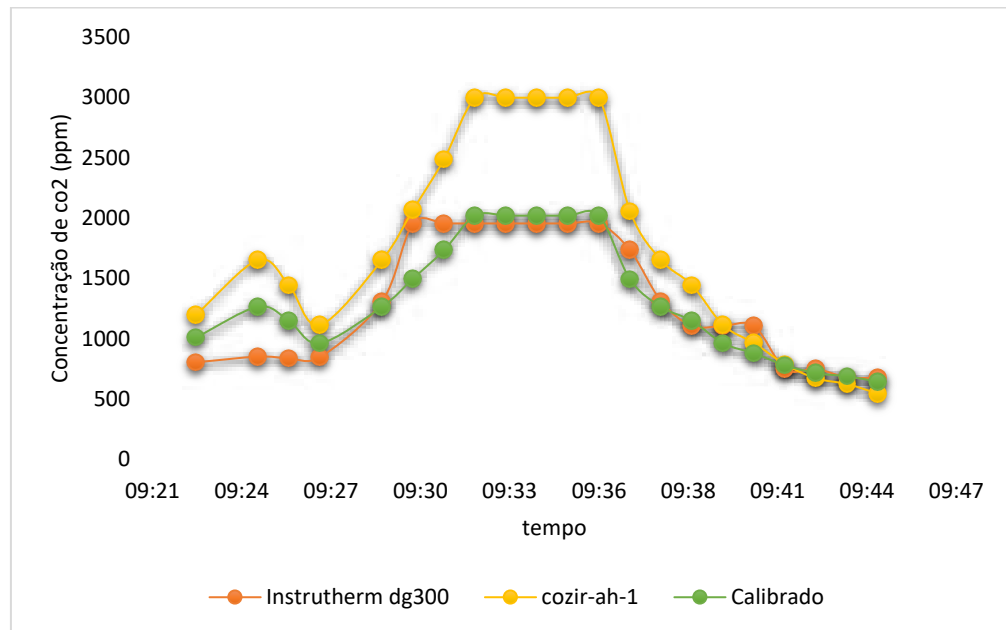
Gráfico 1 - Regressão Linear: Sensor COZIR-AH-1 e Sensor de Referência Instrutherm DG300



Fonte: Autor.

Comparando-se os valores obtidos pelo sensor referência, os valores do COZIR-AH-1 e os resultados com o sensor corrigido, observou-se que o sensor COZIR-AH-1 foi sensível ao aumento e redução da concentração de CO<sub>2</sub> do ambiente conforme apresentado no Gráfico 2. Sem a correção dos valores informados pelo COZIR-AH-1, observou-se aumento da diferença com os valores informados pelo sensor de referência, à medida que a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou. Tal comportamento foi eliminado utilizando a equação de calibração de acordo com o Gráfico 1. Além disso, observou-se o sensor COZIR-AH-1 demandou maior tempo para responder à variação de concentração de gás CO<sub>2</sub> ambiente, comparado ao sensor de referência.

Gráfico 2 - Representação de Dados: Instrutherm DG300, COZIR-AH-1 e Valores Calibrados.



Fonte: Autor.

