



Monitoramento da produção de CO₂ intergranular e desempenho industrial no armazenamento de grãos de arroz

REICHOW, S.W.¹, SELL, R.S.¹, AREJANO, L.M.¹, RUTZ, T.¹, ARAÚJO, A.S.¹, POHNDORF, R.S.¹

¹Centro de Engenharias – Universidade Federal de Pelotas

Palavras-chave:

rendimento de grãos inteiros, defeitos, umidade, coloração

Resumo

Quando os grãos são armazenados com um maior teor de água ocorre um aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) intergranular e da temperatura da massa de grãos, promovendo perda da matéria seca e uma diminuição do tempo de armazenamento seguro. O objetivo neste estudo foi monitorar a produção de CO₂ intergranular, visando verificar a perda de qualidade de grãos de arroz em casca armazenados à 12, 14 e 16% de umidade. Observou-se que no início do armazenamento, até 60 dias, os grãos apresentaram uma elevada taxa de produção de CO₂, a qual diminuiu até 120 dias de armazenamento. As maiores taxas de produção de CO₂ foram observadas na umidade de 16%. Além disso, o armazenamento dos grãos por 120 dias na umidade de 16% causou uma drástica diminuição no rendimento de grãos inteiros.

Monitoring intergranular CO₂ production and industrial performance in grain storage rice

Keywords: Head rice yield, defects, moisture content, coloration

Abstract

When grains are stored with a higher moisture content, there is an increase in the intergranular carbon dioxide (CO₂) concentration and in the grain mass temperature, promoting loss of dry matter and a decrease in safe storage time. The objective of this study was to monitor the intergranular CO₂ production in order to verify the loss of quality of paddy rice grains stored at 12, 14 and 16% moisture content. It was observed that at the beginning of storage, up to 60 days, the grains presented a high rate of CO₂ production, which decreased up to 120 days of storage. The highest CO₂ production rates were observed at 16% moisture content. In addition, storage of grains for 120 days at 16% moisture content caused a drastic decrease in head rice yield.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza Sativa* L.) é pertencente à família da Poaceae, destaca-se como um dos grãos mais cultivados no mundo, em virtude de seu elevado potencial produtivo e valor nutritivo (WALTER et al., 2008; KUKUSAMUDE et al., 2021).

O armazenamento de grãos é realizado predominantemente a granel em silos metálicos devido à economia de espaço físico e melhor conservação dos grãos. É uma ótima opção principalmente quando se tem mão de obra reduzida e ausência de transporte no momento que o grão for colhido. A temperatura da massa de grãos é monitorada constantemente, pois qualquer variação anormal pode criar condições propícias à deterioração dos grãos (RAMACHANDRAN et al., 2022).

Os sistemas de monitoramento da massa de grãos, no entanto, se limitam a medição de temperatura e umidade (termometria), além da inspeção manual e visual. A termometria é disposta de forma equidistante, o que pode levar à detecção tardia da deterioração, muitas vezes já em estágio avançado. A inspeção manual e visual, por sua vez, tende a ser

lenta e sujeita a variações entre diferentes operadores (GONZALES et al., 2009; ZIEGLER et al., 2021).

Nesse contexto, o desenvolvimento e a integração de métodos tecnológicos de monitoramento, capazes de detectar os primeiros sinais de atividade biológica, seriam benéficos para aprimorar os protocolos de gerenciamento do armazenamento (TEODORO et al., 2021).

Segundo Souza et al. (2023) os grãos, sendo organismos vivos, realizam o processo respiratório, que pode ser intensificado por fatores bióticos e abióticos, resultando em um aumento de CO₂ e geração de calor. Nesse contexto, estão sendo desenvolvidos sensores e sistemas capazes de monitorar a concentração de CO₂ além de medir temperatura e umidade na massa de grãos.

Este trabalho tem o propósito de monitorar a concentração de CO₂ em ambientes de armazenamento de grãos de arroz com diferentes graus de umidade, com o objetivo de detectar precocemente a deterioração e avaliar a qualidade de grãos de arroz ao longo do armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia de Pós-colheita da Universidade Federal de Pelotas. Os grãos de arroz utilizados foram obtidos em unidades de beneficiamento da região, da classe longo fino, sendo colhidos mecanicamente com teor de água de colheita e secos em secador de amostras a baixa temperatura (35 °C), até os teores de água de 12, 14 e 16%.

