

GELATINIZAÇÃO DE AMIDO E GRÃO DE SORGO PELA  
RADIÇÃO DE MICROONDAS

Por

JANE RIZZO PALERMO

*Eng<sup>o</sup> de Alimentos, FEAA (UNICAMP), 1977*

Tese apresentada à

Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola

para obtenção do título de Mestre

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash

Orientador

1982

Campinas, SP, Brasil

**UNICAMP**  
**BIBLIOTECA CENTRAL**

---

## ÍNDICE

	Página
Índice das tabelas .....	i
Índice das figuras .....	iv
Agradecimentos .....	viii
Resumo .....	xix
Summary .....	xi
I. INTRODUÇÃO .....	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
A. Radiação de microondas .....	3
1. Definição .....	3
2. Mecanismo de aquecimento .....	4
3. Aplicação das microondas na tecnologia de cereais .....	5
a) Condicionamento do trigo .....	6
b) Panificação .....	7
c) Gelatinização .....	8
d) Secagem de pasta .....	9
B. Fenômenos da gelatinização e retrogradação ...	9
C. Produção e utilização de sorgo .....	12
1. Produção e consumo .....	12
2. Estrutura e composição .....	13
3. Processo de moagem .....	14
a) Moagem seca .....	15

b) Moagem úmida .....	16
4. Formas de utilização .....	16
a) Alimentação humana .....	17
b) Fermentação .....	17
c) Ração animal .....	18
d) Usos industriais .....	18
III. MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
A. Materiais .....	20
1. Matéria-prima .....	20
2. Reagentes .....	20
3. Aparelhos e equipamentos .....	20
B. Métodos experimentais .....	21
1. Descascamento do grão .....	21
2. Obtenção do amido .....	22
a) Extração .....	22
b) Secagem .....	22
3. Gelatinização do amido por microondas .....	22
a) Condicionamento .....	22
b) Tratamento por radiação .....	23
c) Secagem .....	23
4. Gelatinização do sorgo descascado por microondas .....	24
a) Condicionamento .....	24
b) Tratamento por radiação .....	24
c) Secagem .....	25
C. Métodos analíticos .....	25

1. Perda de umidade .....	25
2. Determinação da viscosidade .....	26
3. Amido danificado .....	27
4. Suscetibilidade enzimática .....	27
5. Grau de hidrólise .....	28
6. Índices de solubilidade e absorção de água.	28
7. Umidade .....	30
8. Cinza .....	30
9. Fibra .....	30
10. Gordura .....	30
11. Proteína .....	31
 IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	 32
A. Características da matéria-prima .....	32
1. Caracterização do grão de sorgo .....	32
a) Composição química .....	33
b) Características de gelatinização e retro <u>gr</u> <u>adação</u> .....	33
c) Amido danificado .....	36
d) Suscetibilidade enzimática .....	37
e) Índices de solubilidade e absorção de água .....	40
2. Caracterização do amido .....	40
a) Grau de pureza .....	40
b) Características de gelatinização e retro <u>gr</u> <u>adação</u> .....	40

c) Amido danificado .....	43
d) Suscetibilidade enzimática .....	43
e) Índices de solubilidade e absorção de água .....	47
B. Efeito da umidade e tempo de tratamento por <u>mi</u> croondas nas características de gelatinização do amido .....	47
1. Perda de umidade .....	48
2. Características da pasta .....	48
3. Amido danificado .....	64
4. Suscetibilidade enzimática .....	67
5. Grau de gelatinização .....	71
6. Índices de solubilidade e absorção de água.	73
C. Efeito da umidade e tempo de tratamento por <u>mi</u> croondas nas características de gelatinização do sorgo descascado .....	76
1. Perda de umidade .....	76
2. Características da pasta .....	81
3. Amido danificado .....	89
4. Suscetibilidade enzimática .....	97
5. Grau de gelatinização .....	97
6. Índices de solubilidade e absorção de água.	101
V. CONCLUSÃO .....	107
VI. BIBLIOGRAFIA .....	110

## ÍNDICE DAS TABELAS

	Página
I. Composição química do sorgo, expressa em porcentagem de base seca .....	34
II. Características de gelatinização e retrogradação do sorgo descascado .....	35
III. Análise de regressão linear na faixa de retrogradação do sorgo descascado .....	36
IV. Grau de pureza do amido, expressa em porcentagem de base seca .....	41
V. Características de gelatinização e retrogradação do amido .....	42
VI. Análise de regressão linear na faixa de retrogradação para o amido .....	44
VII. Efeito do tempo na perda de umidade durante tratamento com microondas nas amostras de amido, a várias umidades .....	49
VIII. Efeito da umidade na temperatura inicial de gelatinização, para vários tempos de tratamento com microondas, nas amostras de amido .....	55
IX. Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento, para vários tempos de tratamento com microondas nas amostras de amido .....	59

X. Efeito da umidade na viscosidade durante os ciclos de aquecimento, de temperatura constante e de resfriamento para vários tempos de tratamento com microondas, nas amostras de amido .....	60
XI. Efeito da temperatura na primeira fase de retrogradação em vários tempos e umidades de tratamento com microondas para o amido .....	65
XII. Efeito da temperatura na segunda fase de retrogradação em vários tempos e umidades de tratamento com microondas para o amido .....	66
XIII. Efeito da umidade na porcentagem de amido danificado, após tratamento do amido com microondas a vários tempos de tratamento .....	68
XIV. Efeito de tempo de digestão na produção de maltose para o amido tratado com microondas a várias umidades e tempos de tratamento .....	70
XV. Efeito da umidade no grau de hidrólise com $\alpha$ -amilase, após 72 horas de digestão, do amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento.	74
XVI. Efeito da umidade nos índices de absorção e solubilidade de água para o amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	77
XVII. Efeito de tempo de tratamento na perda de umidade das amostras de sorgo, durante o aquecimento com microondas, para todas as umidades testadas.	82
XVIII. Efeito da umidade na temperatura inicial de gela	

tinização do sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	87
XIX. Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máxima, no ciclo de aquecimento, para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	88
XX. Efeito da umidade na viscosidade durante os ciclos de aquecimento, de temperatura constante à 95°C e no resfriamento para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	91
XXI. Efeito da temperatura na retrogradação durante o ciclo de resfriamento para o sorgo tratado com microondas a várias umidades e tempos de tratamento .....	95
XXII. Efeito da umidade sobre a porcentagem de amido danificado para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	96
XXIII. Efeito do tempo de digestão na suscetibilidade enzimática para o sorgo tratado com microondas a várias umidades e tempos de tratamento .....	99
XXIV. Efeito da umidade sobre o grau de hidrólise para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	102
XXV. Efeito da umidade nos índices de solubilidade e absorção de água para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	104

## INDICES DAS FIGURAS

	Página
1. Efeito da diminuição de temperatura sobre a viscosidade da farinha de sorgo descascado no ciclo de resfriamento .....	38
2. Suscetibilidade enzimática da farinha de sorgo descascado .....	39
3. Efeito da diminuição de temperatura sobre a viscosidade do amido de sorgo no ciclo de resfriamento.	45
4. Suscetibilidade enzimática para o amido de sorgo..	46
5. Efeito do tempo de tratamento na perda de umidade do amido tratado com microondas a vários níveis de umidade .....	50
6. Viscoamilograma do amido tratado com microondas por 30 segundos a vários níveis de umidade .....	51
7. Viscoamilograma do amido tratado com microondas por 60 segundos a vários níveis de umidade .....	52
8. Viscoamilograma do amido tratado com microondas por 120 segundos a vários níveis de umidade .....	53
9. Viscoamilograma do amido tratado com microondas por 180 segundos a vários níveis de umidade .....	54
10. Efeito da umidade na temperatura inicial de gelatinização do amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	57

11. Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máx <u>í</u> ma do amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	59
12. Efeito da umidade do amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	61
13. Efeito da umidade na viscosidade mínima a 95 <sup>o</sup> C do amido tratado com microondas a vários tempos de tra <u>t</u> amento .....	62
14. Efeito da umidade na viscosidade máx <u>í</u> ma do ciclo de resfriamento para o amido tratado com microon <u>d</u> as a vários tempos de tratamento .....	63
15. Efeito da umidade na porcentagem do amido danifica <u>d</u> o do amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	69
16. Suscetibilidade enzimática para o amido tratado com microondas a vários níveis de umidade e tempos de tratamento .....	72
17. Efeito da umidade no grau de hidrôli <u>x</u> e do amido tratado com microondas a vários tempos de tratamen <u>t</u> o .....	75
18. Efeito da umidade no índice de solubilidade em água para o amido tratado com microondas a vários tem <u>p</u> os de tratamento .....	79
19. Efeito da umidade no índice de absorçã <u>o</u> de água pa <u>r</u> a o amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento .....	79

20. Curva de absorção de água para o sorgo descascado.	80
21. Efeito do tempo de tratamento na perda de umidade do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários níveis de umidade .....	83
22. Viscoamilograma do sorgo descascado, tratado com microondas por 30 segundos, a vários níveis de umidade .....	84
23. Viscoamilograma do sorgo descascado, tratado com microondas por 60 segundos, a vários níveis de umidade .....	85
24. Viscoamilograma do sorgo descascado, tratado com microondas por 120 segundos, a vários níveis de umidade .....	86
25. Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máxima do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	90
26. Efeito da umidade na viscosidade máxima de aquecimento do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	92
27. Efeito da umidade na viscosidade mínima à temperatura constante de 95 <sup>o</sup> C do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento..	93
28. Efeito da umidade na viscosidade máxima a 30 <sup>o</sup> C do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	94
29. Efeito da umidade na porcentagem de amido danifica	

do do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	98
30. Suscetibilidade enzimática para o sorgo descascado, tratado com microondas, a vários níveis de umidade e tempos de tratamento .....	100
31. Efeito da umidade no grau de hidrólise do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	103
32. Efeito da umidade no índice de solubilidade em água do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	105
33. Efeito da umidade no índice de absorção de água do sorgo descascado, tratado com microondas, a vários tempos de tratamento .....	106

## AGRADECIMENTOS

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.

Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola.

Dr<sup>a</sup> Ruth dos Santos Garruti.

Dr<sup>a</sup> Délia Rodriguez Amaya.

Prof<sup>a</sup> Celina de Oliveira Camargo.

Ana Lourdes Neves Gândara.

Marlene Oliveira Pires.

Agradeço à Coca-Cola Indústrias Ltda., pelo seu interesse nesse campo de pesquisa oferecendo-me uma bolsa de estudos.

A autora manifesta sua pessoal gratidão ao Dr. Ahmed A. El-Dash pelo empenho, apoio e carinho na realização deste trabalho.

Agradece aos colegas Renato Cruz, Ioon Kil Chang, Evôdio Ribeiro Vilela, Norma A. Mancilla e Marilena Jucá, pelo auxílio em várias etapas deste trabalho e também aos funcionários da Faculdade que colaboraram.

Reconhecimento especial a Armando Eduardo, Carla e Bruno, pela compreensão e amor durante a execução desta pesquisa.

## RESUMO

A utilização da radiação de microondas no aquecimento de alimentos é bastante recente. Este trabalho tem por objetivo empregar esta energia no processamento de alimentos instantâneos, isto é, avaliar o efeito das microondas sobre a gelatinização e retrogradação de grão descascado e amido de sorgo, variando as condições de umidade das amostras e tempo de tratamento.