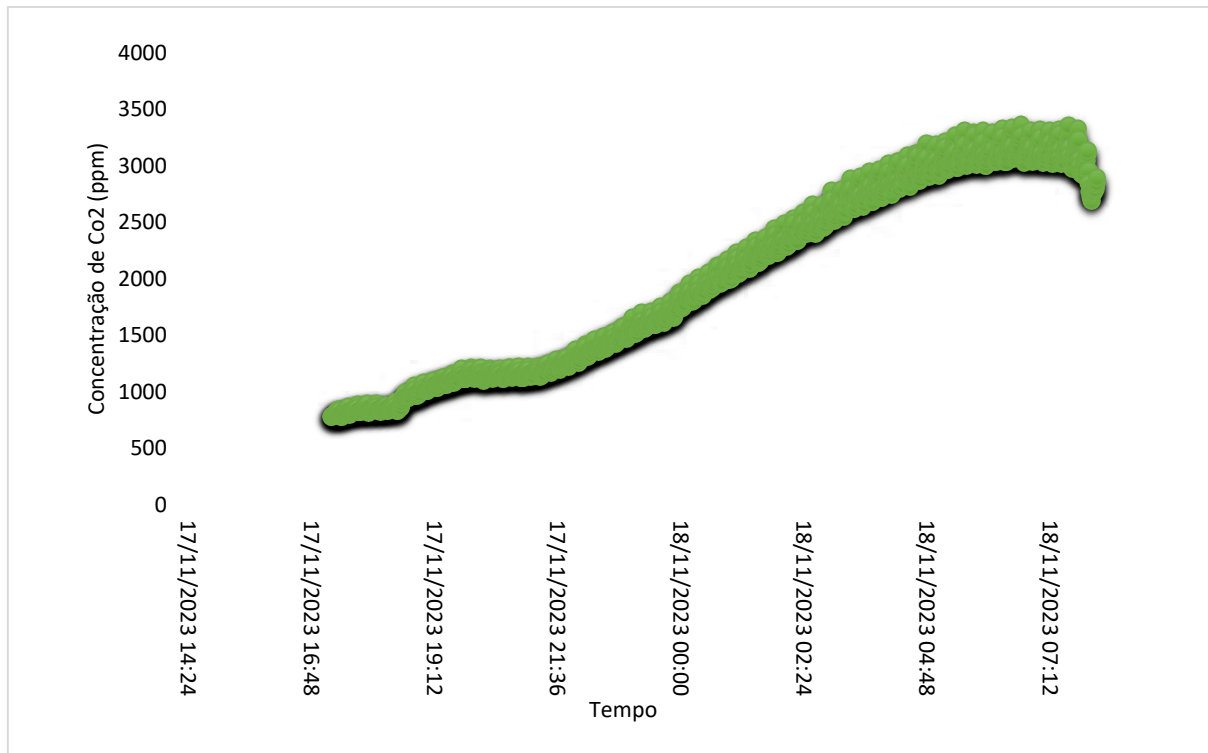
Os resultados obtidos, no Gráfico 2, comprovaram que o COZIR-AH-1 é sensível às variações de concentração de CO<sub>2</sub> entre 400 e 2000 ppm. Porém, os valores informados pelo sensor divergiram daqueles apresentados pelo sensor de referência para uma mesma concentração de gás, necessitando a utilização de uma curva de calibração. Enfim, A eficiência do sensor para ser empregado em sistemas de medição da concentração de CO<sub>2</sub> é respaldada pela sua calibração satisfatória.

### 3.2. Monitoramento dos grãos de trigo

A respiração celular é um processo presente em todas as células vivas, onde compostos ricos em energia, como a glicose, são oxidados, resultando na produção de substâncias de menor energia, como dióxido de carbono e água (KADER; SALTVEIT, 2002; RAUDIÈNE et al., 2017). Nos grãos armazenados, a respiração é uma característica intrínseca. Além disso, a atividade respiratória de bactérias, fungos e insetos no ambiente de armazenamento pode contribuir significativamente para essa atividade (GARCIA-CELA et al., 2019; JIAN et al., 2019). No gráfico 3, os valores de CO<sub>2</sub> na câmara durante o monitoramento da respiração dos grãos de trigo. As concentrações de CO<sub>2</sub> aumentam com o passar do tempo, o que era esperado

devido a produção de CO<sub>2</sub> nos processos de respiração da semente e dos microrganismos presentes no meio.

Gráfico 3 - Concentração de dióxido de carbono durante um período de dois dias de monitoramento de grãos de trigo



