

POTENCIAL HIGROSCÓPICO COMO ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE GRÃOS E CEREAIS DESIDRATADOS¹

JOSÉ CAL-VIDAL²

RESUMO - Com base em dados publicados na literatura relativa ao conteúdo de umidade de equilíbrio de grãos e cereais, foram construídas curvas isotérmicas com vistas a estabelecer o potencial de absorção de água de tais produtos, em condições diversas de temperatura e umidade relativa. Em certos casos, foi possível estimar o calor latente de adsorção de água a partir de isosteres construídas com os dados disponíveis, e o tempo confiável de armazenamento em função do teor de umidade a diversas temperaturas. Os resultados permitem avaliar o potencial de estabilidade de grãos e cereais armazenados no Brasil sob as mais diversas formas e condições.

Termos para indexação: higroscopicidade de grãos, potencial de armazenamento, isoterms de absorção de grãos e cereais.

HYGROSCOPIC POTENTIAL AS A STABILITY INDEX FOR DRIED CEREAL GRAINS

ABSTRACT - From data published in the literature relating the equilibrium moisture content of cereal grains, their isotherms were plotted in order to establish the sorption and desorption potential of such products, on different temperature and relative humidity storage conditions. In some cases it was possible to estimate the latent heat of adsorption for water on several grains, taking the available data from the isosteres also established. In addition, relations between the safe storage time and the moisture content of cereal grains at different temperature levels were found. These results are of interest to evaluate the actual storage conditions of Brazilian grains.

Index terms: grain hygroscopicity, storage potential, sorption isotherms for cereal grains.

INTRODUÇÃO

O fenômeno de absorção de água em grãos e cereais vem sendo observado desde há muito tempo. Pouco esforço, contudo, tem sido feito no sentido de integrar a informação existente visando sua aplicação nos diversos métodos e práticas de colheita, armazenamento e processamento de tais produtos.

Um grão ou cereal tem natureza higroscópica e, dependendo da pressão de vapor gerada pelo próprio conteúdo de água e a existente no espaço onde se encontra, o mesmo pode ganhar ou perder umidade. As conseqüências de tal realidade têm motivado estudos diversos em todo o mundo. Kunze (1977) reporta estudos feitos com arroz e discute as conseqüências da rápida absorção de água por este grão, dando ênfase ao problema de surgimento de rachaduras no mesmo, resultado

da formação de tensões internas. Swanson (1943) observou que a absorção de água por grãos de trigo provocava um aumento de seu volume, alterando o seu peso específico após nova desidratação. Tal observação foi comprovada por Milner & Shellenberger (1953), que, servindo-se de uma técnica de raios X, apresentaram conclusões resultantes de verificações visuais pioneiras. Tais estudos foram ampliados alguns anos depois (Grosh & Milner 1959), para constatar a existência de rachaduras em grãos de trigo umedecidos. O fenômeno de formação de fendas em grãos por causa da absorção de água foi ainda estudado por pesquisadores russos (Burmistrova 1956), hindus (Desikachar & Subrahmanyam 1961) e japoneses (Nagato et al. 1964), entre outros.

A absorção de água por grãos e cereais compromete seriamente o seu potencial de armazenamento, não só quanto à propriedade e modificações físicas do tipo discutido acima, mas sobretudo em face da possibilidade de ativação biológica, proliferação microorgânica - notadamente, de fungos - mudanças na estabilidade bioquímica, e alterações no potencial germinativo das sementes.

Neste trabalho é feita uma análise e interpreta-

¹ Aceito para publicação em 24 de setembro de 1981. Parte de trabalho apresentado no IV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Rio de Janeiro, RJ. 1980.

² Eng.º Químico, M.Sc., Ph.D., Departamento de Ciência dos Alimentos (ESAL), CEP 37200 - Lavras, MG.

ção de resultados apresentados na literatura a respeito, além de uma discussão da fundamentação teórica e a integração de aspectos práticos envolvidos visando sua aplicabilidade na seleção e estabelecimento de métodos de colheita, secagem e armazenamento de grãos e cereais.

A ABSORÇÃO DE ÁGUA POR GRÃOS E CEREAIS

Grãos e cereais têm uma natureza coloidal que lhes confere propriedades higroscópicas. Tais sistemas biocoloidais têm uma alta capacidade de retenção de água, principalmente graças à existência de forças de natureza química e física decorrentes de sua estrutura química. Uma análise mais detida de suas isotermas de absorção de água permite obter conclusões a respeito do próprio potencial de estabilidade destes produtos, partindo das condições ambientais de armazenamento.

O fenômeno de absorção de água tem natureza diversa. Diferentes porções de água podem ser mantidas nos espaços intergranulares e no interior da massa porosa do material. O grau de associação das moléculas de água com a substância absorvente irá depender da própria natureza química dos diversos componentes orgânicos do grão e da existência de forças intermoleculares do tipo de van der Waals (responsáveis pela adsorção física), das ligações quimicamente possíveis e das ligações devidas a efeitos indutivos decorrentes da mobilidade de nuvens eletrônicas capazes de atrair íons ou dipolos do tipo presente na água. Há, ainda, a possibilidade de existirem interações dispersivas entre moléculas, decorrentes do efeito London, com natureza atrativa. Normalmente, a atração entre moléculas de água e grupamentos electro-negativos é possível graças à formação de pontes de hidrogênio, de especial importância na presente análise.

A molécula da água tem natureza muito especial. Ela possui um dipolo permanente, tem pequenas dimensões, e, como consequência, um grande momento dipolar por unidade de superfície. Por tais razões, ela tende a aderir fortemente a substâncias polares e particularmente àquelas que contêm íons.

Conforme vemos pela Tabela 1, amido e proteína são os constituintes principais na maioria dos grãos e cereais. É importante, então, analisar detidamente a significação das características estrutu-

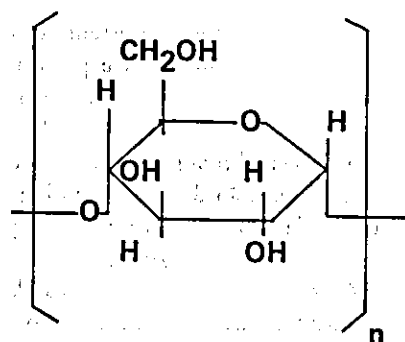
TABELA 1. Grupamentos polares iônicos mais comumente encontrados em aminoácidos e terminais protéicos.

Grupamento	Aminoácido ou Terminal
-OH	Serina, Treonina, Hidroxil Prolina
-NH	Tritofano, Histidina e Prolina
-NH ₂	Lisina e Terminal da Cadeia Polipeptídica
-NH ₂ C - NH - NH	Arginina
-COOH	Ácido Aspártico e Ácido Glutâmico, Terminal da Cadeia Polipeptídica
-CONH ₂	Glutamina e Asparagina

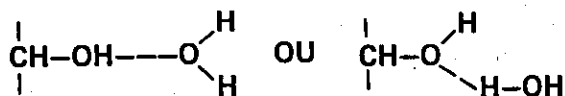
LEHNINGER (1975)

rais de tais componentes e tratar de identificar os grupamentos polares e funcionais que podem ser responsáveis pela absorção de água.

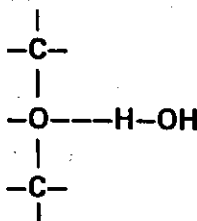
Amido é um polímero natural, formado a partir de unidades de glicose que se repetem em longas cadeias, podendo ser representado pela seguinte fórmula:



É caracterizado pela existência de grupamentos hidroxilas no anel, e de oxigênio neste é na ponte polimérica. Tais grupamentos constituem pontos de polaridade na molécula apropriados à interação com moléculas de água por meio de pontes de hidrogênio. Várias formas de ligação foram sugeridas por Hunter (1950) para os grupamentos hidroxilas do polissacarídeo:

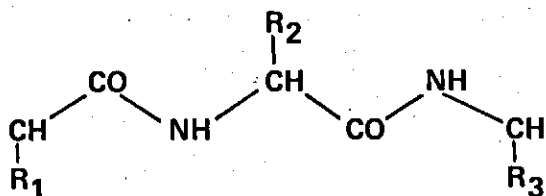


e para o oxigênio:



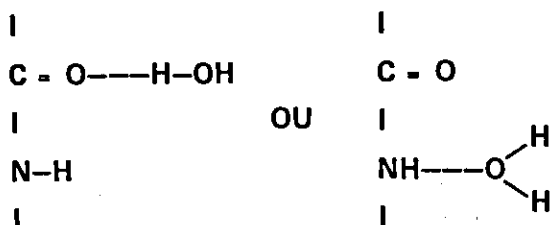
Glasstone (1960) apresenta em detalhe ampla discussão a respeito da possível natureza e alcance das ligações de hidrogênio.