Sorgo, apesar de ser um cereal bastante comum em certos países da África e Ásia, quase não é utilizado para alimentação humana no resto do mundo. O que se deseja dessa pesquisa é o desenvolvimento de uma nova tecnologia para melhor utilização deste cereal na dieta humana. É um cereal com características e valor nutricional semelhante ao milho, sendo perfeitamente possível a substituição deste em muitos produtos, principalmente naqueles destinados ao suprimento de populações carentes.

O efeito das microondas, tanto para amido quanto sorgo descascado, foi bem semelhante. A influência da umidade tem papel mais marcante que o tempo de tratamento em todas as análises realizadas, exceto na perda de umidade. À medida que o tempo de radiação aumentou, as amostras perderam maior umidade, isto é, houve maior evaporação da água livre das amostras.

As características de gelatinização e retrogradação foram mais afetadas quando a umidade foi maior que 20%. Pouca alteração ocorreu nas determinações de amido danificado, suscetibilidade enzimática e grau de hidrólise nas umidades inferiores a 20%. Quanto aos índices de solubilidade e absorção de água, em ambas as amostras, o tratamento com microondas provocou poucas alterações.

Como até a umidade de 20% o grau de gelatinização das amostras foi baixo, as microondas, sob estas condições não são indicadas na fabricação de produtos instantâneos que se destinam à alimentação humana, porque haveria problemas de digestibilidade.

O tratamento com microondas é melhor aproveitado somente quando a umidade for maior que 20%. Com umidades acima de 30%, as microondas causam alto grau de gelatinização.

O tempo de radiação apresentou influência quando as umidades foram maiores que 25%.

## SUMMARY

The use of microwave energy in food processing is a recent innovation which has shown promise in the production of instant foods. The objective of the present work was to evaluate its effect on the gelatinization and retrogradation of dehulled sorghum grain and its starch. The effect of two variables was studied: the moisture content of the sample and the duration of treatment.

Although sorghum is planted in various countries, its use for human food is very limited. One of the objectives of this work is the development of a new approach to improve its utilization for human food, since sorghum has technological and nutritional characteristics similar to corn.

The effect of microwave treatment on both starch and dehulled grain was similar. The moisture content of the sample has a great influence on all characteristics examined with the exception of moisture loss. As the time of radiation increased, the loss of moisture increased.

Gelatinization and retrogradation were affected only when the moisture content exceeded 20%. Little effect was observed on starch damage or enzymatic susceptibility and degree of hydrolysis when the moisture content was below 20%, but the effect on solubility index and water absorption was minor and independent of moisture content.

Since samples with a moisture content of less than 20% were not affected, the use of microwave treatment in the pregelatinization of such flour or starch is not recommended. But with greater moisture contents (25-30%) the treatment is quite effective in the production of pregelatinized products.

## I. INTRODUÇÃO

O aquecimento de alimentos por microondas teve grande impulso durante a II Grande Guerra Mundial (5). No início, a introdução deste tipo de equipamento na indústria de alimentos foi muito difícil, devido ao alto custo de investimento (37). Hoje, os preços foram relativamente diminuídos e, com a crise do petróleo, o emprego desta energia tornou-se mais econômico.

Muitas são as aplicações de microondas na área de alimentos, atingindo desde o branqueamento de frutas e verduras para congelamento, destruição de mofos em pão, pasteurização de vinho, secagem final de "chips" de batata, fermentação de pão, secagem de leite e suco de laranja, até a esterilização de grãos. Também, podem ser empregadas na gelatinização de amido para produzir alimentos instantâneos (13).

O presente trabalho tem por objetivo utilizar este tipo de energia no processamento de alimentos, isto é, avaliar o efeito das microondas sobre a gelatinização de sorgo. O estudo compreende a investigação do efeito da umidade e do tempo de tratamento sobre as características de gelatinização e retrogradação do sorgo sob a forma de grão descascado e arido.

Sorgo, apesar de ser um cereal bastante comum em certos países da África e Ásia, quase não é utilizado para ali-

mentação humana no resto do mundo. É um dos cereais que pode apresentar ótimas perspectivas na dieta humana. Além de ter preço mais baixo que os outros cereais, é de cultura simples, sem grandes exigências quanto ao clima e solo para seu desenvolvimento. Com esta característica, o sorgo pode muito bem ser adaptado às condições áridas da região Nordeste do Brasil (16, 17).

O que se deseja desta pesquisa é o desenvolvimento de uma nova tecnologia para melhor utilização deste cereal na dieta humana. O desenvolvimento de tecnologia nova, adaptável às características do grão de sorgo, possibilita sua utilização na indústria para elaborar produtos com valor comercial e nutricional compensativos e que dependam exclusivamente das características tecnológicas do sorgo, sem necessidade de misturá-lo a outro cereal.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### A. RADIAÇÃO DE MICROONDAS

O maior sucesso da aplicação desta forma de energia tem sido no reaquecimento, principalmente em cozinhas industriais e de instituições. O uso das microondas está sendo cada vez mais ampliado a outros setores, de acordo com as necessidades energéticas.

#### 1. Definição

Microondas são parte do espectro eletromagnético e ocupam a banda do espectro entre as ondas de rádio e de infravermelho (20). São geradas por tubos de potência chamados magnetrons, klystrons e amplitrons (10, 33, 41). Produzem calor uniformemente através da massa de materiais eletricamente não condutores. Se o material é colocado dentro do campo, qualquer molécula carregada vibra em harmonia e o calor é gerado (24).

São quatro as frequências permitidas pela "Federal Communications Commission" para aquecimento com microondas de acordo com o "International Radio Regulations" de Geneva, em 1959. Estas frequências são 915, 2450, 5800 e 22125 megaci-

culos por segundo para usos industriais, científicos e médicos (10, 11, 33, 41).

As microondas têm diversas características como: habilidade de penetração relativamente alta; aquecimento dependente da espessura do objeto; material em aquecimento sem gradiente de calor; energia emitida pode ser refletida, transmitida ou absorvida pelo objeto, dependendo do seu coeficiente dielétrico e utensílios utilizados para aquecimento devem ser de material que não reflitam a energia (10, 33).

## 2. Mecanismo de aquecimento

As microondas são produzidas por um gerador e distribuídas por guias de onda (10). Toda matéria é constituída de partículas eletricamente carregadas. Geralmente, há igual número de partículas negativas e positivas. Assim, a maioria dos materiais é eletricamente neutra (19).

O efeito de aquecimento é devido a interação das ondas com moléculas polarizadas do material, como a água, ou a interação com íons livres. Quando o alimento é submetido à energia de microondas, as moléculas de água orientadas tentam alinhar-se com o campo eletromagnético. A rápida oscilação do campo faz com que as moléculas girem ao redor de si criando fricção intermolecular que resulta em calor. Na frequência de microondas de 915 megaciclos, por exemplo, as moléculas

las oscilam 915 milhões de vezes por segundo. No caso de íons, eles são atraídos pelo campo elétrico e colidem bilhões de vezes com moléculas não-ionizadas. Esta colisão é também convertida em calor (41, 19, 37).

Qualquer substância contendo moléculas polares livres é afetada pelas microondas. Como a água é uma molécula polar e distribuída uniformemente nos alimentos, é possível aquecê-los com energia de microondas. A água absorve a energia mais rapidamente que os outros constituintes do alimento. Com isso, a energia pode ser aí concentrada para dar rápido efeito de aquecimento (20, 41).

### 3. Aplicação das microondas na tecnologia de cereais

O aquecimento por microondas oferece diversas vantagens sobre o convencional. O calor produzido pelas microondas aquece simultaneamente toda a massa; a energia é absorvida apenas pelo produto que está sendo aquecido; não há destruição do meio de transferência de calor (como óleo, água ou ar); sua força de penetração é relativamente alta e pode ser concentrada para dar rápido efeito de aquecimento; o tamanho e o número de equipamentos da indústria ficam reduzidos e com isso ocupa-se menor espaço com melhor eficiência e com maior rendimento (24, 29, 33).

Um forno de microondas é uma caixa ou cavidade retan-

gular constituída de sete componentes principais: fornecedor de potência, gerador ou tubo de potência, secção de transmissão, dispositivos de conexão, distribuidor da energia, estruturas para retenção da energia e controles de operação. Além dos supra-relacionados, há equipamentos para resfriamento do gerador, transformador e outros componentes elétricos que dissipam calor; sistema de exaustão dos vapores produzidos; indicadores visuais e auditivos (10). As aplicações da energia de microondas abrangem vários campos e estão sendo cada vez mais desenvolvidas, a exemplo:

a) Condicionamento do trigo

Doty e Baker (6, 12) realizaram estudos da influência da energia de microondas no condicionamento de trigo Durum antes da moagem e processamento, sobre a qualidade da semolina e espaguete. Encontraram que os parâmetros de qualidade para semolina e espaguete foram mais afetados após 360 segundos de condicionamento, sempre à mesma umidade final de 17,5%. Os mais notados efeitos foram: 1) aumento da força da massa; 2) aumento de amido danificado durante a moagem; 3) aumento da taxa de retrogradação do amido; 4) decréscimo da atividade de  $\alpha$ -amilase; 5) decréscimo da atividade de  $\beta$ -amilase; 6) perda de 25% da atividade total da lipoxigenase após 600 segundos. A cor e o peso após o cozimento do espaguete diminuíram, enquanto que a perda no cozimento e a firmeza aumentaram. Quando houve variação de umidade no condicionamento, a quali-

dade da semolina e espaguete não foi influenciada pelo tempo, mas pela umidade (13).

#### b) Panificação

Segundo Lorenz (22), com a energia de microondas leva-se menos tempo para assar um pão do que pelo método convencional. Entretanto, não há formação de crosta ou escurecimento, havendo necessidade de outra fonte de calor se estas características forem desejadas.

O rápido aquecimento interno da massa, provocado pelas microondas, favorece a produção de  $\text{CO}_2$ , resultando um pão de alto volume específico. E também o tempo gasto na zona crítica de temperatura para a atividade da  $\alpha$ -amilase é menor, isto é, o intervalo de tempo entre a temperatura de gelatinização do amido e a da inativação da enzima  $\alpha$ -amilase é muito pequeno (22).

A aplicação de microondas na fabricação de "doughnuts" vem se desenvolvendo com grande interesse (32, 37, 38). As microondas podem ser aplicadas em duas etapas do processamento de "doughnuts": na fermentação e na fritura. A fermentação torna-se muito rápida e prática pois toda a energia é convertida em calor sobre a massa. Pelo método convencional, a fermentação demora de 30 - 45 minutos a  $60^\circ\text{C}$ , enquanto que, com microondas, o tempo fica reduzido para 4 minutos a  $46^\circ\text{C}$ . A fritura por microondas fornece um produto bastante diferente. Utilizando esse processo, há redução da região mais densa da

massa, da quantidade de sólidos em 20%, do tempo de fritura em 20% e da absorção de óleo em 25% (32, 38).

### c) Gelatinização

Uma das mais importantes propriedades do amido é sua habilidade à gelatinização em presença de água e sob aquecimento (9). Poucos trabalhos sobre gelatinização de amido com microondas têm sido publicados. O maior interesse está na obtenção de alimentos instantâneos para consumo imediato (20, 28).