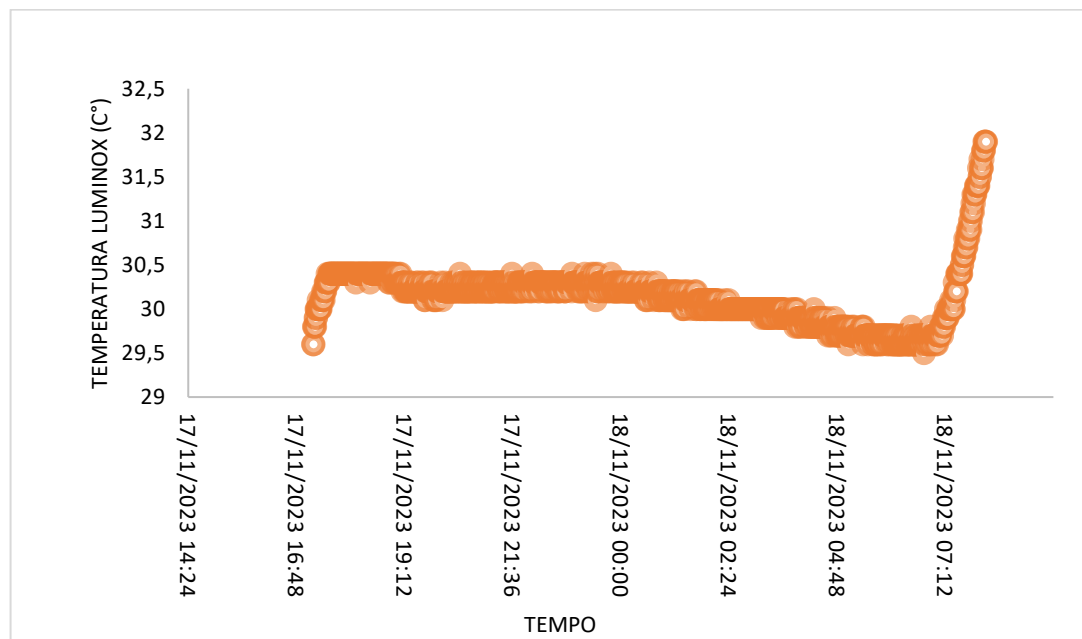
Fonte: Autor.

Grãos com alto teor de água tendem a aumentar sua temperatura devido à atividade respiratória e a presença de microrganismos como fungos e insetos, o que pode resultar em deterioração e perda de valor nutricional (JIAN et al., 2014). Essa interação complexa entre variáveis contribui para o ciclo de deterioração dos grãos. A produção de CO<sub>2</sub> resultante da respiração dos grãos e dos microrganismos associados pode estar associada à perda de matéria seca do produto final. (GARCIA-CELA et al., 2019), o que pode explicar o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> dentro da câmara.

Suleiman e Rosentrater (2016) indicaram que a temperatura durante o armazenamento são fatores cruciais que impactam na respiração dos grãos nos ecossistemas de armazenamento, influenciando diretamente na deterioração do produto. Nos Gráficos 4 e 5 é possível observar o comportamento da temperatura dentro da câmara de medição.

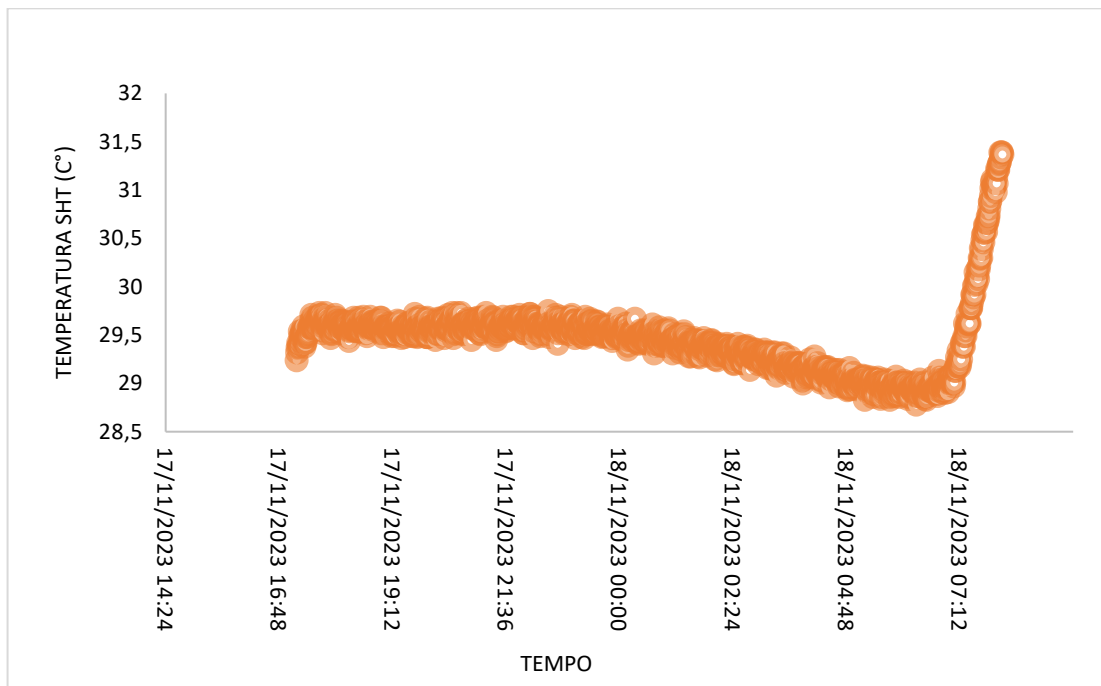
De acordo com NICOLAS & SILLANS (1989), a concentração de CO<sub>2</sub> em grãos de trigo deve aumentar em um ambiente controlado, uma vez que os grãos estão com alta atividade metabólica, porém para saber a eficiência do dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas desenvolvido é necessário a comparação dos valores encontrados com um dispositivo referência de monitoramento de trocas gasosas.