Configuração experimental

Os grãos foram limpos e acondicionados em recipientes de Polietileno Tereftalato (PET), armazenadas em uma câmara com temperatura controlada de 25 °C. Cada tratamento foi realizado com três repetições para cada teor de água inicial dos grãos (12, 14 e 16%) e período do armazenamento de até 120 dias, uma vez que os grãos armazenados com umidade acima do recomendado apresentam uma deterioração acentuada.

As amostras de aproximadamente de 1000 g de arroz em casca foram acondicionadas em recipientes de 2 L e abertas mensalmente para uma renovação do ar

intergranular, simulando uma aeração por intrasilagem, como ocorre industrialmente.

Teor de água

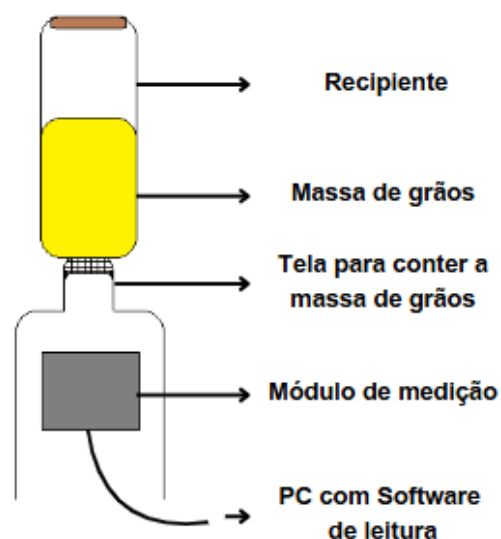
O teor de água das amostras de arroz com casca foi determinado utilizando uma estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas conforme o método oficial de análise de sementes estabelecido pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009).

Determinação de CO₂

Para a medição de dióxido de carbono (CO₂) foi utilizado o equipamento do modelo AZ 77596 (NDIR), com faixa de medição de 0 a 10.000 ppm e precisão de $\pm 3\%$ do valor lido. A leitura do CO₂ foi realizada por diferença de densidade. Para esta leitura, o recipiente contendo os grãos foi posicionado acima de um outro recipiente contendo o medidor de CO₂, conforme apresenta a Figura 1. Ambos os recipientes foram conectados e interligados por uma tela, que não permitia o deslocamento dos grãos, porém ocorria o escoamento do ar intergranular, uma vez que o CO₂ é mais denso que ar ambiente e apresenta a tendência de descer

com a gravidade. O recipiente inferior possui aberturas para a saída do CO₂ e posterior mistura com o ar ambiente.

Figura 1: Recipiente hermético com a amostra de grãos (superior) e módulo de medição de CO₂ (recipiente inferior).



Desempenho industrial

Para as avaliações de qualidade, foram analisadas a renda do beneficiamento e o rendimento de grãos inteiros de arroz. A renda é o percentual de arroz beneficiado ou beneficiado e polido, resultado do beneficiamento do arroz em casca. O rendimento corresponde ao percentual, em peso, de grãos inteiros resultantes do beneficiamento do arroz. Foi quantificado também os defeitos

encontrados no arroz (percentual de grãos mofados, ardidos, amarelos, rajados, picados ou manchados e gessados e verdes). Desta forma, é possível correlacionar o tempo de armazenamento com a qualidade após tempo de armazenamento com a qualidade final dos grãos.

Para a determinação da renda do beneficiamento e do rendimento de grãos inteiros, as amostras de arroz de 14 e 16% foram secas em um secador de amostras na temperatura de 35 °C até alcançarem um teor de água de 12%. Após um período de 24 h de temperagem, realizou-se o descascamento, o brunimento e a separação de grãos inteiros e quebrados em uma máquina de beneficiamento de arroz (marca Zaccaria, modelo DTAZ1, Brasil). Uma amostra de 100g de grãos foi descascada em rolos de borracha.

O brunimento do arroz descascado para remoção do farelo, foi realizado no brunidor, por 1 min e 30 s. A separação dos grãos quebrados foi realizada em um cilindro alveolado (trieur) por 60 segundos e considerando-se quebrado o grão com comprimento inferior à $\frac{3}{4}$ partes do comprimento da classe, conforme descrito na IN MAPA

06/2009 (BRASIL, 2009). As análises foram realizadas em três repetições e os resultados expressos em porcentagem (%), em relação ao arroz em casca.