A aplicação das microondas para o pré-cozimento de arroz torna-se vantajosa devido ao efeito de penetração e alta absorção da energia pela água, além da habilidade de concentrar o campo para produzir um aquecimento rápido e uniforme, dando ao produto uma estrutura porosa (20). Nas unidades abaixo de 30% ocorreu pouca gelatinização do arroz. Somente quando o arroz tinha umidade de 30 - 35% é que foi alcançada boa gelatinização (28). O resultado prático do efeito das microondas sobre o arroz pré-cozido está na baixa tendência dos grãos a formar grumos, tornando o produto de fácil manuseio durante o processamento (20).

Os resultados experimentais de Collison (9) demonstraram que o amido é gelatinizado se suficiente água e tempo forem dados para alcançar a temperatura de gelatinização. Todas as amostras tratadas com umidade inferior a 30% não mostraram evidência de gelatinização. Nos trabalhos de Edwards

(14), a utilização de microondas causou desnaturação de proteína nas amostras de farinha contendo 20% de umidade.

d) Secagem de pasta

As microondas também podem ser aplicadas na secagem de pasta. No processo convencional, a secagem demora de 5-10 horas sob condições controladas de temperatura e umidade. Com a energia de microondas, o tempo de secagem fica diminuído e a rehidratação é feita na metade do tempo (23). Com as microondas, o centro do produto aquece simultaneamente com a superfície. Assim, o calor é estocado e a secagem do produto continua, mesmo após a saída do forno. No estágio de resfriamento, a umidade deve ser alta para prevenir a super secagem e, portanto, a quebra do produto (4). As vantagens do processo por microondas em relação ao convencional são: temperatura mais alta, redução do espaço de equipamentos, menor gasto de energia, menor custo de operação e manutenção (23,37).

B. FENÔMENOS DA GELATINIZAÇÃO E RETROGRADAÇÃO

Em água fria muitos amidos são insolúveis e incham até um valor limitado. Até 60°C pouco inchamento ocorre, quando então com o aumento da temperatura, os grânulos começam a inchar rapidamente. Os grânulos perdem sua birrefringência, a solubilidade do amido aumenta devido à difusão de moléculas

de amilose de baixo peso molecular para o meio aquoso, tornando a solução viscosa e aderente. Um dos principais fatores que determinam as propriedades do grânulo de amido é o arranjo das moléculas lineares e ramificadas distribuídas dentro do grânulo. Os grânulos contêm regiões cristalinas e amorfas. A zona cristalina é formada por moléculas de amilose e amilopectina ligadas por pontes de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das unidades de glicose. Na região amorfa, as moléculas são menos fechadas o que permite a entrada de água para a formação de pontes de hidrogênio com os grupos hidroxilas livres das moléculas de amido. A região cristalina limita a quantidade de distorção que o grânulo pode sofrer com o inchamento. Alguns amidos exibem dois estágios de gelatinização que corresponde a duas mudanças na zona cristalina. No primeiro estágio, algumas das zonas cristalinas são destruídas. No segundo estágio, há quebra de estrutura do grânulo, havendo saída das moléculas de baixo peso molecular de dentro do grânulo (25).

Nem todos os grânulos de uma mesma suspensão de amido sofrem gelatinização ao mesmo tempo, mas num intervalo de temperatura de 8 - 10°C (46). Vários fatores afetam as características de gelatinização como: relação de zonas cristalinas e amorfas, tipo de estrutura da zona cristalina, teor de umidade e razão amilose/amilopectina (25). Os métodos para medir gelatinização são numerosos e baseados na birrefringência, solubilidade, absorção, viscosidade, claridade da pasta, di-

fração em raio-X, ressonância, colorimetria e suscetibilidade enzimática. Os mais sensíveis são birrefringência e suscetibilidade enzimática (8, 36).

Retrogradação é um termo dado às mudanças que ocorrem na pasta de amido ou gel com o tempo. É basicamente um processo de cristalização onde existe forte tendência para a formação de pontes de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das moléculas de amido adjacentes. Diversas mudanças ocorrem com a retrogradação como: menor resistência do amido à hidrólise por enzimas amilolíticas, decréscimo na transmissão de luz das soluções e perda da habilidade do amido para formar complexo azul com iodo. O amido retrogradado é pouco solúvel em água à temperatura ambiente e o gel tem sua firmeza aumentada. Assim como amidos diferentes gelatinizam-se de modos diferentes, o mesmo acontece na retrogradação. A retrogradação ocorre mais rapidamente à temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$  enquanto que, em temperaturas muito altas, a associação das moléculas é muito difícil por causa do movimento rápido das macromoléculas. Nas temperaturas menores que  $-4^{\circ}\text{C}$ , o movimento das moléculas é muito lento e então a associação molecular é quase nula (25).

Muitos processos podem ser utilizados para gelatinização de amido. Os mais comuns são: rolos aquecidos, autoclave, extrusão, e recentemente radiação de microondas. Para muitas das aplicações industriais é necessário alterar as propriedades do endosperma dos cereais para obter-se produtos

com diferentes graus de solubilidade e absorção de água e viscosidade. Estas variações podem ser dadas pela gelatinização variando-se as condições de umidade e cozimento (2).

### C. PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE SORGO

Sorgo (*Sorghum bicolor*, pers.) é uma planta tropical pertencente à tribo Andropogonea da família Graminaceae. Tem como origem a África e parte da Ásia. Apesar de ser uma cultura muito antiga, somente no fim do século passado é que passou a ser cultivado em outras regiões do mundo. Agronomicamente o sorgo oferece muitas vantagens em relação aos outros cereais. É muito resistente à seca, como também tolera o excesso de umidade. Além disso, adapta-se com facilidade a solos de baixa fertilidade (16, 17, 30, 42, 45).

#### 1. Produção e consumo

Sorgo é o quinto cereal (FAO, 1978) mais produzido no mundo, perdendo apenas para o trigo, arroz, milho e cevada. Os maiores produtores são os Estados Unidos seguidos pela Índia e Argentina (FAO, 1977).

Na maioria dos países produtores ele é utilizado apenas como ração animal. Somente alguns países da África e Ásia

utilizam este cereal para alimentação humana (42, 45). Este baixo consumo na dieta humana é devido à falta de tecnologia adequada às características do grão e também do interesse das próprias indústrias (42).

Na América Latina os maiores produtores são Argentina e México (FAO, 1977). No Brasil, a cultura é ainda muito restrita, sem sistema de comercialização do sorgo. Sementes adaptáveis às nossas condições de clima e solo estão sendo desenvolvidas com tendência a aumentar a produção brasileira, que hoje está concentrada principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo.

## 2. Estrutura e composição

Sorgo é uma semente- fruta chamada cariopse formada pelo pericarpo, testa, endosperma e germe. O pericarpo é constituído de três camadas: epicarpo, mesocarpo e endocarpo. As cores do pericarpo variam desde o branco até o vermelho, amarelo ou marron. Em algumas variedades há uma camada logo abaixo ao pericarpo chamada testa, altamente pigmentada devido à concentração de polifenóis ou taninos. Após a testa, fica o endosperma, formado pela aleurona, pela camada periférica e pelas regiões protéica e amilácea (18, 30, 43, 45).

A composição do milho e do sorgo é muito semelhante, fornecendo ambos a mesma energia. O sorgo é mais rico em pro-

teína, mas de menor qualidade. Possui mais cera e amido e menos óleo e pentosano. Todas essas características dependem muito do solo onde a cultura foi plantada, das condições de cultivo e também da variedade ser híbrida ou não. Os carboidratos compõem cerca de 80 - 85% do grão dos quais 68 a 73% é amido formado de amilose e amilopectina. Os grãos de sorgo, apesar de pigmentados, não contêm carotenóides. O sorgo amarelo é mais rico em carotenóides, mas perde mais de 5% desse pigmento antes da colheita (31, 43, 45).

Apesar da grande variedade de aminoácidos, o sorgo é deficiente em lisina e com baixa concentração de triptofano, treonina, metionina e cistina (43, 44, 45). Os taninos causam sabor amargo, cor desagradável, baixa digestibilidade e baixa aceitabilidade dos produtos à base de sorgo, contribuindo para diminuir o seu valor nutricional (15, 42, 45).

### 3. Processo de moagem

A moagem de cereais é uma das técnicas mais antigas utilizada pelo homem para a produção de farinha, tanto para consumo humano como animal. Até pouco tempo, na Ásia e África, onde o consumo de sorgo para alimentação humana é maior, a moagem era feita de forma primitiva (26, 27, 43, 45).

a) Moagem seca

Apesar do avanço tecnológico, o processo empregado para o sorgo está longe de ser o ideal. Nos modernos métodos de moagem, a semente é separada em três frações: farelo, germe e endosperma. Com a remoção do pericarpo ocorre diminuição do teor de fibra e cinza e também de pigmentação. A eliminação do germe e aleurona reduz o teor de gordura da farinha assegurando maior estabilidade no armazenamento (44, 45). O sistema de moagem seca compreende as seguintes etapas: recebimento da matéria-prima, limpeza, estocagem, descascamento, moagem e estocagem do produto final (42).

A matéria-prima é armazenada em silos e a limpeza é feita por um separador de impurezas. O rendimento no descascamento é afetado pelas características do próprio grão. O grão de endosperma protéico é melhor descascado que o amiláceo; cor e espessura do pericarpo diminuem o rendimento; o alto teor de tanino, tamanho e forma do grão também afetam o descascamento (26, 27). A maioria dos descascadores consiste de um moinho cilíndrico do tipo abrasivo ou de atrito. As máquinas de polimento de arroz têm tido grande sucesso. Nesse equipamento ocorre mínima perda de nutrientes e o grau de remoção do farelo é de 7,8 - 12,0 % (45). O tipo de máquina utilizada para o descascamento influi diretamente na qualidade e quantidade de nutrientes do grão (26, 27, 42, 43). Outro método utilizado é o descascamento químico. É um processo contínuo onde o grão é umedecido em solução de hidróxido de

sódio a 25% à temperatura de 85°C por alguns minutos. Então, a casca é removida por fricção vigorosa (18, 45).

Após o descascamento, o grão é moído em moinho de rolos e então a farinha passa por purificadores. No moinho, as partículas finas são removidas por peneiras. O primeiro conjunto de rolos é corrugado para facilitar a quebra do grão, por isso ele é chamado de rolo de quebra, de onde se obtém a farinha de quebra, que contém a maior parte do endosperma amiláceo, com baixo nível protéico (42).

#### b) Moagem úmida

A moagem úmida é utilizada para produção de amido. Este processo é muito mais difícil para o sorgo que para o milho por causa da grande proporção de endosperma protéico. Pequenas partículas de amido e proteína não se separam, tornando o amido de sorgo mais escuro que o de milho. A moagem úmida também permite a produção de dextrose, aplicada como ingrediente em alguns alimentos, de co-produtos para ração ou é aplicada em outros usos industriais. Para maior rendimento na extração de amido é necessário a remoção da casca (45).

#### 4. Formas de utilização

As técnicas utilizadas no processamento do sorgo para consumo humano são ainda muito rudimentares. Em alguns paí-

ses, o sorgo é utilizado na alimentação humana sob a forma de farinhas, enquanto que em outros é usado apenas para ração animal ou fins industriais (31, 42, 45).

a) Alimentação humana

Sorgo é consumido na forma de mingau ou bolos ou simplesmente como cereal para desjejum, em algumas partes da Ásia e África (31, 42). Grão de sorgo pode ser utilizado na elaboração de outros tipos de alimentos na área de panificação. É bem aceito na produção de sonhos, bolos e pães substituindo parte da farinha de trigo em suas formulações (31). Em outros casos, o sorgo é empregado no lugar do milho para produção de "snacks" ou "wafers", fornecendo grande potencial para suplementação protéica de dietas. Quando misturado ao leite em pó, fornece um alimento rico para crianças e pessoas mal nutridas (15). O sorgo descascado e gelatinizado fornece um produto muito semelhante ao arroz e permanece macio após o cozimento (45).

b) Fermentação

O malte de sorgo é utilizado como alimento em muitas partes do mundo, principalmente na produção de cerveja, bebida tradicional dos sul-africanos, conhecida como "Kaffir". Contém alto teor de sólidos e 2 a 4% de teor alcoólico (45).