Gráfico 4 - Valores de temperatura registrada pelo sensor LuminOX durante o período de monitoramento



Fonte: Autor.

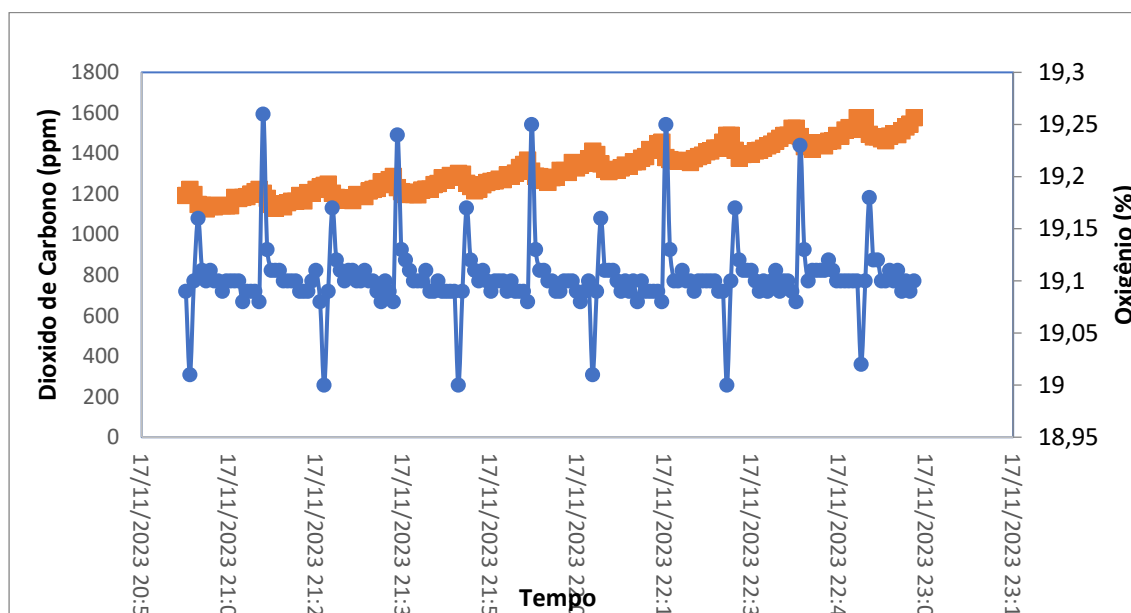
Gráfico 5 - Valores de temperatura registrados pelo sensor SHT durante o período de monitoramento



Fonte: Autor.

A respiração gera umidade, aumentando a umidade relativa do ar entre os grãos, criando um ambiente favorável ao crescimento de microrganismos (KALETA e GÓRNIKI, 2013), o que explica os picos de temperatura ao final do monitoramento. O SHT apresenta um tempo de resposta menor que o LuminOx, o que explica as variações de temperatura, e como consequência os valores do SHT são mais confiáveis quando comparados aos valores do LumiOx. O Gráfico 6 evidencia a dinâmica entre  $O_2$  e  $CO_2$  observado no trabalho.