A estrutura protéica tem também natureza polimérica com a unidade que se repete dependente do próprio aminoácido que a constitui. As suas principais características são dadas pela estrutura peptídica:



tendo R₁, R₂, R₃ etc. como aminoácidos que contêm uma variedade de grupamentos polares e iônicos do tipo indicado na Tabela 1.

Deste modo, há uma série de possibilidades de interação da água com grupamentos polares. Diversos pesquisadores abordaram este aspecto de absorção de água por proteínas com caráter multipolar (Lloyd 1938, Pauling 1945 e Hunter 1950). Este último sugeriu ainda a possibilidade da água ter interações com a própria ligação peptídica:



Outros autores tentaram estimativas da quantidade de água possível de ser retida por grupamentos ou terminais protéicos. Sponsler et al. (1940) determinaram que um grupamento carboxílico pode coordenar até cinco moléculas de água; o amínico e hidroxílico, três moléculas cada; e o carbonílico, duas moléculas de água. Trabalhando com caseína e zeína, Mellon et al. (1947 e 1948) tentaram estabelecer a participação dos grupos amínicos e peptídicos na absorção de água. Eles chegaram à conclusão de que, para a caseína, 24 a 33% do total da água absorvida era mantida pelos grupos amínicos, e aproximadamente 45% pela ligação peptídica. Na zeína, a ligação peptídica parece ter absorvido 70% do total de água retida num ambiente com um potencial de umidade relativa de 80%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ISOTERMAS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O potencial de absorção de água de substâncias do tipo que constituem os grãos e cereais pode ser melhor estudado fazendo-se uso de curvas isotérmicas. Uma isoterma descreve a quantidade de água absorvida por uma substância, a uma dada temperatura mantida constante, em função da pressão de vapor de equilíbrio, atividade de água ou umidade relativa. A atividade da água, ou umidade relativa de equilíbrio é definida como:

$$\text{Atividade de água} = A_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\% \text{ Umidade Relativa}}{100}$$

sendo P = pressão de vapor exercida pela água contida no alimento, numa dada temperatura, e P₀ = pressão de vapor de saturação da água pura à mesma temperatura.

Normalmente, uma isoterma apresenta um formato sigmoideal caracterizado por três regiões bem definidas. Na primeira, própria da faixa de baixos teores de umidade, a curva apresenta uma concavidade voltada para o eixo da abscissa; na intermediária, temos uma região de inflexão com uma boa porção linear; e na faixa de altas umidades, surge nova concavidade voltada para o eixo da ordenada. Diversos autores têm discutido em detalhe a importância e significação das isotermas (Labuza 1968, Brunauer et al. 1938, Pixton & Warburton 1971).

As Fig. 1, 2, 3 e 4 mostram isotermas típicas de grãos e cereais construídas a partir de dados da literatura (Coleman & Fellows 1955, Thompson & Shedd 1954, Becker & Sallans 1956, Karon 1947, Ramstad & Gueddes 1942, Christensen & Kaufmann 1969). A composição química destes materiais (Tabela 2) pode ser o principal responsável pelas diferenças que se apresentam nas isotermas. O fato mais notório, contudo, está na menor capacidade de absorção de água dos grãos oleaginosos. A implicação prática disto está na necessidade de armazenar os grãos de oleaginosas com um mais baixo teor de umidade do que o correspondente ao trigo, por exemplo, cujo conteúdo de amido apresenta um potencial higroscópico bem mais alto. A título de exemplo, observemos que, num ambiente a 25°C onde a umidade relativa corresponda a 70%, a soja poderá conter até um máximo de 11,5% de umidade, enquanto, nas mesmas condições, o trigo poderá atingir 15% de teor de umidade. Na realidade, tais limites não são recomendados em situações de máxima estabilidade, conforme veremos mais adiante.

O efeito da variedade em grãos é mostrado nas Fig. 5, 6, 7 e 8. As diferenças que se apresentam para o arroz são devidas principalmente a modificações provocadas no material que o reveste exter-

namente, nos tratamentos de refinação (Breese 1955). No caso do feijão, os dados de Weston & Morris (1954) permitem a construção de uma isoterma única para as diversas variedades. Tal acontece para o trigo e milho, utilizando-se dados de Coleman & Fellows (1955) e de Thompson & Shedd (1954), respectivamente. Esta realidade permite-nos fazer uso da informação existente sobre a capacidade de absorção de água de grãos de variedades diversas das existentes entre nós, e cujas isotermas não são assim tão díspares.

A Fig. 9 apresenta o fenômeno de histerese exemplificada com isotermas de absorção e desorção para o milho, a partir de dados experimentais de Chung & Pfof (1967). Fatores de natureza física e química parecem provocar o fenômeno, que tem sua explicação básica no efeito de condensação de água na estrutura capilar do material. Diversos autores têm estudado a histerese de grãos e cereais. Babbitt (1949) a estudou em grãos e em farinha de trigo, notando que esse fenômeno é bem menos acentuado nesta última, sugerindo um efeito evidente da estrutura do material. Ayerst (1965), Pixton & Warburton (1971) e Becker & Sallans (1956) encontraram diferenças devidas ao próprio método de preparação das amostras ou de secagem, que exercem efeitos significativos na ci-

TABELA 2. Composição média de grãos e cereais (%).

Grão/Cereal	Água	Proteína	Gordura	Ext. Livre de N ₂	Fibra	Cinzas
Cevada ^a	10,6	13,0	2,1	78,0	5,6	2,7
Aveia ^a	9,8	12,0	5,1	58,3	12,4	3,6
Centeio ^a	10,5	13,4	1,8	72,0	2,2	1,9
Trigo ^a	10,0	14,3	1,9	71,2	3,4	1,8
Sorgo ^a	10,6	12,5	3,4	.	2,2	2,0
Milho ^a	15,0	10,2	4,3	70,0	2,3	1,2
Arroz ^a	11,4	9,2	1,3	75,0	2,2	1,6
Feijão ^b	10,4	18,1	1,5	65,9*	←	4,1
Soja ^b	10,8	33,9	16,8	28,9	4,8	4,7
Linhaça ^b	8,2	23,5	36,0	28,2*	←	3,8
Girassol (Sem.) ^b	6,9	15,2	28,3	17,4	28,5	3,2
Algodão (Sem.) ^{**b}	.	30,9	25,7	36,3	14,4	3,2

^a NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES & NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1964)

^b WINTON & WINTON (1932)

* Inclue Fibra

** Base de matéria seca

nética de difusão da água através das diversas camadas do material.

O EFEITO DA TEMPERATURA NO POTENCIAL HIGROSCÓPICO

Mudanças de temperatura em produtos desidratados provocam alterações na pressão do vapor resultante do teor de umidade no material. Diversos estudos têm comprovado tal realidade. Morey et al. (1947), trabalhando com farinha de cereais, encontraram relações matemáticas lineares do tipo $t = a \log p + b$, onde t é a temperatura em °C; p , a pressão de vapor; e a e b são constantes. Pixton & Warburton (1971) estudaram o efeito da temperatura na umidade relativa de equilíbrio de diversos grãos, tendo obtido relações também lineares do tipo $\frac{1}{T} = b \log UR + K$, onde T é a temperatura absoluta; b e k constante; e UR , a umidade relativa.