45). Os modernos processos de fermentação para fabricação dessa bebida empregam uma mistura de malte de sorgo e água que é primeiramente fermentada por lactobacilos termofílicos. Então, é aquecida à fervura junto com outro cereal; resfriada a 60°C e sacarificada através de nova adição de malte de sorgo. A mistura é coada para remoção das partículas grossas e fermentada com *Sacharomyces cerevisiae* (42). O valor nutricional dessa cerveja é alto, com sabor e estabilidade iguais à produzida com milho (31, 42, 45).

#### c) Ração animal

A produção e o mercado para ração animal continuam sendo da maior importância para o grão de sorgo (30). Sob o ponto de vista prático, o sorgo como fonte de energia é comparado ao milho, na produção de ração, ocupando o segundo lugar dos cereais mais utilizados (16, 44). No Brasil, a sua maior utilização é como silagem para gado ou como grão na indústria de rações (40). Os componentes não amiláceos do grão de sorgo compreendem aproximadamente 1/3 de sua matéria seca. Este material inclui água de maceração, fibra, torta de germe e glúten, que são utilizados para fabricação de ração.

#### d) Usos industriais

A produção de álcool etílico é o mais antigo produto de fermentação do grão de sorgo (45). O sorgo sacarino, com

fonte de energia renovável para a obtenção de álcool, vem sendo pesquisado há pouco tempo no Brasil. Dentre as vantagens apontadas (16) para utilização do sorgo com esse objetivo, está a possibilidade do seu aproveitamento na já instalada infra-estrutura de produção de álcool a partir da cana.

Os usos industriais das farinhas de cereais têm aumentado muito nos últimos anos (45). As modernas técnicas de moagem permitem o processamento de produtos de sorgo de boa qualidade (31). O seu emprego vai desde as indústrias de construção até as de fundição, refinação de minerais, carvão, perfuração e de papéis (31, 45). O amido modificado de sorgo é muito empregado nas indústrias têxteis, de papel, de adesivo e também na indústria farmacêutica (45).

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

#### A. MATERIAIS

##### 1. Matéria Prima

Sorgo (*Sorghum bicolor*, pers.), das variedades CMS - XS 309 (híbrido) e BR 501 - R (sacarino) de endosperma branco, foi obtido no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - EMBRAPA (Sete Lagoas - MG) para realização deste trabalho.

##### 2. Reagentes

A pureza dos reagentes usados para as análises químicas neste estudo está de acordo com as especificações exigidas pelos métodos de análises.

##### 3. Aparelhos e equipamentos

Os aparelhos e equipamentos utilizados estão relacionados abaixo:

a) máquina classificadora e beneficiadora de arroz D'Andrea, tipo Compacta Junior, série 4, 930 rpm, com ajuste

manual das borrachas e sistema abrasivo de pedra carborundum.

- b) Moinho Erabender Quadrumat Senior.
- c) Determinador de unidade Brabender Semi-Automático.
- d) Homogeneizador Brabender.
- e) Forno de microondas Kenmore, 1.5 Kw, freq. 2450 MHz.
- f) Centrífuga - Carver Electrifuge, velocidade  $836 \pm 25$  rpm.
- g) Estufa de laboratório com circulação forçada de ar.
- h) Outros equipamentos e aparelhos comuns de laboratório.

## B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

### 1. Descascamento do sorgo

Os grãos de sorgo foram descascados na máquina classificadora e beneficiadora de arroz, passando apenas pelo sistema abrasivo de pedra carborundum por quatro vezes, isto é, mais ou menos um minuto de abrasão. Foram obtidas as seguintes frações: grão descascado, casca e grãos quebrados misturados com germe.

## 2. Obtenção do amido

### a) Extração

O amido foi obtido por extração úmida, com maceração dos grãos inteiros em solução de bissulfito de sódio 0,1% por 16 horas. Os grãos macerados foram então triturados em liquidificador. A massa obtida foi passada por pano de desossar queijo e lavada com água para separação das fibras e impurezas. A mistura de amido, água e fração protéica foi centrifugada a 2000 rpm por 10 minutos. O amido foi lavado com água destilada diversas vezes, para maior purificação.

### b) Secagem

O amido extraído foi colocado em bandejas de modo a formar uma camada fina, e levado à estufa de laboratório com circulação forçada de ar à temperatura de 40 - 45°C até a umidade atingir 10 - 13%. O amido da estufa foi revolvido diversas vezes para que a secagem fosse uniforme. O tempo de secagem foi de aproximadamente 16 horas.

## 3. Gelatinização do amido por microondas

### a) Condicionamento

Amostras de 500 g de amido (11% de umidade) foram col-

dicionados em água destilada à temperatura ambiente de  $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . O condicionamento foi feito com agitação constante de 30 rpm por 30 minutos. As unidades escolhidas foram 15, 20, 25, 30 e 40%.

b) Tratamento por radiação

As amostras condicionadas foram colocadas em placa de Petri, cujo tamanho era de 9,5 cm de diâmetro e 1 cm de altura. A placa de Petri foi única durante todo o experimento, com a finalidade de evitar alterações nos resultados devido à cor e espessura do vidro da placa. Foi mantida fechada para que houvesse a menor perda de umidade da amostra durante sua exposição à radiação. As amostras então, assim preparadas, foram colocadas sob radiação de microondas, uma por vez, para serem tratadas de acordo com as seguintes condições: a placa com material foi colocada no centro para que houvesse exposição uniforme do produto ao campo; a intensidade de potência em todos os casos foi a máxima fornecida pelo equipamento (1,5 Kw) e com frequência de 2450 megaciclos; os tempos de exposição à radiação das amostras foram de 30, 60, 120 e 180 segundos, controlados pelo próprio relógio do aparelho.

c) Secagem

Depois de submetidas à radiação, as amostras foram espalhadas em bandejas e colocadas em estufa com circulação for-

çada de ar à temperatura de 40 a 45°C por 17 a 18 horas, quando a umidade atingiu nível de 9 a 11%.

#### 4. Gelatinização do sorgo por microondas

##### a) Condicionamento

Para estabelecimento da curva de absorção de água, os grãos descascados foram macerados em água destilada à temperatura ambiente de 26 a 28°C sem agitação e troca de água. Da curva de absorção de água construída foram determinados os tempos de condicionamento para cada umidade escolhida. A quantidade de água adicionada para cada caso foi assim calculada:

$$\text{ml H}_2\text{O} = \left( \frac{100 - H_0}{100 - H_1} - 1 \right) m$$

onde: m = gramas de material

$H_0$  = umidade inicial do material

$H_1$  = umidade final desejada

##### b) Tratamento por radiação

As amostras condicionadas a níveis de umidade de 15, 20, 25 e 30% foram submetidas à radiação da mesma maneira utilizada no tratamento do amido. As condições para tratamento dos grãos de sorgo com microondas foram as resmas que para o

amido, com alteração apenas nos tempos de exposição à radiação. Os tempos de tratamento utilizados foram 30, 60 e 120 segundos. Em tempos maiores que esse houve queima da amostra.

c) Secagem

As amostras tratadas foram colocadas em bandejas e levadas à estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 40 a 45°C por 17 a 18 horas, quando a umidade atingiu valores de 9 a 11%.

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Perda de umidade

Após cada tratamento foi determinada a umidade para observar-se a perda de umidade durante o tratamento pelas amostras. A perda de umidade foi assim calculada:

$$PH = \frac{H_o - \frac{H_s \times M_s}{100 - H_s}}{H_o} \times 100$$

onde: Hs - umidade de saída da amostra após tratamento, em porcentagem;

Ms - peso em gramas de matéria seca da amostra inicial;

PH - perda de umidade, em porcentagem;

Ho - umidade inicial da amostra antes do tratamento.

## 2. Determinação da viscosidade

A determinação da viscosidade foi feita no viscoamílógrafo Brabender. A concentração das amostras foi 40 g (base de seca) de material em 450 ml de água destilada. A temperatura inicial foi de 25°C, sendo aumentada 1,5°C por minuto, até atingir a temperatura máxima de 95°C. Permanece a 95°C por 20 minutos que é chamado ciclo de temperatura constante. Então, a temperatura começa a diminuir 1,5°C por minuto até temperatura final de 30°C. Este é o ciclo de resfriamento.

Do amilograma, que é o registro do tempo contra a viscosidade, pode-se obter as seguintes informações:

i. Temperatura inicial da pasta : é a temperatura em °C correspondente ao ponto da curva onde o aumento de viscosidade atingiu 20 unidades, no ciclo de aquecimento;

ii. Temperatura de viscosidade máxima : corresponde à temperatura na qual a viscosidade tem seu valor máximo durante o aquecimento;

iii. Viscosidade máxima : é o valor da máxima viscosidade alcançada durante o aquecimento;

iv. Viscosidade mínima à temperatura constante de 95°C: é o valor mínimo da viscosidade quando a temperatura está a 95°C;

v. Viscosidade final a 50 e 30°C : corresponde ao valor da viscosidade quando a temperatura chega a 50 e 30°C, no ciclo de resfriamento.

### 3. Amido danificado

A porcentagem de amido danificado é determinada pelo método de Sandstedt (35), com 1 e 2 horas de digestão, utilizando  $\alpha$ -amilase de origem bacteriana com atividade de 160 SKB. A porcentagem de amido danificado é dada por extrapolação desses dois pontos para o tempo zero de digestão.

### 4. Suscetibilidade enzimática

O método utilizado foi o descrito por Sullivan & Johnson (39). Os grânulos de amido danificados pela ação da temperatura no aquecimento com microondas são mais suscetíveis ao ataque da enzima  $\alpha$ -amilase do que os grânulos inteiros. O procedimento nesta análise foi: 1 g de amostra é suspenso em 40 ml de tampão acetato (pH 4,6 - 4,8) e adicionados

6 ml de enzima  $\alpha$ -amilase (de origem bacteriana, obtida do laboratório OKOSHI) com atividade de 160 SKB. Esta suspensão foi incubada a 30°C com agitação constante, por 96 horas. Uma amostra foi retirada cada 24 horas. A enzima foi inativada com 2 ml de solução de ácido sulfúrico 3,58M e 2 ml de solução de tungstato de sódio 12%. Após a filtração da amostra tomou-se uma alíquota de 5 ml do filtrado e adicionou-se 10ml de solução de ferricianeto 0,1 M. Os açúcares redutores produzidos foram expressos como porcentagem de maltose e determinados pelo método do ferricianeto.

#### 5. Grau de hidrólise

O grau de hidrólise com  $\alpha$ -amilase é determinado quando a curva de suscetibilidade enzimática atinge um patamar estável, isto é, quando a produção dos açúcares redutores mantém-se numa taxa constante.