Gráfico 6 - Valores das concentrações de Dióxido de Carbono (ppm) e Oxigênio (%)



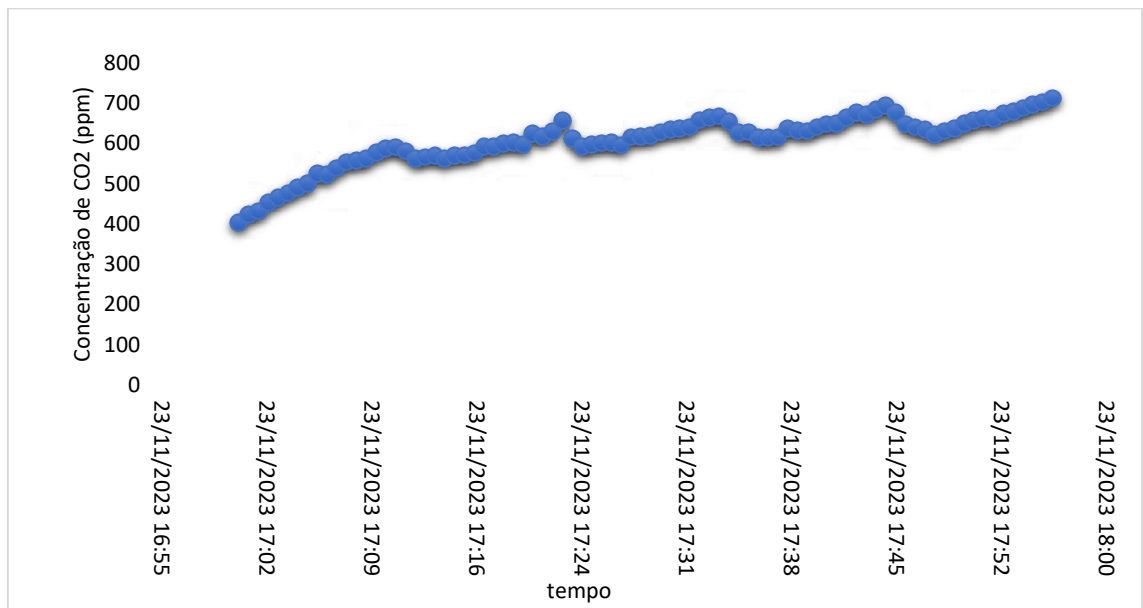
Fonte: Autor.

Conforme observado no Gráfico 6, no sistema estático de respiração, o processo respiratório resulta na diminuição do  $O_2$ , aumento do dióxido de carbono, presença de outros gases e elevação da temperatura. Segundo Ellis et al. (1991), o aumento do  $CO_2$  no ambiente entre os grãos pode restringir a respiração aeróbica, permitindo a ocorrência de processos como a respiração anaeróbica e a fermentação. De acordo com Dufour, Swana e Rao (2011), esses processos metabólicos geram compostos químicos residuais, incluindo monóxido de carbono (CO), hidrogênio, acetato, etanol, ácido acético e butanol.