Perfil colorimétrico

O perfil colorimétrico dos grãos foi medido utilizando um colorímetro (TEC 200, Tecnal, Brasil), com os parâmetros de cor CIELAB (valor L , a e b). Os valores de luminosidade L variam de preto ($L = 0$) a branco ($L = 100$), indicando que quanto mais próximo de 100, mais clara está a amostra. A coordenada cromática " a " caracteriza coloração na região do verde ao vermelho, variando de verde ($a = -60$) ao vermelho ($a = +60$), e a coordenada cromática " b " caracteriza a coloração na região do azul ao amarelo, variando de azul ($b = -60$) ao amarelo ($b = +60$).

Análise estatística

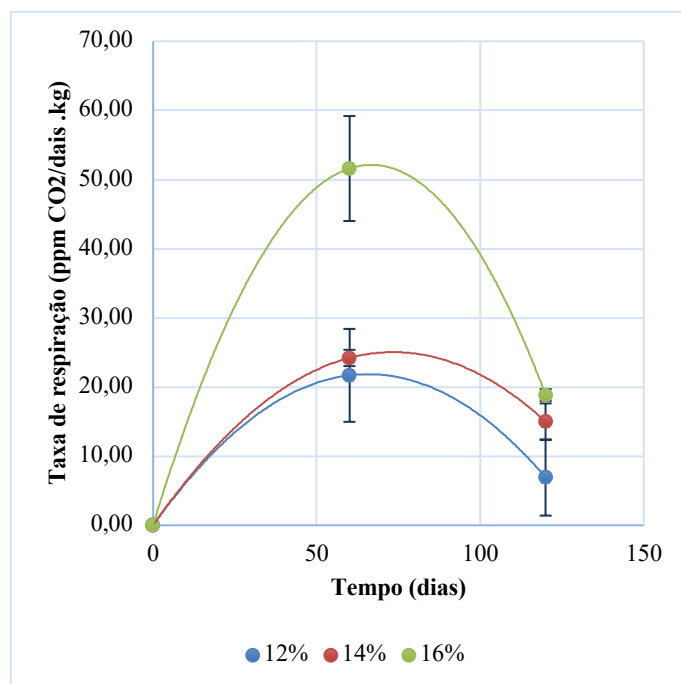
As curvas de produção de CO_2 e alterações nas condições psicrométricas do ar intergranular foram construídas utilizando os valores médios de umidade \pm o desvio padrão amostral, em função do tempo. Os resultados de desempenho industrial,

quantificação de defeitos e cor foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra a taxa de respiração, expressa em ppm de CO_2 ao longo do período de armazenamento.

Figura 2: Taxa de respiração expresso em ppm $\text{CO}_2/\text{dia.kg}$ arroz, armazenados em teores de água de 12, 14 e 16% ao longo de 120 dias.

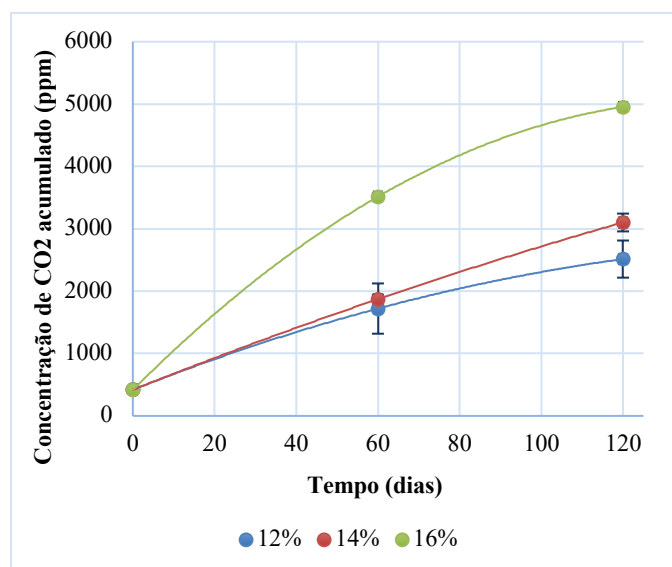


No sistema semi-hermético, com aeração da massa de grãos, foi possível notar a tendência de uma maior respiração dos grãos

com um maior teor de água, onde nos teores de água de 12 e 14% houve pouca diferença na produção de dióxido de carbono, mas que com 16% de teor de água, a taxa de produção foi intensificada, sendo encontrado um pico de produção e após ocorreu uma estabilização de CO₂ intergranular.