#### 6. Índices de solubilidade e absorção de água

O índice de absorção (WAI) é o peso do gel obtido por grama de amostra, em base seca. O índice de solubilidade (WSI) é a quantidade de sólidos na água por grama de amostra, em base seca. O método utilizado para esta análise foi

descrito por Anderson et all (2): 1 g de amostra (base seca), com tamanho da partícula menor que 60 mesh, é suspenso em 30 ml de água destilada, em um tubo de centrifuga de 50 ml previamente tarado. A suspensão é mantida sob agitação constante por 30 minutos à temperatura de 30°C, e então, centrifugada a 3000 rpm por 10 minutos. Do sobrenadante retira-se uma alíquota de 10 ml, que é colocada em placa de Petri tarada e levada a estufa com circulação forçada de ar a 105°C para evaporação total da água. Os sólidos que ficaram na placa são pesados. O resto do sobrenadante é descartado e determinado o peso do resíduo sólido.

O índice de absorção é assim expresso:

$$WAI = \frac{\text{peso do gel}}{\text{peso amostra} \times (100 - WSI)} \times 100$$

E o índice de solubilidade é dado pela seguinte equação:

$$WSI = \frac{\text{peso dos sólidos}}{\text{peso amostra}} \times 100 \times f$$

onde f é o fator de correção do volume, que neste caso é igual a 3.

## 7. Umidade

As umidades menores que 16% foram determinadas no Determinador Automático de Umidade Brabender a 130°C por 1 hora. As umidades maiores que 16% foram determinadas em estufa com circulação forçada de ar a 105°C por 24 horas.

## 8. Cinza

O teor de cinza foi determinado através de calcinação das amostras a 600°C por 4 horas, segundo método descrito na AACC número 08 - 03 (1).

## 9. Fibra

Para esta análise utilizou-se o método de Kamer & Ginkel (21).

## 10. Gordura

Esta análise foi feita segundo método na AACC número 30 - 20 (1).

## 11. Proteína

Determinou-se o nitrogênio total pelo método de Kjeldahl descrito no manual da AACC número 46 - 12 (1). O teor de proteína total é dado pela multiplicação do nitrogênio total pelo fator 6,25.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram estudados os efeitos do tratamento por microondas na gelatinização dos produtos obtidos de sorgo. Estes efeitos foram avaliados através de análises do material. A caracterização da matéria-prima e os resultados do tratamento por microondas do grão descascado e amido estão apresentados a seguir.

##### A. CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA-PRIMA

Grão descascado e amido de sorgo foram utilizados como matéria-prima para estudar o processo de gelatinização pelo tratamento com radiação de microondas através de análises químicas e físicas dos produtos obtidos. As especificações da matéria-prima estão descritas abaixo.

##### 1. Caracterização do grão de sorgo

As características do grão de sorgo foram determinadas através da avaliação da composição química, rendimento no descascamento, características de gelatinização e retrogradação, amido danificado, suscetibilidade enzimática e índices

de solubilidade e absorção de água.

a) Composição química

A composição química dos grãos integral e descascado das duas variedades utilizadas neste trabalho (CMS - XS 309 e ER 501 - R) está apresentada na tabela I. O rendimento no descascamento para a variedade CMS-XS 309 foi de 80%, enquanto que a variedade BR 501-R teve 75% de rendimento. A variedade utilizada para tratamento do sorgo descascado foi a BR 501-R e suas características estão expostas logo a seguir.

b) Características de gelatinização e retrogradação do grão descascado

As características de gelatinização e retrogradação para o grão descascado estão apresentadas na tabela II.

A temperatura inicial de gelatinização foi 76°C. Quando a temperatura atingiu 88°C, a viscosidade chegou ao máximo de 200 U.A., permanecendo nesse valor durante todo período de temperatura constante a 95°C. Durante o ciclo de resfriamento a viscosidade aumentou até um valor máximo de 840 U.A., na temperatura final de resfriamento de 30°C. Este aumento de viscosidade é devido à retrogradação.

A análise de regressão linear na faixa de retrogradação está mostrada na tabela III. O amilograma mostrou a existência de duas fases na retrogradação, sendo que a primeira

TABELA I

Composição química do sorgo, expressa em porcentagem de base seca

Componente	Variedade			
	CMS-XS 309		BR 501 - R	
	Integral	Descascado	Integral	Descascado
Proteína (N x 6,25)	10,97	8,12	10,14	8,94
Gordura (éter sulfúrico)	4,75	1,07	4,08	3,78
Cinza	1,94	0,66	2,11	0,39
Fibra	2,67	0,58	2,94	0,25
Carboidrato <sup>1</sup>	79,13	89,53	80,73	86,64

<sup>1</sup>por diferença

TABELA II

Características de gelatinização e retrogradação  
do sorgo descascado

Características	Valor
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	76
Viscosidade máxima (U.A.)	200
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	88
Viscosidade mínima a 95°C	200
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento a 50°C (U.A.)	720
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento a 30°C (U.A.)	840

TABELA III

Análise de regressão linear na faixa de retrogradação do sorgo descascado

Fase	Temperatura em °C Inicial	Temperatura em °C final	Viscosidade ã temp. final (U.A.)	Equação da reta	Coefficien- te de cor- relação
1 <sup>a</sup>	77,0	63,5	528	$Y = -20,7x + 1841,3$	0,995
2 <sup>a</sup>	53,0	30,0	865	$Y = - 7,0x + 1073,9$	0,978

tem temperatura inicial de  $77,0^{\circ}\text{C}$  e final de  $63,5^{\circ}\text{C}$ , enquanto que a temperatura inicial da segunda fase é  $53,0$  e a final é  $30,0^{\circ}\text{C}$ . A taxa de retrogradação nas duas fases foi analisada por regressão linear (figura 1). A primeira fase apresentou coeficiente de correlação de  $0,995$  e o da segunda fase foi de  $0,978$ . Tendo a segunda fase coeficiente angular menor que o da primeira, indica que a retrogradação é menos pronunciada na segunda fase. Quando a temperatura vai se aproximando da temperatura ambiente de  $30^{\circ}\text{C}$ , a taxa de retrogradação diminui. Isto é explicado pelo aumento do tamanho das moléculas, dificultando a associação entre si. A área de superfície das moléculas disponível para associação fica menor, diminuindo os pontos de ligação entre elas.

#### c) Amido danificado

A porcentagem de amido danificado para o grão de sorgo sem tratamento foi de  $0,4\%$  de maltose. Este resultado pode ser considerado normal.

#### d) Suscetibilidade enzimática

A liberação de maltose na presença de  $\alpha$ -amilase está apresentada na figura 2. Como o grânulo de amido não sofreu nenhuma modificação, o ataque da enzima foi muito limitado, isto é, com baixa produção de maltose. Após 72 horas, a taxa de produção de maltose foi constante, com valor de  $12,8\%$ .

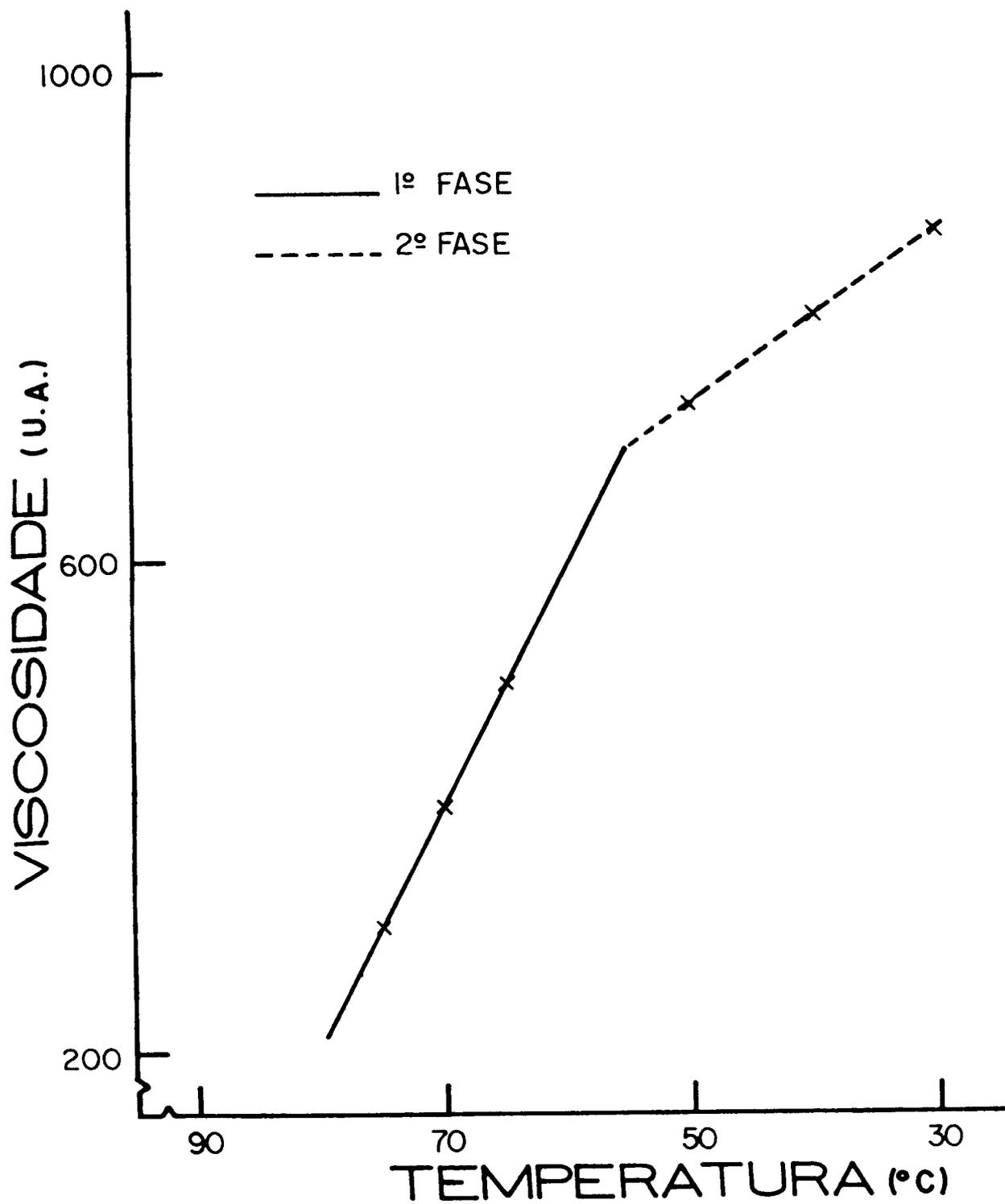


FIGURA 1: Efeito da diminuição de temperatura sobre a viscosidade da farinha de sorgo descascado, no ciclo de resfriamento.