As Fig. 10, 11, 12 e 13 apresentam isotermas de absorção de grãos e cereais a várias temperaturas. A partir destas curvas, foram estabelecidos os gráficos de Arrhenius ou isosteres das Fig. 14, 15, 16 e 17, as quais permitem o cálculo dos calores de adsorção para os grãos em questão. O valor do calor de adsorção dá uma boa idéia da intensidade de interação entre as moléculas da água e a superfície absorvente; ele é uma medida da energia desta ligação intermolecular, e pode ser obtido determinando-se a tangente das isosteres, as quais podem ser representadas pela equação $\log A_w = \frac{H_a}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$,

onde A_w = atividade da água ($= \frac{U.R.}{100}$); H_a = calor de adsorção; R = constante; e T = temperatura absoluta, °K. Na Tabela 3 são apresentados os calores de adsorção calculados a partir dessas curvas. Verifica-se que, para baixos teores de umidade, o trigo e o milho são bem mais higroscópicos do que o sorgo e o arroz. Para teores de umidade mais elevados (15%), tal diferença não é tão significativa.

TEMPO CONFIÁVEL DE ARMAZENAMENTO

Uma ótima condição de armazenamento pressupõe a manutenção das características que um dado grão ou cereal possui no momento da colheita e imediatamente após a secagem. A Tabela 4 sintetiza algumas dessas características, as quais tomam uma maior ou menor relevância conforme o próprio destino do grão ou suas possíveis aplica-

ções. Brooker et al. (1974) apresentam ampla discussão sobre tais aspectos, dando ênfase aos principais agentes responsáveis pela perda de qualidade de grãos armazenados, notadamente fungos, insetos, roedores e ácaros.

TABELA 3. Calor de adsorção de alguns grãos (Cal./g.mol).

Grão	Teor de umidade (%)		
	5	10	15
Trigo	2.280	860	200
Milho	1.330	840	450
Sorgo	890	590	230
Arroz	510	590	280

TABELA 4. Características de grãos de alta qualidade.

1.	Ótimo teor de umidade
2.	Poucos defeitos físicos
3.	Baixa suscetibilidade à quebra
4.	Alta gravidade específica (M/V)
5.	Alto rendimento de amido
6.	Grau de recuperação do óleo contido
7.	Alta qualidade protéica
8.	Alta capacidade germinativa
9.	Baixa contagem de fungos
10.	Alto valor nutricional

BROOKER et al. (1974).

No estabelecimento do tempo confiável de armazenamento há vários critérios que podem ser considerados. Na prática, dá-se preferência ao potencial de germinação, de crescimento de fungos e à produção de CO₂.

Utilizando resultados experimentais de Kreyger (1972), os autores obtiveram os gráficos das Fig. 18 a 21. Utilizando como critério o potencial de germinação, vê-se que o teor de umidade é fator crítico no tempo confiável de armazenamento, aumentando com a redução da temperatura. Note-se que, para cada temperatura de armazenamento, há uma relação logarítmica linear do tipo $\log TCA = K_G \cdot TA + C$, onde TCA = tempo confiável de armazenamento; K_G corresponde a um coeficiente ou potencial energético de germinação, que depende

de fatores intrínsecos ao próprio grão; TA = teor de água, e C, constante. Pelo valor do coeficiente ou potencial de germinação pode-se estimar a maior ou menor susceptibilidade de um grão a desencadear os mecanismos de germinação ante uma possível mudança no seu teor de umidade. Assim, a cevada e o trigo apresentam um grau mais alto de resposta ante uma possível alteração de seu teor de umidade do que o centeio ou aveia, que apresentam um comportamento praticamente idêntico.

Nas Fig. 22, 23, 24 e 25, a partir de dados experimentais do mesmo Kreyger (1972), é apresentado o potencial de tempo de armazenamento de trigo, cevada, aveia e centeio, tendo como critério o desenvolvimento visível de fungos em tais produtos.

De acordo com a literatura (Christensen & Kaufmann 1969), os principais fatores que afetam o crescimento de fungos são:

1. O teor de umidade no grão; 2. Sua temperatura; 3. Condição geral; 4. Presença de materiais estranhos, e 5. Grau de contaminação com microorganismos. É por demais conhecido o fato de que, em níveis de umidade relativa abaixo de 60%, não existe espécie de fungo capaz de proliferar. Existem algumas espécies de *Aspergillus* capazes de

resistir e crescer em ambientes com 65% U.R. A partir destes limites, é possível estabelecer os valores higroscópicos críticos lançando mão das isothermas de absorção dos diversos grãos e cereais. A Tabela 5 mostra tais valores a 25°C.

Nas curvas, vemos o efeito do teor de umidade no potencial de estabilidade, ou tempo confiável de armazenamento. Note-se que há teores críticos a partir dos quais a redução ou aumento do tempo confiável apresentam mudanças de proporcionalidade. O mesmo ocorre quando graficamos o tempo confiável de armazenamento do milho, tendo como critério a produção de CO₂ (Fig. 26). Tal fenômeno se repete em outros estudos de estabilidade de alimentos (Rockland & Nishi 1980), quando a energia livre de interação de água com solutos é graficada contra o conteúdo de água do alimento.

TABELA 5. Valores higroscópicos críticos de alguns grãos e cereais (25°C).

Grão	Umidades relativas (%)			
	60	65	70	75
Arroz	13,2	13,8	14,2	15,0
Aveia	11,2	12,2	13,0	14,0
Centeio	12,2	12,8	13,6	14,6
Cevada	12,2	13,0	14,0	15,0
Feijão	12,6	13,8	15,0	16,4
Milho	12,8	13,4	14,2	15,2
Sorgo	12,0	13,0	13,8	14,8
Trigo	13,0	13,6	14,6	15,8
Algodão	9,0	9,6	10,0	11,2
Girassol	7,0	8,0	9,0	10,0
Linhaça	8,0	8,6	9,2	10,4
Soja	9,4	10,4	11,6	12,8

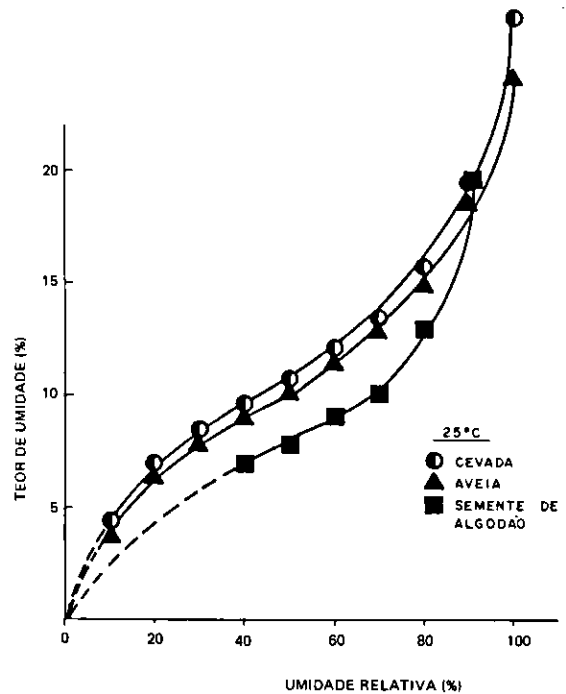


FIG. 1. Isothermas de absorção para cevada, aveia e semente de algodão, a 25°C. (Construídas a partir de dados experimentais de Coleman & Fellows 1955 e Karon 1947).

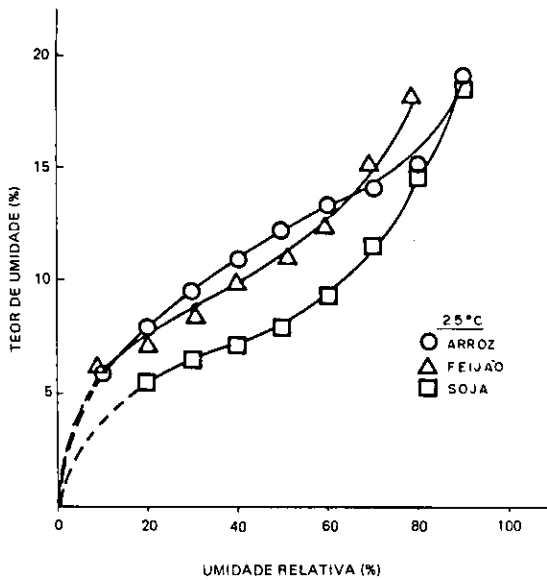


FIG. 2. Isothermas de absorção para arroz, feijão e soja, a 25°C. (Construídas a partir de dados experimentais de Houston & Kester 1954, Weston & Morris 1954 e Ramstad & Gueddes, 1942).