### 3.3. Monitoramento de necromassa

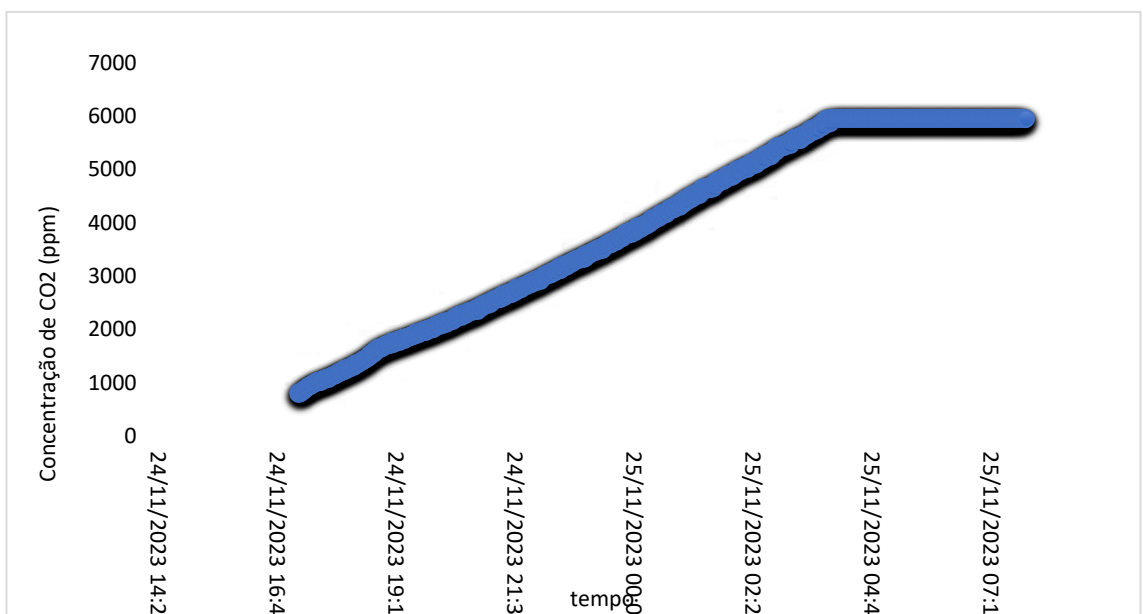
Durante o monitoramento da necromassa foi possível observar o aumento do  $CO_2$  dentro da câmara de medição com o funcionamento da bomba e no monitoramento com a bomba desligada, o mesmo material foi analisado para ambas as situações. Em virtude da decomposição, microrganismos como fungos e bactérias começam a quebrar a matéria orgânica presente na madeira, durante esse processo de decomposição, esses microrganismos consomem a matéria orgânica como fonte de energia e liberam dióxido de carbono como subproduto do metabolismo. Os Gráficos 7 e 8 demonstram a concentração de  $CO_2$  em função do regime de funcionamento da bomba.

Gráfico 7 - Quantidade de dióxido de carbono no monitoramento de necromassa com funcionamento da bomba com 60 segundos ligada e 600 segundos desligada.



Fonte: Autor.

Gráfico 8 - Quantidade de dióxido de carbono no monitoramento de necromassa sem funcionamento da bomba.



#### 4. CONCLUSÃO

Foi apresentada uma configuração versátil e economicamente acessível de câmara para a medição das concentrações de dióxido de carbono e oxigênio durante a respiração de grãos, e troncos de árvores em decomposição. A adaptabilidade dessa estrutura para diferentes aplicações, como medições de solo ou para respiração de mudas, é relativamente simples.

Durante este estudo, foi identificada a necessidade de correção no sensor COZIR-AH-1 para a obtenção de dados precisos de CO<sub>2</sub>, especialmente no monitoramento de grãos e troncos de árvores. Observou-se também que os sensores de temperatura SHT e LuminOX demonstraram respostas rápidas e precisas. Para redução dos custos de desenvolvimento, sugere-se a substituição do sensor SHT pelo LuminOX.

Para uma avaliação da eficiência do dispositivo de baixo custo para monitoramento de trocas gasosas desenvolvido é necessária a comparação com outros dispositivos disponíveis no mercado.

Por fim, a avaliação da necromassa florestal permitiu a identificação de variações e mudanças no processo de decomposição. Entretanto, para otimizar o desempenho da câmara no monitoramento da respiração de troncos vivos, são necessárias correções nos valores de oxigênio, os quais devem ser aplicados em equações para o cálculo dos fluxos de gases.