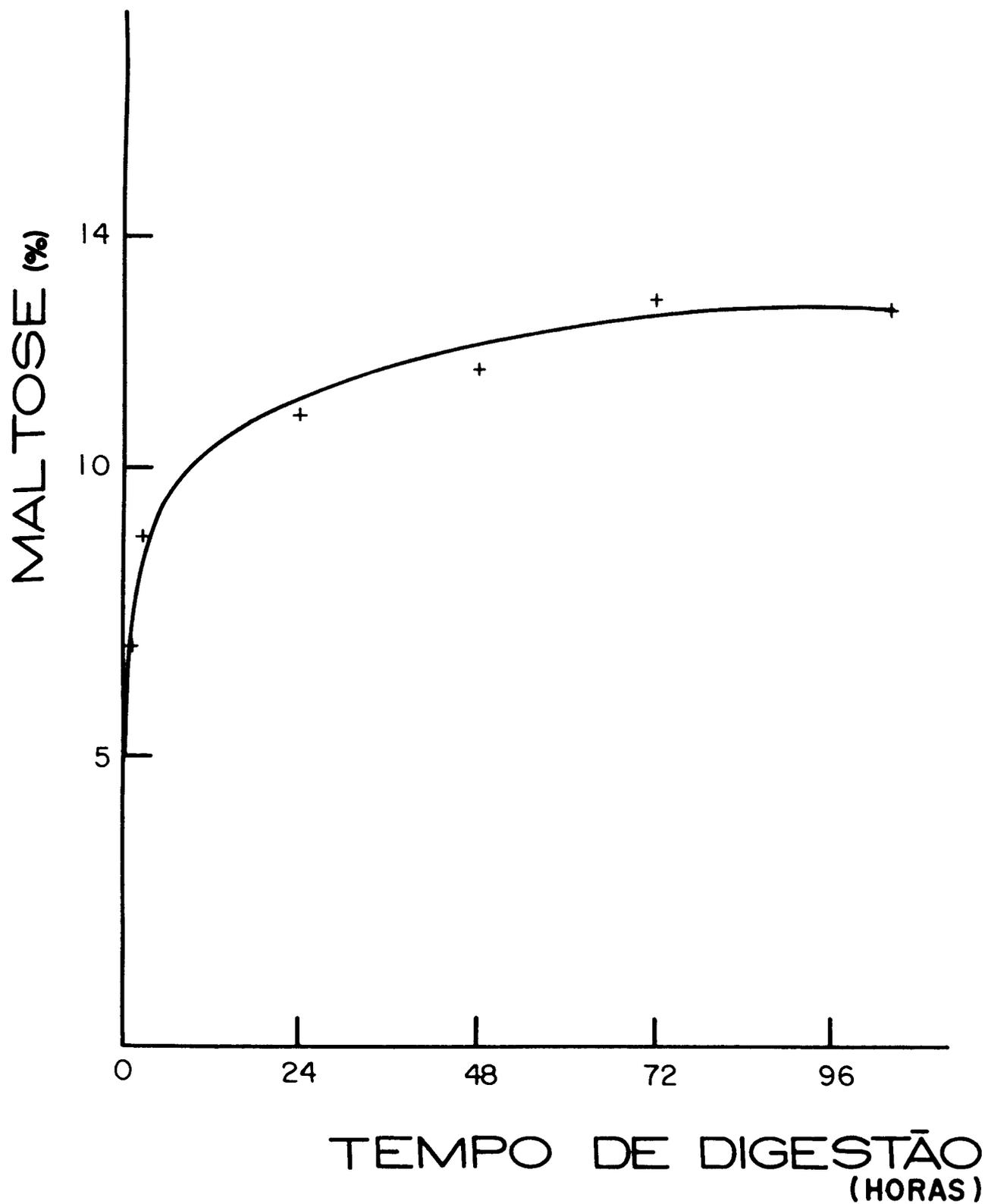


FIGURA 2: Suscetibilidade enzimática da farinha de sorgo descascado.

e) Índices de solubilidade e absorção de água

O índice de solubilidade para o grão descascado foi de 0,59 enquanto que o de absorção de água foi de 2,95. Estes valores são considerados normais em vista do material não ter sofrido qualquer modificação.

2. Caracterização do amido

O amido utilizado neste estudo foi extraído somente da variedade CMS - XS 309. A caracterização do amido está apresentada abaixo.

a) Grau de pureza

Os resultados do grau de pureza estão apresentados na tabela IV. O material não amiláceo corresponde a 1,11% (base seca) e este valor está dentro dos padrões obtidos na literatura.

b) Características de gelatinização e retrogradação

As características de gelatinização e retrogradação estão mostradas na tabela V. A temperatura inicial de gelatinização foi de 68°C. A viscosidade máxima no aquecimento atingiu valor de 720 U.A. na temperatura de 83°C. No período

## TABELA IV

Grau de pureza do amido, expressa em porcentagem  
de base seca

Componente	Valor
Proteína (N x 6,25)	0,53
Gordura (éter sulfúrico)	0,36
Cinza	0,14
Fibra	0,08

TABELA V

Características de gelatinização e retrogradação  
do amido

Características	Valor
Temperatura inicial de gelatinização ( $^{\circ}\text{C}$ )	68
Viscosidade máxima (U.A.)	720
Temperatura de viscosidade máxima (U.A.)	83
Viscosidade mínima a $95^{\circ}\text{C}$ (U.A.)	460
Viscosidade máxima no resfriamento a $50^{\circ}\text{C}$ (U.A.)	1000
Viscosidade máxima no resfriamento a $30^{\circ}\text{C}$ (U.A.)	1320

de temperatura constante a  $95^{\circ}\text{C}$ , a viscosidade teve valor mínimo de 460 U.A. Durante o ciclo de resfriamento a viscosidade aumentou até a máxima de 1320 U.A., na temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$ , devido à retrogradação.

A análise de regressão linear na faixa de retrogradação do amido está mostrada na tabela VI. Também o amido se caracteriza por ter duas fases na retrogradação (figura 3). A primeira fase tem temperatura inicial de  $82,3^{\circ}\text{C}$  e final de  $71,0^{\circ}\text{C}$ , enquanto que a segunda tem temperatura inicial de  $66,5^{\circ}\text{C}$  e final de  $30,0^{\circ}\text{C}$ . O coeficiente de correlação da primeira fase é de 0,998 e o da segunda é 0,979. O coeficiente angular da segunda fase é menor que o da primeira fase indicando menor taxa de retrogradação para a segunda fase. Esta diminuição na taxa de retrogradação é atribuída ao aumento de tamanho das moléculas, dificultando a associação entre elas.

c) Amido danificado

O amido sem tratamento utilizado neste experimento tem 0,7 % de amido danificado. Apesar de ser baixo, este valor é considerado normal e atribuído à quebra de alguns grânulos durante a extração do amido.

d) Suscetibilidade enzimática

A suscetibilidade enzimática do amido à  $\alpha$ -amilase está na figura 4. Após 72 horas de digestão, a produção de mal-

TABELA VI

Análise de regressão linear na faixa de retrogradação para o amido.

Fase	Temperatura em °C inicial	Temperatura em °C final	Viscosidade à temp. final (U.A.)	Equação da reta	Coefficien te de cor relação
1 <sup>a</sup>	82,3	71,0	883	$y = -33,7x + 3277,5$	0,998
2 <sup>a</sup>	66,5	30,0	1296	$y = -12,4x + 1667,5$	0,978

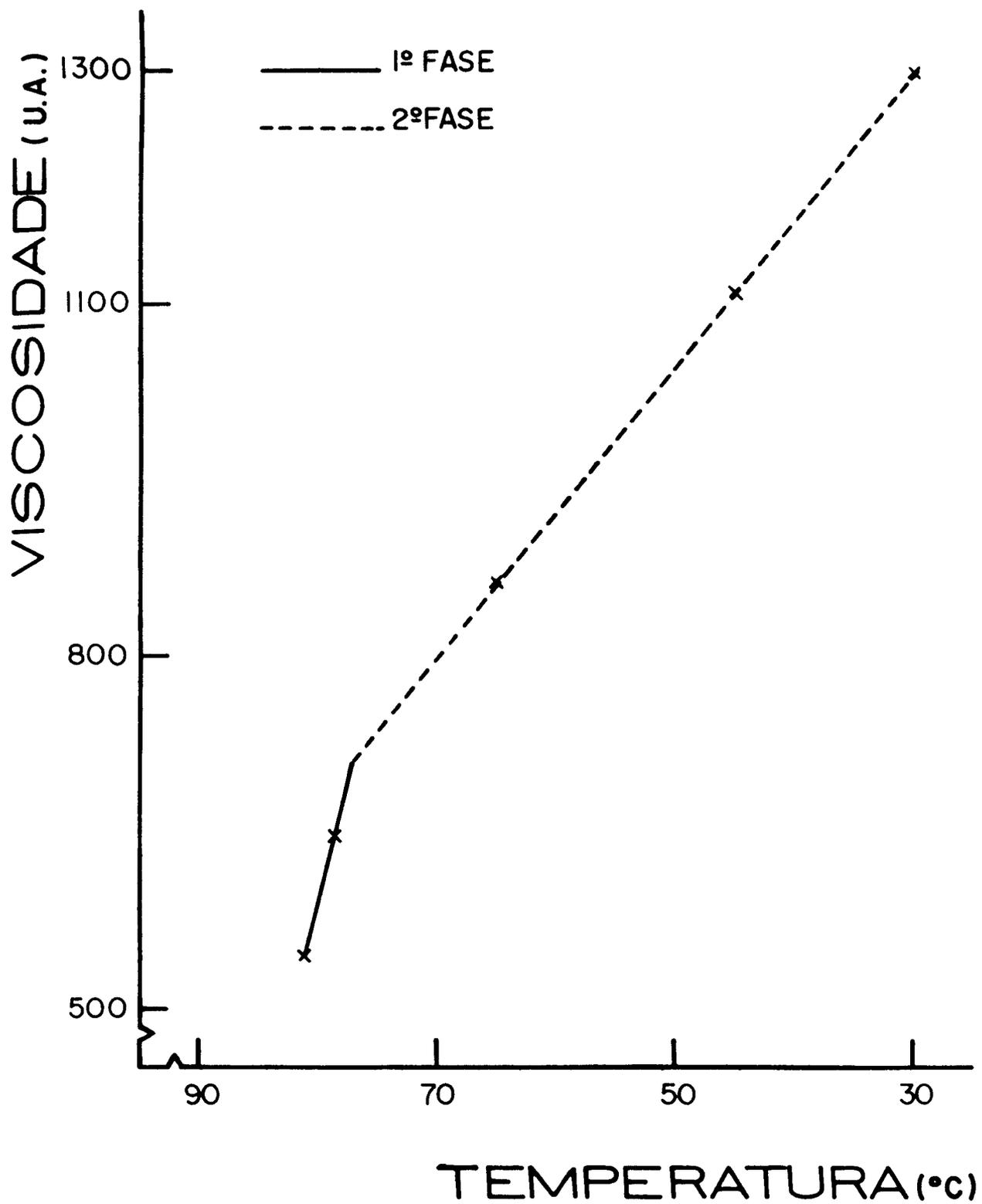


FIGURA 3: Efeito da diminuição de temperatura sobre a viscosidade do amido de sorgo, no ciclo de resfriamento.