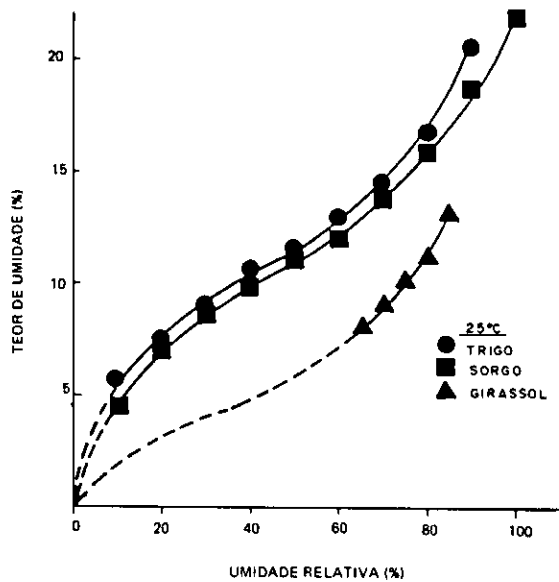


FIG. 4. Isothermas de absorção para trigo, sorgo e semente de girassol, a 25°C. (Construídas a partir de dados experimentais de Becker & Sallans 1956, Coleman & Fellows 1955 e Christensen & Kaufmann 1969).

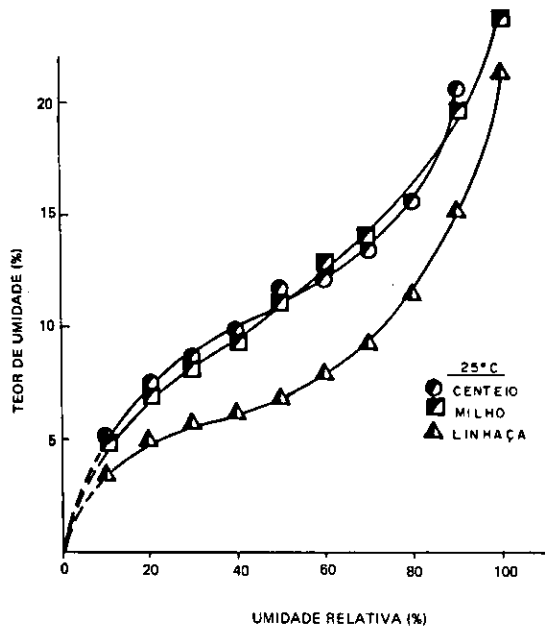


FIG. 3. Isothermas de absorção para centeio, milho e linhaça, a 25°C. (Construídas a partir de dados experimentais de Coleman & Fellows 1955).

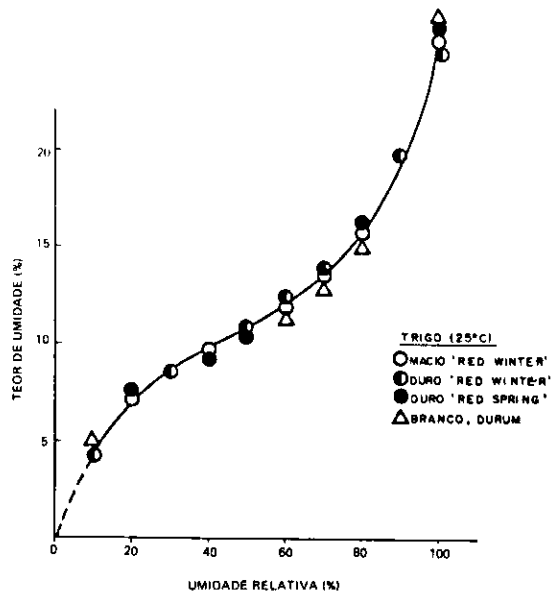


FIG. 5. Isotherma de trigo, a 25°C, válida para diversas variedades (Construída a partir de dados de Coleman & Fellows 1955).

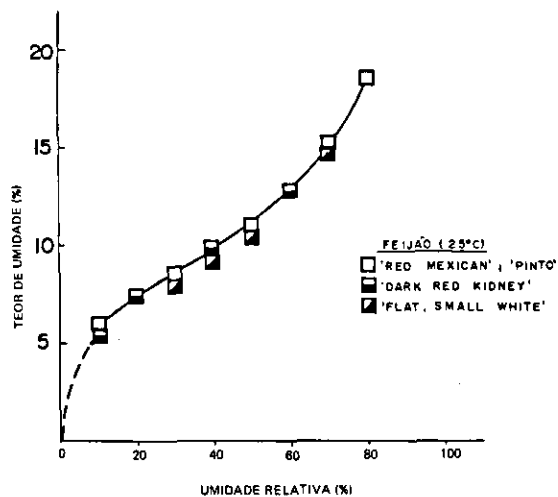


FIG. 6. Isoterma de feijão, a 25°C, aplicável a diversas variedades. (Obtida a partir de dados experimentais de Weston & Morris 1954).

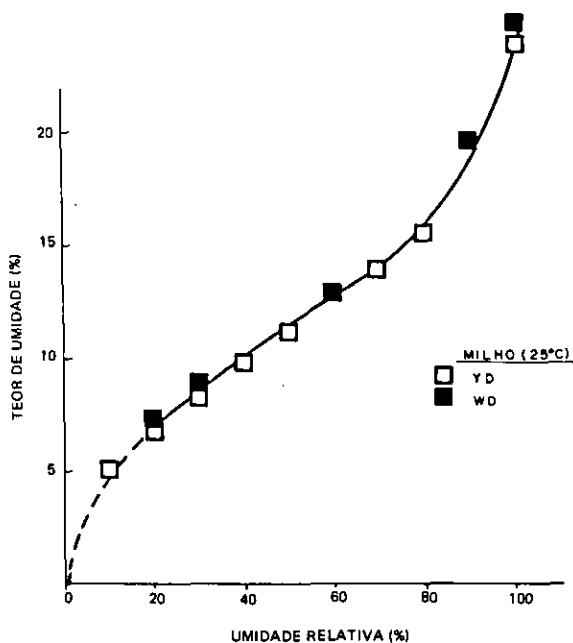


FIG. 8. Isoterma para duas variedades de milho, a 25°C. (Dados experimentais de Thompson & Shedd 1954 e Coleman & Fellows 1955).

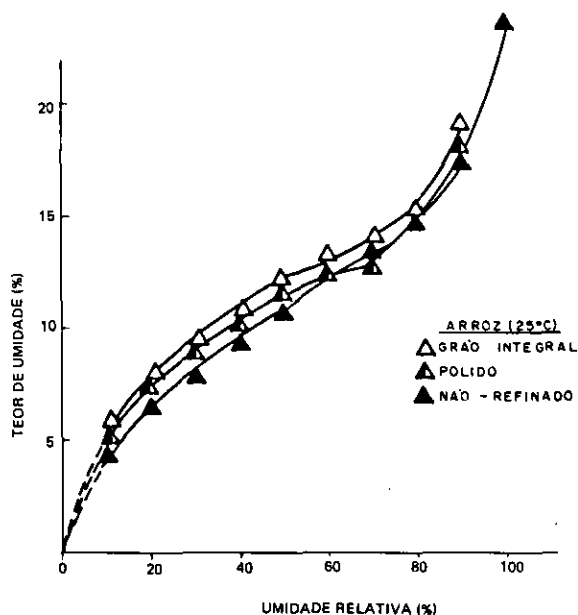


FIG. 7. Isotermas de arroz, a 25°C, mostrando alguns desvios causados por pré-tratamentos. (Dados experimentais de Houston & Kester 1954, Coleman & Fellows 1955 e Breese 1955).