## REFERÊNCIAS

- CARBONE, M. S., SEYEDNASROLLAH, B., RADEMACHER, T. T., BASLER, D., LE MOINE, J. M., BEALS, S., RICHARDSON, A. D. Flux Puppy – An open-source software application and portable system design for low-cost manual measurements of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 274, p. 1-6, 2019. ISSN 0168-1923. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.04.012.
- FRÓES, C. Q., FERNANDES, S. S. L., JUNGLOS, M. S., COSTA, P. F. D. LINÊ, J. D. B., PEREIRA, Z. V. Decomposição foliar visando ao monitoramento de áreas em processo de restauração ecológica no Mato Grosso do Sul. **Ciência Florestal**, Florianópolis, v. 31, n. 3, p. 1323–1343, 2021. DOI: 10.5902/1980509839096.
- GAIKWAD, S. V., VIBHUTE, A. D., KALE, K. V. MEHROTRA, S. C. An innovative IoT based system for precision farming. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 187, p. 106291, 2021. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106291
- GARCIA-CELA, E., KIAITSI, E., SULYOK, M., KRŠKA, R., MEDINA, A., PETIT DAMICO, I., MAGAN, N. Influence of storage environment on maize grain: CO<sub>2</sub> production, dry matter losses and aflatoxins contamination. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v.36, n.1, p.175-185, 2019. DOI: 10.1080/19440049.2018.1556403
- HELM, J., SALOMÓN, R. L., HILMAN, B., MUHR, J., KNOHL, A., STEPPE, K., HARTMANN, H. Differences between tree stem CO<sub>2</sub> efflux and O<sub>2</sub> influx rates cannot be explained by internal CO<sub>2</sub> transport or storage in large beech trees. **Plant, Cell & Environment**, v. 46, p. 2680-2693, 2023. DOI: 10.1111/pce.14614.
- HELM, J., HARTMANN, H., GÖBEL, M., HILMAN, B., HERRERA RAMÍREZ, D., MURH, J. Low-cost chamber design for simultaneous CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> flux measurements between tree stems and the atmosphere. **Tree Physiology**, v. 41, n. 9, p. 1767-1780, 2021. DOI: 10.1093/treephys/tpab022
- JIAN, F., CHELLADURAI, V., JAYAS, D. S., DEMIANYK, C. J., WHITE, N. D. G. Interstitial concentrations of carbon dioxide and oxygen in stored canola, soybean, and wheat seeds under various conditions. **Journal of Stored Products Research**, v.57, p.63-72, 2014. DOI: 10.1016/j.jspr.2013.12.002
- JIAN, F., TANG, P., AL MANUM, M. A., JAYAS, D. S. Effect of field treatment on microflora respiration and storability of canola under different storage conditions. **American Journal of Plant Science**, v.10, n.11, p.1989, 2019. DOI: 10.4236/ajps.2019.1011139
- JUNIOR, A. A.; DA SILVA, T. J. A.; ANDRADE, S. P. Smart IoT lysimetry system by weighing with automatic cloud data storage. **Smart Agricultural Technology**, v. 4, p. 100177, 2023. DOI: 10.1016/j.atech.2023.100177
- LIMEIRA, M. M. C., BARBOSA, R. D. S., GANASSOLI, E., COELHO, M. C. B., VARAVALLO, M. A., BARILLI, J., ERPEN, M. L. Carbono, peso e volume de necromassa lenhosa em área de plano de manejo florestal. **Kurú, Cartago**, v. 17, n. 41, p. 58-67, 2020. DOI: 10.18845/rfmk.v17i41.5285.

NICOLAS, G., SILLANS, D. Immediate and latent effects of carbon dioxide on insects. **A Annual review of entomology**, Paio Alto, v. 34, p. 97-117, 1989.

PELLINI, E. L. **Introdução à automação de sistemas elétricos**. São Paulo: PEA, 2017. 62p.

RAUDIÈNE, E.; RUSINSKAS, D.; BALCIUNAS, G.; JUODEIKIENE, G.; GAILIUS, D. Carbon dioxide respiration rates in wheat at various temperatures and moisture contents. **Mapan**, v.32, n.1, p.51-58, 2017. DOI: 10.1007/s12647-016-0202-4

ROWLAND, L., da COSTA, A. C., OLIVEIRA, A. A., OLIVEIRA, R. S., BITTENCOURT, P. L., COSTA, P. B., MEIR, P.. Drought stress and tree size determine stem CO<sub>2</sub> efflux in a tropical forest. **New Phytologist**, v. 218, p. 1393-1405, 2018. DOI: 10.1111/nph.15024.

SULEIMAN, R.; BERN, C.J.; BRUMM, T.J.; ROSENTRATER, K.A. Impact of moisture content and maize weevils on maize quality during hermetic and non-hermetic storage. **Journal of Stored Products Research**, v.78, p.1-10, 2018. DOI: 10.1016/j.jspr.2018.05.007

ZEYMER, J. S. **Modelagem matemática dos fenômenos de higroscopia e respiração de grãos de soja em diferentes condições de armazenamento**. 2021. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.