Como nesse sistema há a renovação do ar intragranular, as taxas de respiração são alteradas por essa mudança, assim ao longo do tempo calculando as taxas de produção de CO₂, foi possível notar que o acumulado das taxas respiratórias demonstrou uma maior atividade de respiração em grãos com maior teor de água (Figura 2).

Figura 3: Concentração de CO₂ acumulado por 120 dias no armazenamento de grãos de arroz.



De acordo com Leal et al. (2023), a respiração dos grãos se torna mais intensa com o maior teor de água, embora outros fatores como a temperatura, umidade relativa e o estado de conservação também influenciam nas reações metabólicas dos grãos.

Na Tabela 1, é possível observar os percentuais de grãos esbramados, após a remoção da casca, dos grãos após o brunimento, contendo grãos inteiros e quebrados, também chamada de renda do benefício e dos subprodutos farelo e casca de arroz. Dessa forma, pode-se correlacionar o tempo de armazenamento com a qualidade dos grãos. Considerando que o arroz é um produto alimentício de enorme importância, o mesmo possui um alto padrão de qualidade, sendo os valores obtidos no desempenho industrial importantes para a tipificação e qualidade do arroz.

Foi observado da Tabela 1 que os valores de desvio padrão demonstraram-se relativamente baixos para a maioria das variáveis analisadas, o que indica uma boa homogeneidade das condições experimentais. Poucas variações significativas foram

observadas em função as condições de armazenamento, porém notou-se que os maiores percentuais de farelo foram encontrados nos graus de umidade de 24 e 16%, à 120 dias

de armazenamento. Como estes grãos permaneceram com maior umidade por mais tempo, ocorreu uma diminuição da dureza, o que facilitou a remoção do farelo na etapa de brunimento.

Tabela 1: Percentual de grãos de arroz e subprodutos durante o beneficiamento, em função do tempo de armazenamento e diferentes teores de água.

Grau de umidade (%)	12	14	16	12	14	16
Tempo (dias)	0	0	0	120	120	120
Grãos esbramados (%)	76,93±0,01 ^a	76,98±0,04 ^a	76,93±0,01 ^a	76,61± 0,16 ^{ab}	76,23± 0,04 ^b	77,12± 0,10 ^a
Casca (%)	23,05±0,01 ^a	23,12±0,21 ^a	23,05±0,01 ^a	24,29± 0,07 ^b	24,70± 0,05 ^b	22,86± 0,05 ^a
Grãos brunidos (%)	71,21±0,01 ^a	70,83±0,23 ^a	71,21±0,01 ^a	71,12±0,46 ^a	69,48±1,20 ^a	70,67±0,31 ^a
Farelo (%)	5,72±0,1 ^a	6,15±0,25 ^{ab}	5,72±0,10 ^a	5,49±0,49 ^a	6,75±0,03 ^b	6,45±0,36 ^{ab}

*Valores médios ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes na mesma linha indicam valores estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na Tabela 2 são demonstrados os defeitos e o rendimento de grãos inteiros, encontrado após a sua classificação. Observou-se que, para alguns defeitos não foram encontradas diferenças significativas como no percentual de quirera, mofados e ardidos, amarelos e picados e manchados. Quirera é o fragmento de arroz que vaza na peneira de furos circulares de 1,60 mm, de acordo com IN 06/2009 do MAPA. Foi perceptível a diminuição do rendimento de grãos inteiros ao longo do armazenamento, onde os grãos que foram armazenados com 16% de teor de água apresentaram uma queda drástica

no rendimento, atingindo 51,65% de grãos inteiros, o que correlaciona com o aumento da quantidade de grãos quebrados, que nesta mesma condição de armazenamento chegou a 11,05%.

Uma tendência semelhante de diminuição do rendimento foi observada nos grãos armazenados com 14% de umidade; entretanto, no caso dos grãos com 12% de teor de água, a redução no rendimento foi menos expressiva em comparação com os demais. Esta diminuição no percentual de grãos inteiros evidencia a complexidade de armazenar grãos com grau de umidade acima de 12-13%, pois

ao longo do armazenamento ocorre uma acomodação das moléculas dos grãos e a umidade elevada pode dificultar esse rearranjo interno e provocar fissuras.

Outro fator que pode ser relacionado é o tempo de temperagem após a secagem. Durante a secagem forma-se um gradiente de tensão nos grãos e este período de descanso dos grãos após a secagem é crucial para a manutenção dos grãos

inteiros.