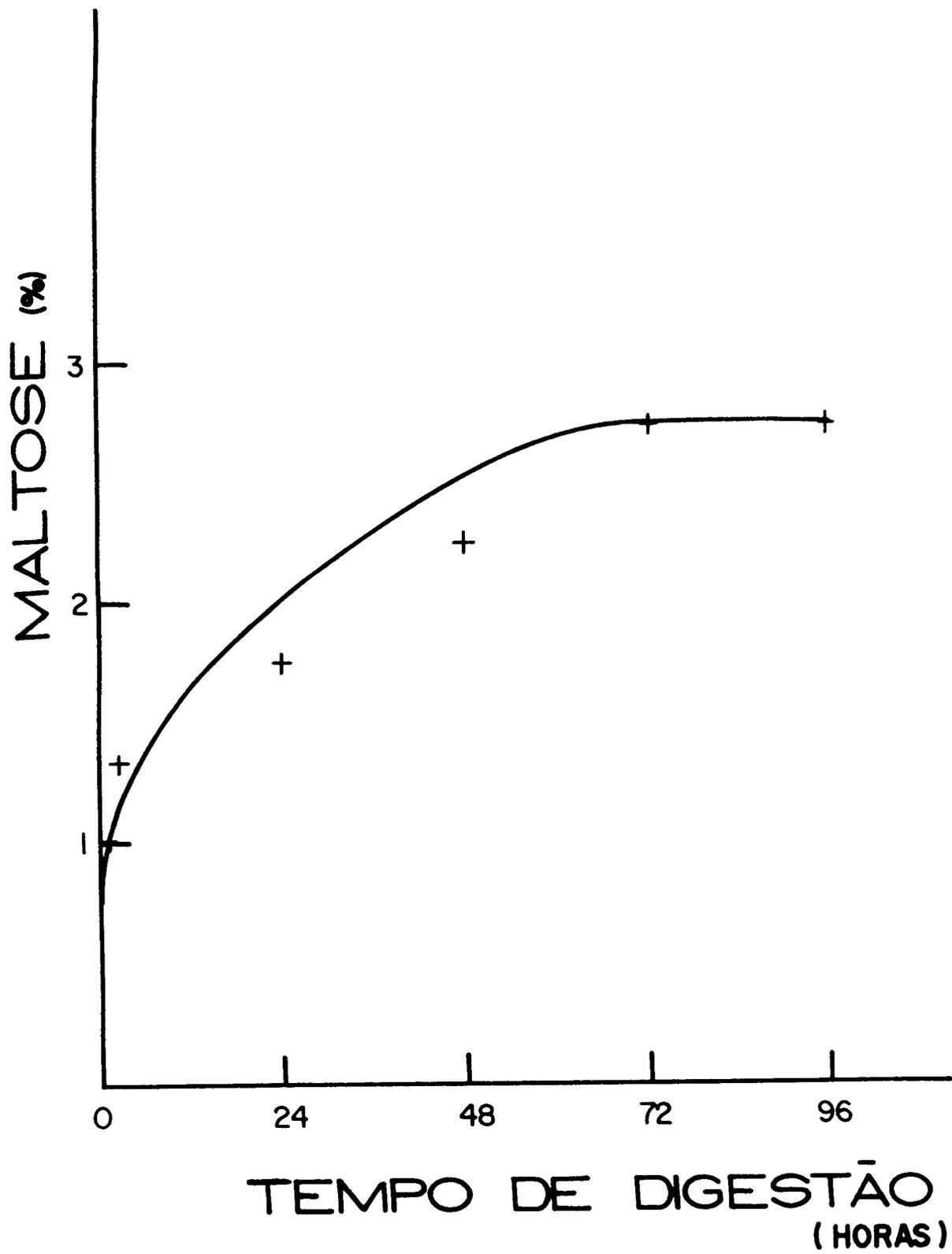


FIGURA 4: Suscetibilidade enzimática para o amido de sorgo.

tose atingiu nível constante de 2,8%. O nível de produção de maltose para o amido foi mais baixo do que para o grão descascado porque durante a extração, muitos dos açúcares foram removidos na água de lavagem de purificação do amido.

e) Índices de solubilidade e absorção de água

Os valores dos índices de solubilidade e absorção de água para o amido foram 0,02 e 1,88 respectivamente. São considerados normais em vista do amido não ter sofrido alguma modificação.

D. EFEITO DA UMIDADE E TEMPO DE TRATAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS DE GELATINIZAÇÃO DO AMIDO

A influência da umidade e do tempo de radiação são dois parâmetros básicos para a gelatinização de um material. Apesar da intensidade de potência ser também um fator crítico, foi mantida constante.

Para estudar o efeito da umidade e do tempo de tratamento por microondas nas características de gelatinização do amido foram feitas as seguintes análises: perda de umidade durante o tratamento, características da pasta através de viscoamilograma, amido danificado, suscetibilidade enzimática, grau de hidrólise e índices de solubilidade e absorção de água. Os resultados obtidos estão descritos abaixo.

## 1. Perda de umidade

Os resultados da perda de umidade durante o tratamento com microondas nas amostras de amido, com umidade de 15 a 40% e tempo de exposição à radiação variando de 30 a 180 segundos estão apresentados na tabela VII. A figura 5 mostra o efeito do tempo de tratamento na perda de umidade das amostras com uma correlação linear para todos os níveis de umidade testados. Quanto mais tempo as amostras ficaram expostas à radiação, maior foi a umidade perdida durante o tratamento. Isto é devido à maior evaporação da água livre. O efeito do tempo de tratamento foi mais significativo do que o da umidade. À medida que a umidade das amostras foi aumentada, pouca variação houve na perda de umidade das amostras.

## 2. Características da pasta

As características de gelatinização e retrogradação da pasta de amido de sorgo foram estudadas através de avaliação dos amilogramas apresentados nas figuras 6, 7, 8 e 9 para tempos de tratamento de 30, 60, 120 e 180 segundos e umidades de 15, 20, 25 e 30%.

O efeito da umidade na temperatura inicial de gelatinização está apresentado na tabela VIII. A temperatura inicial de gelatinização permaneceu aproximadamente constante e

TABELA VII

Efeito do tempo de tratamento na perda de umidade durante tratamento com microondas nas amostras de amido, a várias umidades

Umidade do amido (%)	Tempo de tratamento (%)	Perda de umidade (%)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
15	30	16,8	$y = 0,4x + 6,3$	0,996
	60	27,1		
	120	53,3		
	180	70,2		
20	30	17,7	$y = 0,4x + 8,4$	0,991
	60	33,6		
	120	60,9		
	180	77,6		
25	30	18,1	$y = 0,4x + 9,8$	0,978
	60	32,0		
	120	61,7		
	180	72,2		
30	30	27,0	$y = 0,4x + 13,3$	0,992
	60	31,1		
	120	59,6		
	180	79,3		
40	30	25,8	$y = 0,3x + 13,9$	0,993
	60	30,3		
	120	55,7		
	180	73,0		

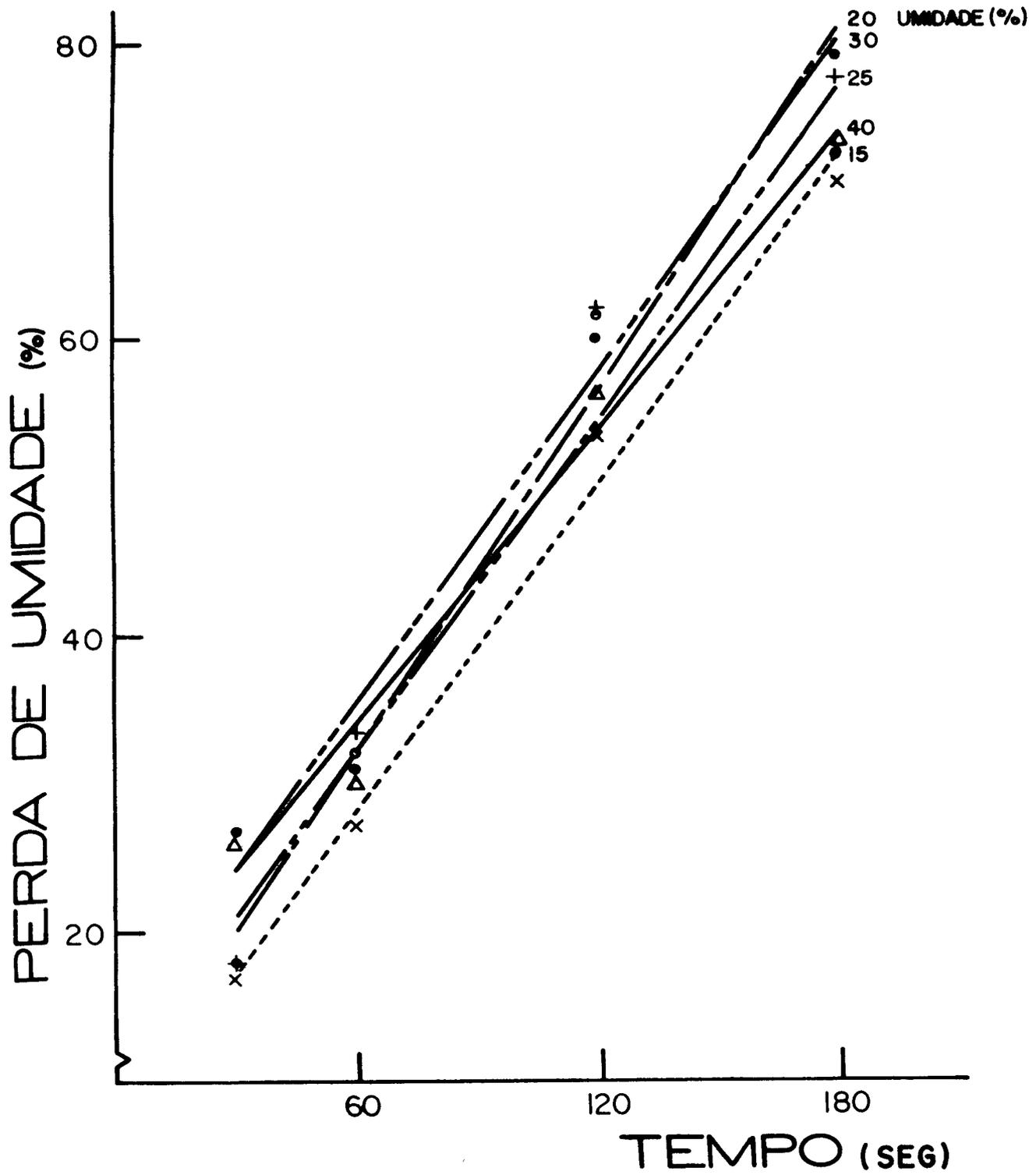


FIGURA 5: Efeito do tempo de tratamento na perda de umidade, do amido tratado com microondas, à vários níveis de umidade.

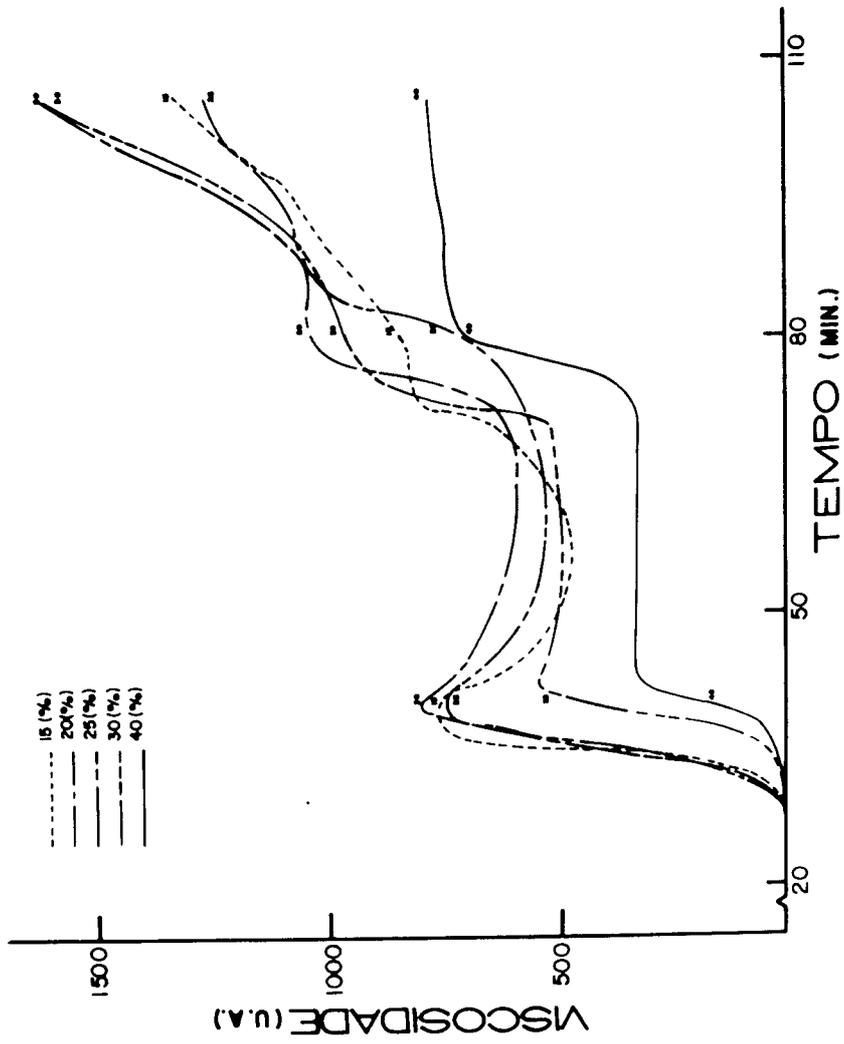


FIGURA 6: Viscosimilograma do amido tratado com microondas, por 30 segundos, a vários níveis de umidade.