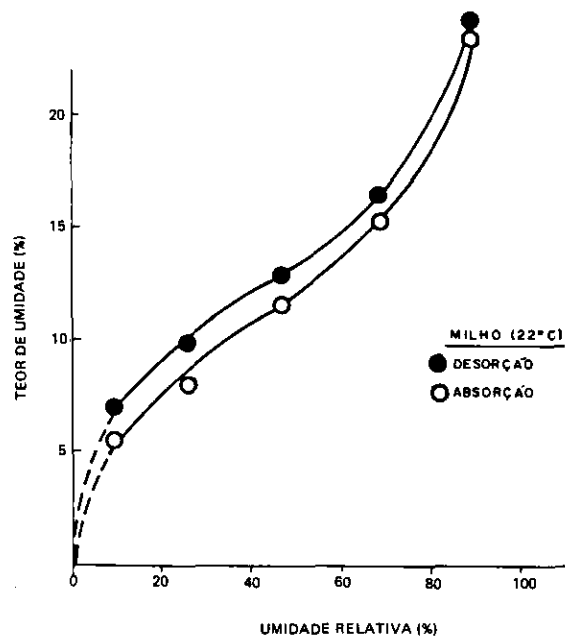


FIG. 9. Isotermas de absorção e dessorção de milho, a 22°C, mostrando o fenômeno da histerese. (Dados experimentais de Chung & Pfost 1967).

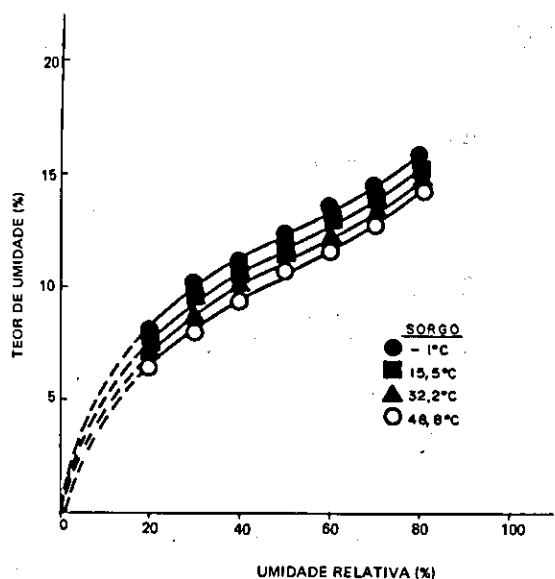


FIG. 10. Isothermas de absorção de sorgo, a várias temperaturas. (Dados experimentais de Haynes 1961).

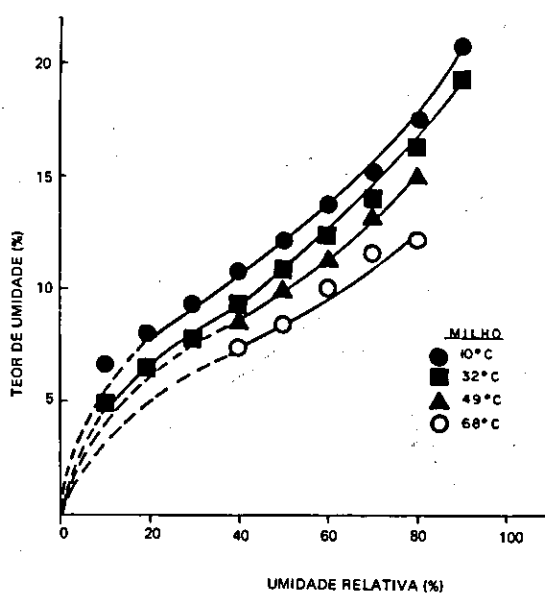


FIG. 12. Isothermas de absorção de milho, a várias temperaturas. (Dados experimentais de Gustafson 1972).

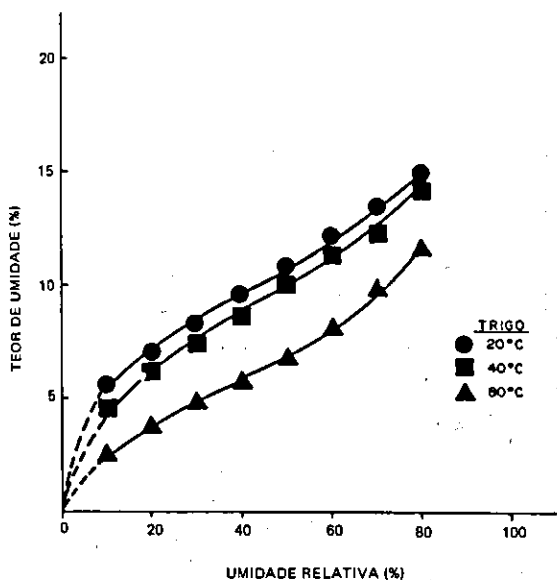


FIG. 11. Isothermas de absorção de trigo, a várias temperaturas. (Dados experimentais de Pichler 1957).

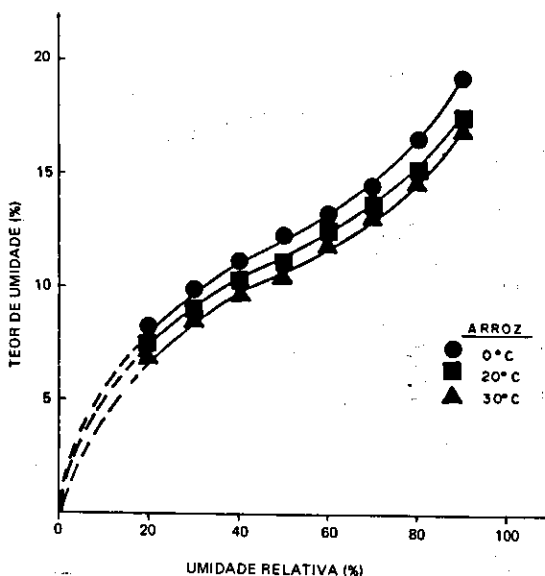


FIG. 13. Isothermas de absorção de arroz, a várias temperaturas. (Dados experimentais de Bakharev 1960).

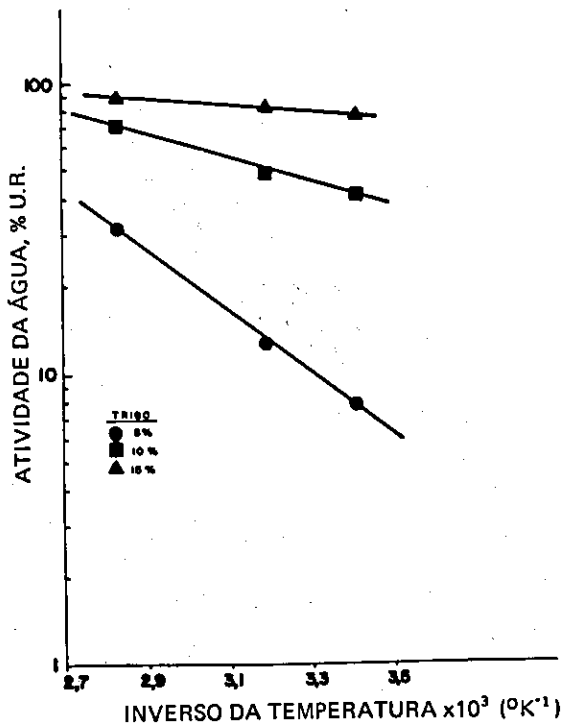


FIG. 14. Isotherms of wheat at different moisture levels.

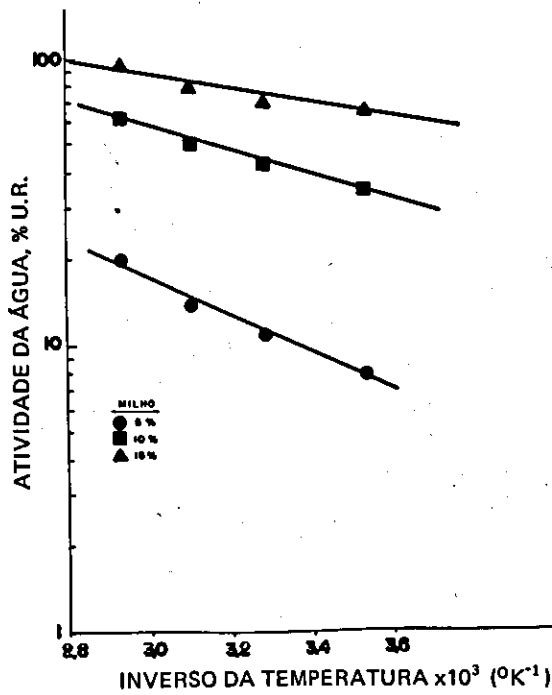


FIG. 15. Isotherms of corn at different moisture levels.