De acordo com Tong et al. (2019), a secagem do arroz interfere nas propriedades físicas e composição físico-química, por meio de processos de estresse abióticos o grão acaba resultando em fissuras levando a redução do rendimento de grãos inteiros, em operações de secagem o grão fica mais suscetível a quebra por uma combinação de absorção de umidade, estresse térmico e mecânico (Sater et al., 2017).

Tabela 2: Defeitos e rendimento de grãos de arroz em função do tempo de armazenamento e diferentes teores de água.

Grau de umidade (%)	12	14	16	12	14	16
Tempo (dias)	0	0	0	120	120	120
Grãos quebrados (%)	8,16±0,05 ^a	8,86±0,11 ^a	8,16±0,05 ^a	8,16±0,05 ^a	6,84±0,37 ^b	11,05±0,05 ^c
Quirera (%)	0,64±0,17 ^a	0,53±0,06 ^a	0,64±0,17 ^a	0,36±0,002 ^a	0,36±0,04 ^a	0,30±0,06 ^a
Mofados ou Ardidos (%)	0,30±0,06 ^a	0,30±0,01 ^a	0,30±0,06 ^a	0,37±0,01 ^a	0,34±0,15 ^a	0,30±0,03 ^a
Amarelo (%)	0,72±0,87 ^a	0,52±0,1 ^a	0,72±0,87 ^a	0,21±0,01 ^a	0,25±0,08 ^a	0,16±0,30 ^a
Rajado (%)	0,23±0,02 ^a	0,19±0,02 ^{ab}	0,23±0,02 ^a	0,13±0,04 ^{ab}	0,21±0,02 ^{ab}	0,13±0,03 ^b
Picado e Manchado (%)	0,43±0,18 ^a	0,36±0,04 ^a	0,43±0,18 ^a	0,25±0,11 ^a	0,27±0,05 ^a	0,25±0,13 ^a
Gessado (%)	1,16±0,23 ^a	2,73±0,92 ^a	1,16±0,23 ^a	5,43±0,65 ^b	8,32±0,89 ^c	5,33±0,51 ^b
Verde (%)	0,23±0,004 ^b	0,18±0,03 ^b	0,23±0,04 ^b	0,11±0,02 ^a	0,09±0,01 ^a	0,06±0,02 ^a
Rendimento (%)	59,40±0,14 ^a	58,49±0,21 ^a	59,40±0,24 ^a	55,21±0,39 ^b	53,42±0,44 ^{bc}	51,65±0,27 ^c

*Valores médios ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes na mesma coluna indicam valores estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na Tabela 3, podemos analisar a mudança dos parâmetros de cor (*L*, *a* e *b*).

Não foi observado um escurecimento ou amarelamento nas amostras de arroz em decorrência do armazenamento.

As alterações na cor estão relacionadas com atividades metabólicas, e devido o período armazenamento não ter sido prolongado, esta alteração negativa na cor não foi acentuada.

Tabela 3: Parâmetros de cor de grãos de arroz armazenados com diferentes graus de umidade.

Grau de umidade (%)	Tempo (dias)	L^*	a^*	b^*
12	0	60,57± 0,73 ^b	2,26±0,4 ^c	11,29±0,49 ^b
14	0	61,26±0,59 ^{ab}	1,71±0,25 ^a	10,32±0,86 ^{ab}
16	0	63,44±0,87 ^{ac}	1,75±0,18 ^a	10,66±0,67 ^{ab}
12	60	61,88±1,32 ^{ab}	1,66± 0,16 ^{ab}	10,13± 0,47 ^a
14	60	61,66±1,19 ^{abc}	1,70±0,10 ^{ab}	10,21±0,45 ^{ab}
16	60	62,01±0,92 ^{abc}	1,84±0,13 ^a	10,91±0,50 ^{ab}
12	120	59,31± 2,24 ^{ab}	1,52±0,16 ^{ab}	10,07±0,43 ^a
14	120	62,82±1,26 ^{ac}	1,61±0,20 ^{ab}	10,84±0,77 ^{ab}
16	120	63,36±0,85 ^c	1,38±0,13 ^b	10,03±0,65 ^a

*Valores médios ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes na mesma coluna indicam valores estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey (p<0,05).

Além disso, foi observado que percentual de remoção do farelo foi baixo, o que pode ter influenciado nos resultados. O aumento na luminosidade L e na cromaticidade b com o tempo, que indicam um arroz mais claro e menos amarelado ao final do armazenamento, pode ser explicado pelo maior percentual de remoção do farelo removido.