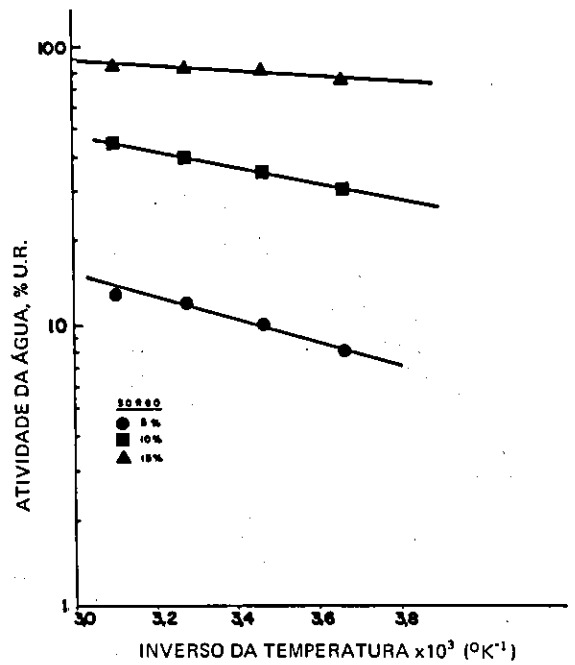


FIG. 16. Isotherms of sorghum at different moisture levels.

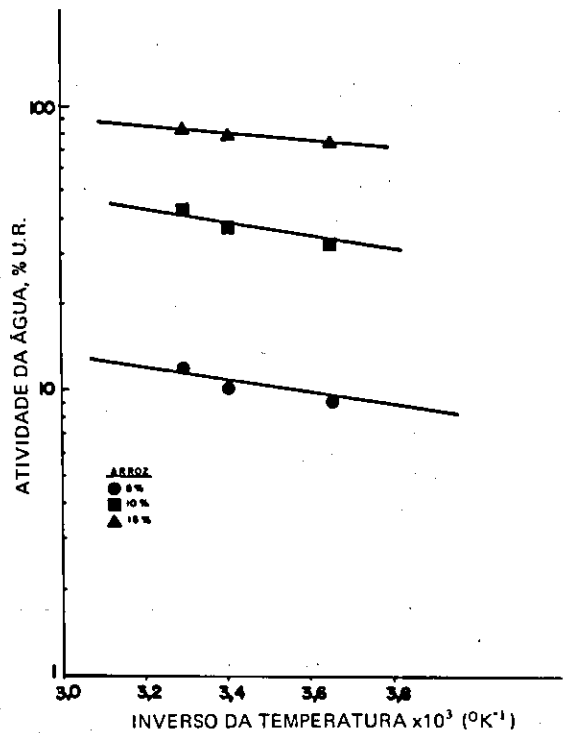


FIG. 17. Isotherms of rice at different moisture levels.

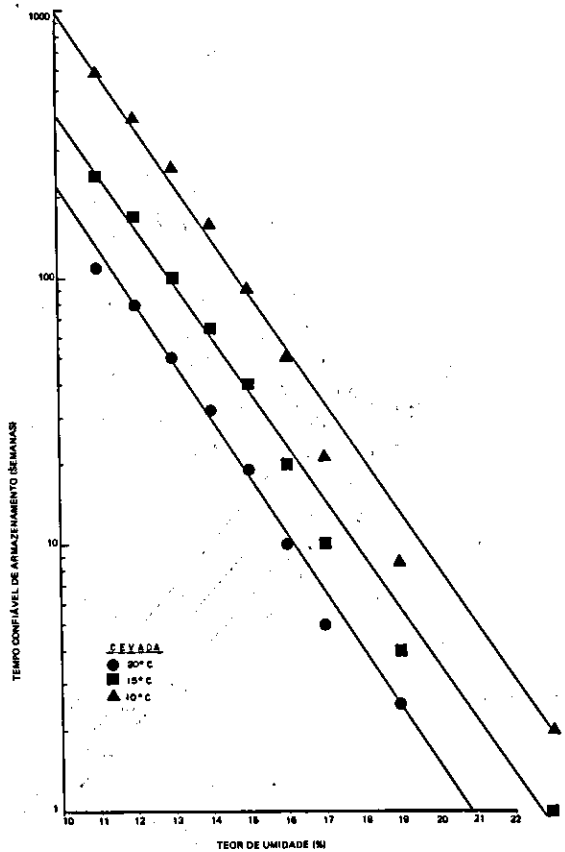


FIG. 18. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de cevada a várias temperaturas. (Critério: Potencial de germinação. Dados experimentais de Kreyger 1972).

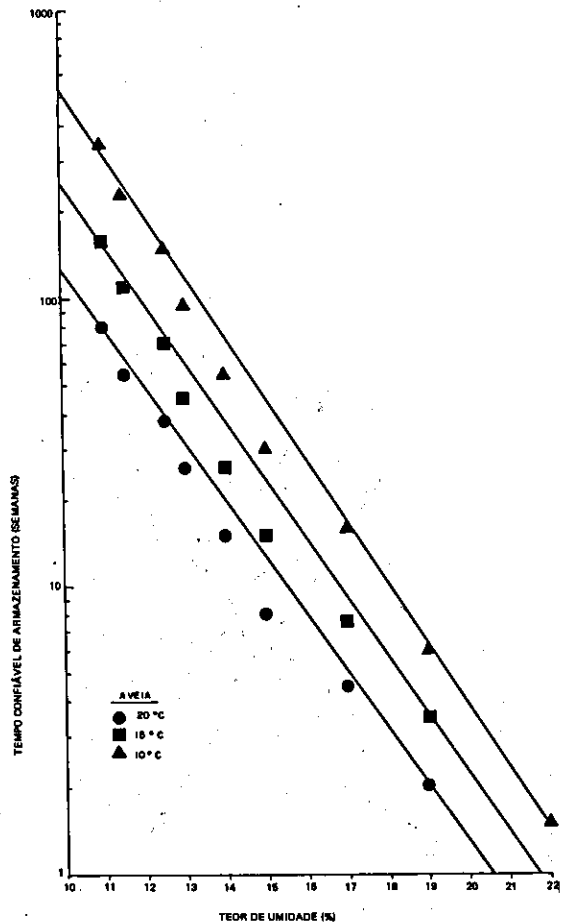


FIG. 19. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de aveia a várias temperaturas. (Critério: Potencial de germinação. Dados experimentais de Kreyger 1972).

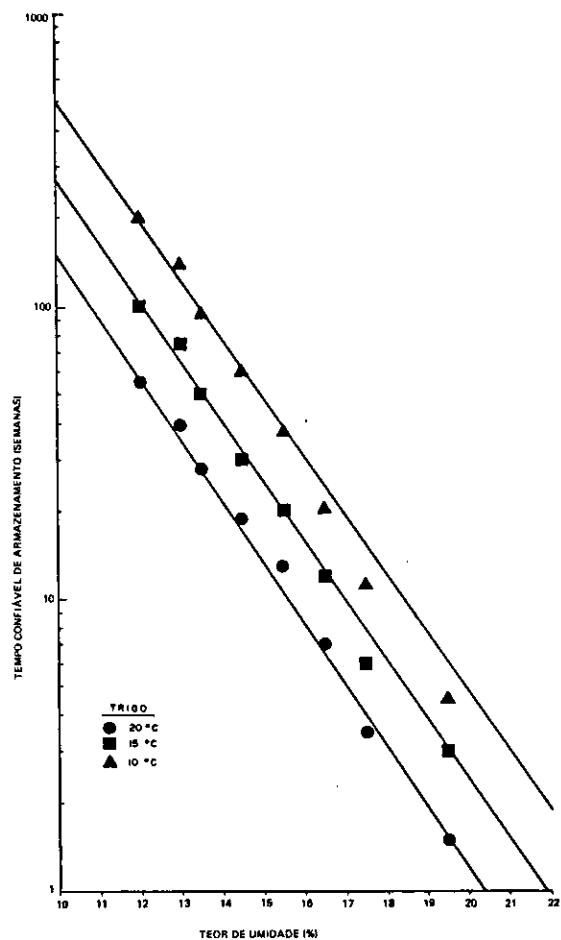


FIG. 20. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de trigo a várias temperaturas. (Critério: Potencial de germinação. Dados experimentais de Kreyger 1972).

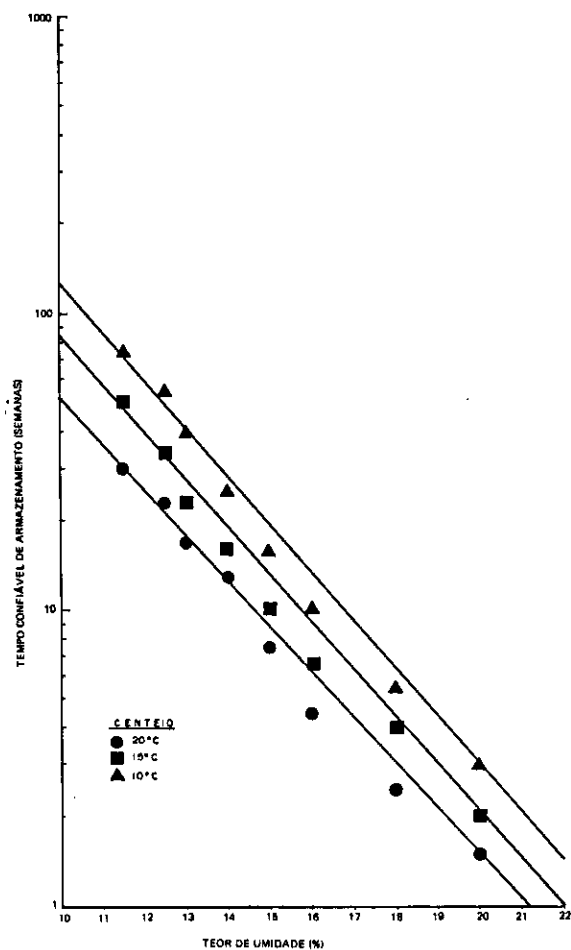


FIG. 21. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de centeio a várias temperaturas. (Critério: Potencial de germinação. Dados experimentais de Kreyger 1972).

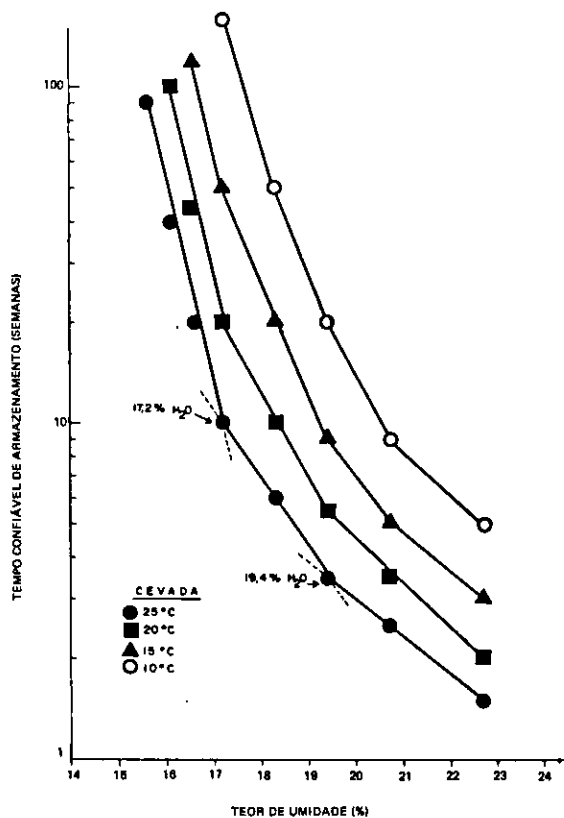


FIG. 22. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de cevada a várias temperaturas. (Critério: Desenvolvimento visível de fungos. Dados experimentais de Kreyger 1972).

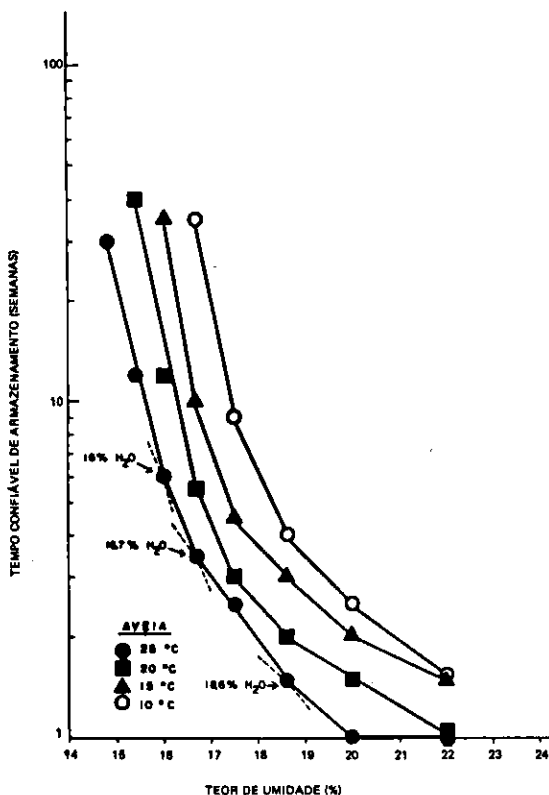


FIG. 23. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de aveia a várias temperaturas. (Critério: Desenvolvimento visível de fungos. Dados experimentais de Kreyger 1972).

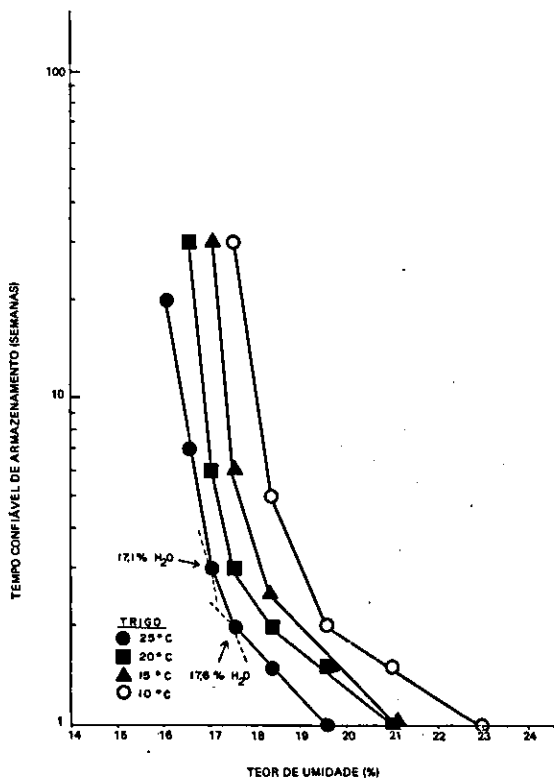


FIG. 24. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de trigo a várias temperaturas. (Critério: Desenvolvimento visível de fungos. Dados experimentais de Kreyger 1972).

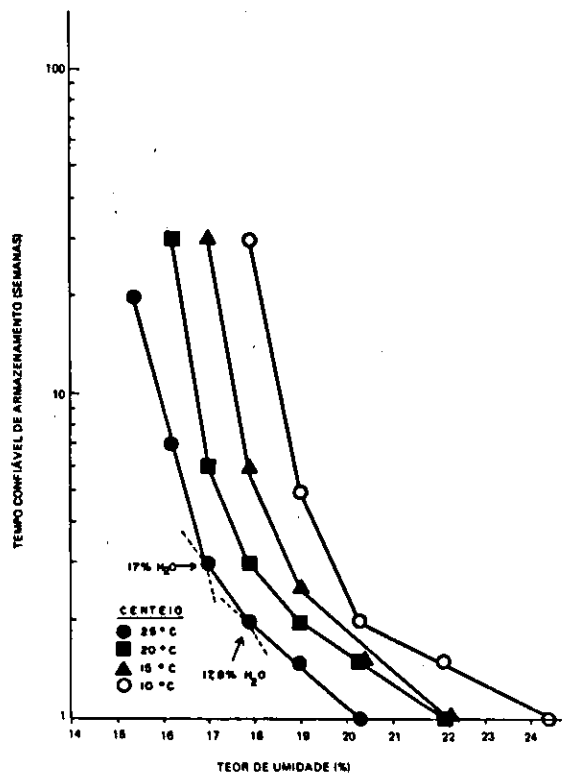


FIG. 25. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de centeio a várias temperaturas. (Critério: Desenvolvimento visível de fungos. Dados experimentais de Kreyger 1972).