Durante a industrialização dos grãos, as operações de seleção separam os grãos que são considerados como defeitos, sendo que muitos destes defeitos alteram a cor dos grãos, por isso a cor está ligada diretamente com a qualidade (SAATH et al., 2017). Sendo assim, a alteração na cor dos grãos de arroz pela decorrência em diferentes ambientes de armazenamento pode acarretar uma não aceitação

do produto pelas indústrias de beneficiamento e processamento. Assim, mesmo que imperceptível, a diferença apontada pelos testes de cores, não se tem uma diferença visível.

CONCLUSÕES

Neste estudo foi observada uma redução da qualidade física dos grãos ao longo do período de armazenamento, com ênfase nos grãos que apresentaram maior teor de água. Este fator foi identificado como o principal influenciador na qualidade dos grãos de arroz, uma vez que aqueles armazenados com teor de água superior a 14% apresentaram atividades metabólicas aceleradas.

O uso de sensores de CO₂ para o monitoramento demonstrou ser eficaz no controle da qualidade dos grãos de arroz

durante o armazenamento, esses sensores podem otimizar a detecção da deterioração possibilitando uma resposta mais ágil na tomada de decisão e contribuir para a redução das perdas quantitativas e qualitativas dos grãos.

Monitorar a emissão de CO₂ no ambiente de armazenamento de grãos de arroz se mostrou eficiente, e comparando com os diferentes graus de umidade da massa de grãos, houve um aumento significativo na sua produção em grãos com maior teor de água, impactando diretamente na qualidade dos grãos após o tempo de armazenamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e ao Centro de Engenharias (Ceng) da UFPel.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Regras para análise de sementes. 1. ed. Brasília, 399p., 2009.

GONZALES, H.B; ARMSTRONG P.R.; MAGHIRANG, R.G.

Simultaneous monitoring of stored grain with relative humidity, temperature, and carbon dioxide sensors. *Applied Engineering in Agriculture*, Ames/Iowa, v.25, n.4, p. 595-604, 2009. DOI: 10.13031/2013.27466.

KUKUSAMUDE, Chunyapuk et al. Heavy metals and probabilistic risk assessment via rice consumption in Thailand. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 334, p. 127402, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127402>.

LEAL, Marisa Menezes et al. Monitoring of intergranular variables for predicting technical breakage of wheat grains stored in vertical silos. *Journal Of Stored Products Research*, [S.L.], v. 102, p. 102115, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102115>

RAMACHANDRAN, Rani Puthukulangara et al. Integrated approach on stored grain quality management with CO₂ monitoring-A review. *Journal Of Stored Products Research*, [S.L.], v. 96, p. 101950, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101950>.

SAATH, Reni et al. DESEMPENHO FISIOLÓGICO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE GRÃOS DE SOJA SECADOS SOB DIFERENTES TEMPERATURAS. *Colloquium Agrariae*, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 19-33, 23 ago. 2017. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC).

<http://dx.doi.org/10.5747/ca.2017.v13.n2.a157>.

Sater, H.M., Pinson, S.R., Moldenhauer, K.A., Siebenmorgen, T.J., Mason, R.E., Boyett, V.A., Edwards, J.D. (2017). Fine mapping of qFIS1-2, a major QTL for kernel fissure resistance in rice. *Crop Science*, 57(3), 1511-1521. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0821>

SOUZA, D. G.; RESENDE, O.; ZUCHI, J.; FERREIRA, P. V. A.; MABASSO, G. A. CO₂ monitoring associated with the quality of soybean grains stored in different moisture contents. *Food Science and Technology*, Campinas, Brasil, v. 43, 2023. DOI: 10.5327/fst.29023.

TEODORO, Paulo Eduardo et al. Predicting Days to Maturity, Plant

Height, and Grain Yield in Soybean: a machine and deep learning approach using multispectral data. *Remote Sensing*, [S.L.], v. 13, n. 22, p. 4632, 17 nov. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13224632>.

TONG, Chuan et al. Impact of Postharvest Operations on Rice Grain Quality: a review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 626-640, 18 mar. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12439>.

WALTER, Melissa et al. Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 1184-1192, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782008000400049>.

ZIEGLER, V.; PARAGINKI, R. T.; FERREIRA, C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - A review. *Journal of Stored Products Research*, v.91 p. 101-110, 2021.