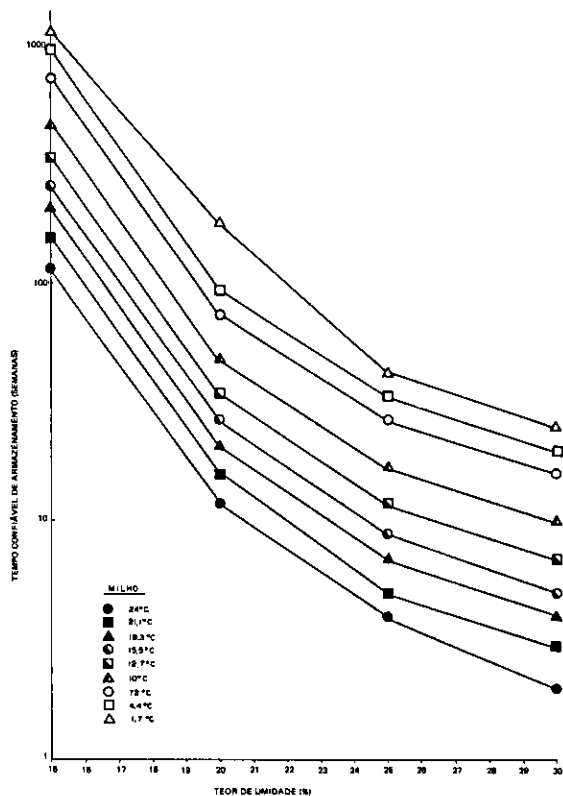


FIG. 26. Efeito do teor de umidade no tempo confiável de armazenamento de milho a várias temperaturas. (Critério: Produção de CO₂. Dados experimentais de Kreyger 1972).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Professor Giovani J. Carvalho, da área de Armazenamento de Grãos e Cereais da ESAL, pela colaboração na seleção de referências e sugestões durante a preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

AYERST, G. Determination of the water activity of some hygroscopic food materials by a dew-point method. *J. Sci. Food Agric.*, 16:71-8, 1965.

BABBITT, J.D. Observations on the adsorption of water vapor by wheat. *Can. J. Res.*, (27):55-72, 1949.

BAKHAREV, I.Y. Moisture equilibrium of peanuts. In: GERHOL, A.P. & SAMOCHETOV, V.F., eds. *Grain drying and grain dryers*. Haifa, Israel, s.ed., 1960.

BECKER, H.A. & SALLANS, H.R. A study of desorption isotherms of wheat at 25°C and 50°C. *Cereal Chem.*, 33:79-91, 1956.

BREESE, M.H. Hysteresis in the hygroscopic equilibrium of rough rice at 25°C. *Cereal Chem.*, 33:481-7, 1955.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W. & HALL, C.W. *Drying cereal grains*. s.l., AVI, 1974.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H. & TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Amer. Chem. Soc.*, 60:306-19, 1938.

BURMISTROVA, H.P. *Physicomechanical properties of agricultural crops*. Jerusalem, IPST, 1956. 250p. 1956.

CHRISTENSEN, C.H. & KAUFMANN, H.H. *Grain storage; the role of fungi in quality loss*. Minneapolis, Minnesota, University of Minnesota Press, 1969.

CHUNG, D.S. & PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. *Trans. ASAE.*, 10:552-75, 1967.

COLEMAN, D.A. & FELLOWS, H.C. Hygroscopic moisture of cereal grains and flaxseed exposed to different relative humidities. *Cereal Chem.*, 2:275-87, 1955.

DESIKACHAR, H.S.R. & SUBRAHMANYAN, V. The formation of cracks in rice during wetting and its effect on the cooking characteristics of the cereal. *Cereal Chem.*, 38(4):356-7, 1961.

GLASSTONE, S. *Textbook of physical chemistry*. Londres, MacMillan and Co., Ltd., 1960.

GROSH, G.M. & MILNER, M. Water penetration and internal cracking in tempered wheat grains. *Cereal Chem.*, 36(3):260-73, 1959.

GUSTAFSON, R.J. *Equilibrium moisture content of shelled corn from 50°F to 155°F*. Urbana, University of Illinois, 1972. Tese Mestrado.

HAYNES, B.C. *Vapor pressure determination of seed hygroscopicity*. Washington, D.C., ARS-USDA, 1961. (Boletim Técnico, 1229).

HOUSTON, D.F. & KESTER, E.B. Hygroscopic equilibrium of whole-grain edible forms of rice. *Food Technol.*, 8:302-4, 1954.

HUNTER, L. *The hydrogen bond in organic chemistry*. In: SYMPOSIUM ON THE HYDROGEN BOND. Londres, 1950.

KARON, M.L. Hygroscopic equilibrium of cotton seed. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 40:1361-5, 1947.

KREYGER, J. *Drying and storing grains, seeds and pulses in temperate climates*. Wageningen, Holanda, Institute for Storage and Processing of Agricultural Produce, 1972. (Boletim, 205).

KUNZE, O.R. Moisture adsorption influences on rice. *J. Food Process Eng.*, 1:167-81, 1977.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. *Food Technol.*, 22:263-72, 1968.

LEHNINGER, A.L. *Biochemistry*. s.l., Worth Publishers, Inc. 1975.

LLOYD, D.J. Imbibition of water by proteins. *Cereal Chem.*, 15:25-34, 1938.

MELLON, E.F.; KORN, A.H. & HOOVER, S.R. *Water*

- absorption of proteins. I The effect of free amino groups in casein. *J. Am. Chem. Soc.*, 69:327-31, 1947.
- MELLON, E.F.; KORN, A.H. & HOOVER, S.R. Water absorption of proteins. III Contribution of the peptide group. *J. Am. Chem. Soc.*, 70:3040-4, 1948.
- MILNER, M. & SHELLENBERGER, J.A. Physical properties of weathered wheat in relation to internal fissuring detected radiographically. *Cereal Chem.*, 30 (3):202-12, 1953.
- MOREY, L.; KILMER, H. & SELMAN, R.W. Relationship between moisture content of flour and humidity of air. *Cereal Chem.*, 24:364-71, 1947.
- NAGATO, K.; EBATA, M. & ISHIKAWA, M. On the formation of cracks in rice kernels during wetting and drying of paddies. *Nippon Sakumotsu Gakkai Kiji*, 33:82-9, 1964.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES & NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Washington, EUA. Feed composition; joint United States - Canadian tables. 1964. (Publicação 1232).
- PAULING, L. The adsorption of water by proteins. *J. Am. Soc.*, 67:555-7, 1945.
- PICHLER, H.J. Sorption isotherms for grain and rape. *J. Agr. Eng. Res.*, 2:159-65, 1957.
- PIXTON, S.W. & WARBURTON, S. Moisture content/relative humidity equilibrium relationship of some cereal grains at different temperatures. *J. Stored Prod. Res.*, 6:283-92, 1971.
- RAMSTAD, P.E. & GUEDES, W.F. Respiration and storage behavior of soybeans. St. Paul, Minnesota, Minnesota Agr. Exp. Sta., 1942. (Tech. Bull., 156).
- ROCKLAND, L.B. & NISHI, S.K. Influence of water activity on food product quality and stability. *Food Technol.*, 34,4:42-59, 1980.
- SPONSLER, O.L.; BATH, J.D. & ELLIS, J.W. Water bound to gelatin as shown by molecular structure study. *J. Phys. Chem.*, 44:996-1006, 1940.
- SWANSON, C.O. Effects of moisture on the physical and other properties of wheat. II. Wetting during harvest. *Cereal Chem.*, 20(1):43-61, 1943.
- THOMPSON, H.J. & SHEDD, C.K. Equilibrium moisture and heat of vaporization of shelled corn and wheat. *Agr. Eng.*, 35:786-8, 1954.
- WESTON, W.J. & MORRIS, H.J. Hygroscopic equilibria of dry beans. *Food Technol.*, 8:353-5, 1954.
- WINTON, A.L. & WINTON, K.B. The structure and composition of foods. John Wiley & Sons. Londres, John Wiley, 1932. v.1.