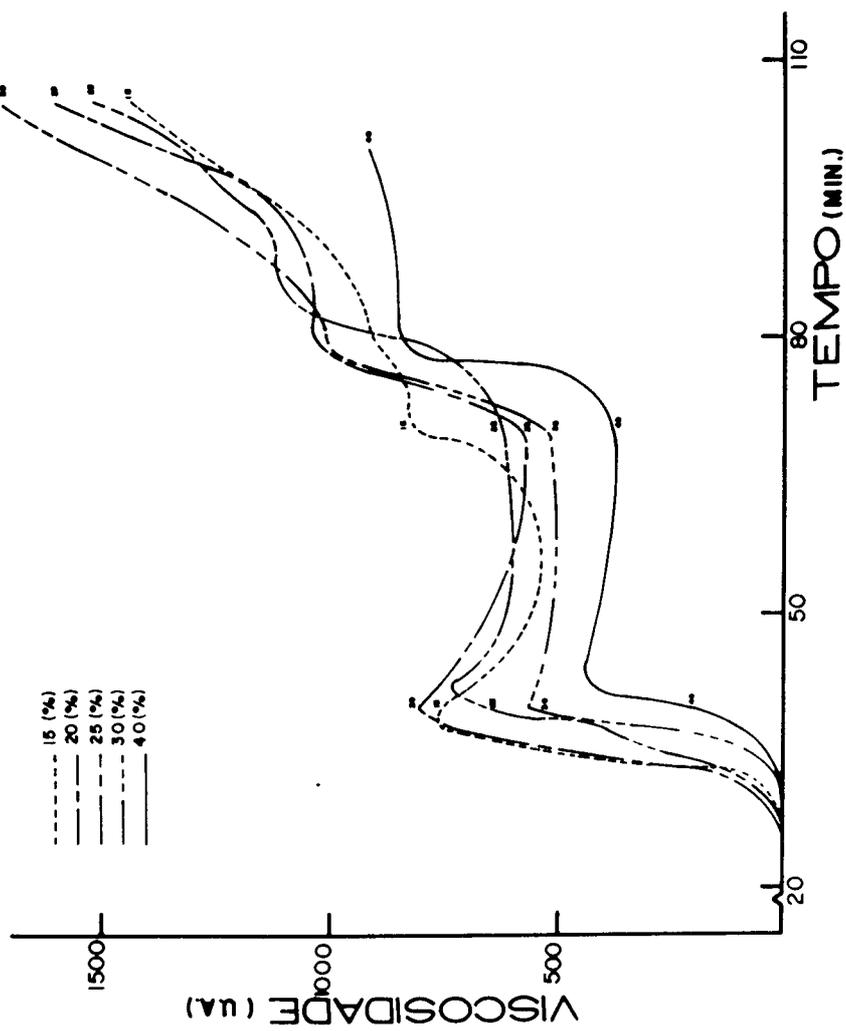


FIGURA 7: Viscosimilograma do amido tratado com microondas, por 60 segundos, a vários níveis de umidade.

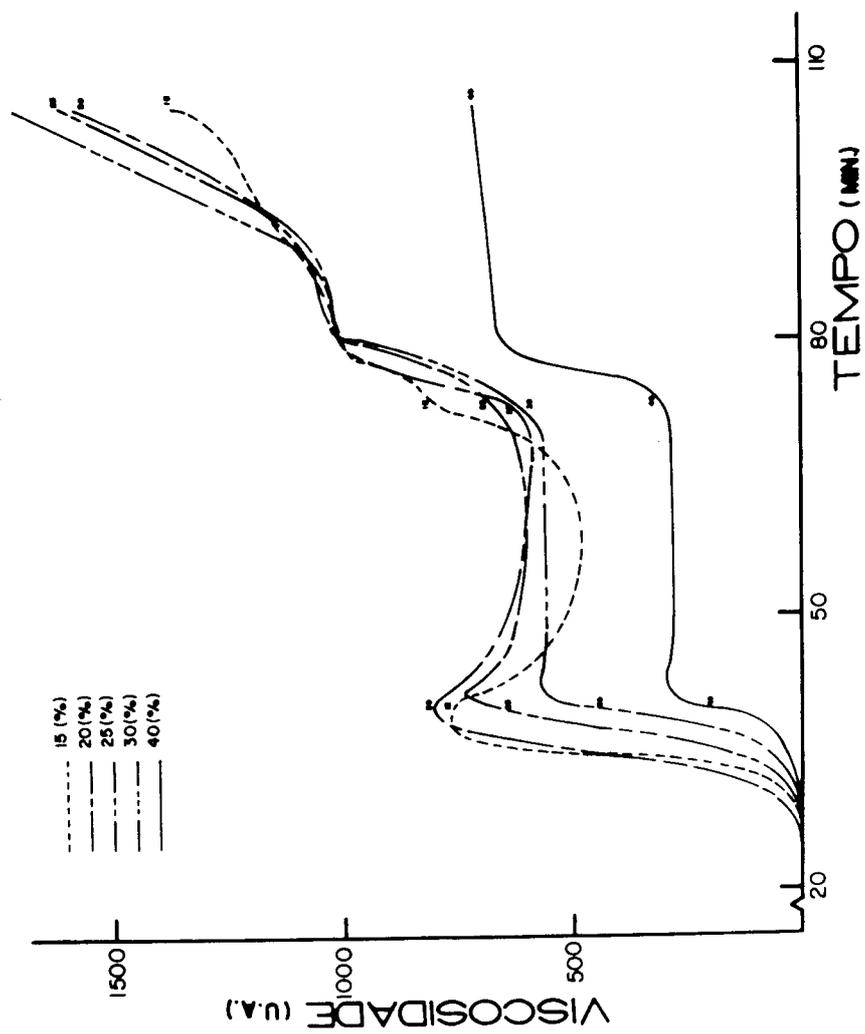


FIGURA 8: Viscosimetrograma do amido tratado com microondas, por 120 segundos, a vários níveis de umidade.

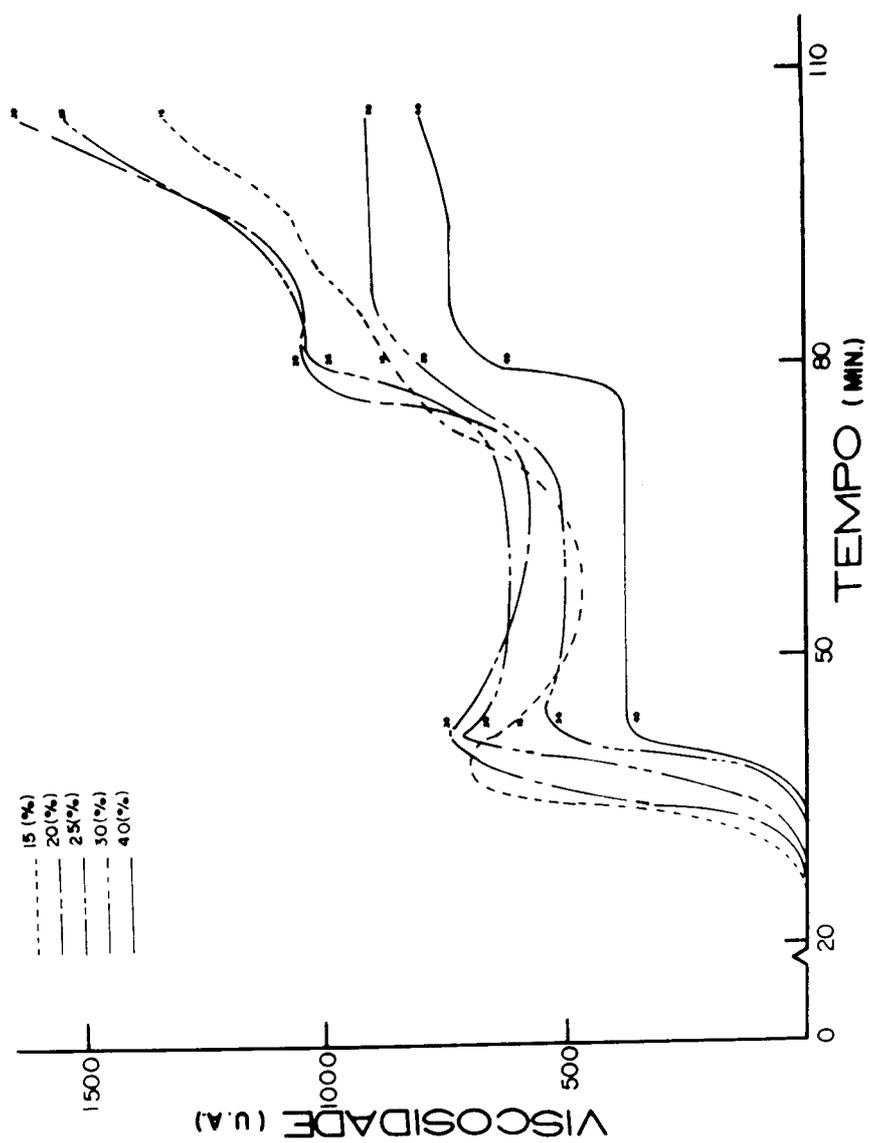


FIGURA 9: Viscosimilograma do amido tratado com microondas, por 180 segundos, a vários níveis de umidade.

TABELA VIII

Efeito da umidade na temperatura inicial de gelatinização para vários tempos de tratamento, com microondas nas amostras de amido

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do amido (%)	Temperatura inicial de gelatiniz. (%)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
0	controle	67,8		
30	15	68,5	$y = 0,2x + 65,4$	0,785
	20	68,5		
	25	68,5		
	30	73,0		
	40	72,0		
60	15	68,5	$y = 0,2x + 65,3$	0,720
	20	68,5		
	25	68,5		
	30	74,0		
	40	72,0		
120	15	68,5	$y = 0,4x + 61,9$	0,981
	20	68,5		
	25	71,5		
	30	73,0		
	40	77,5		
180	15	68,5	$y = 0,3x + 63,3$	0,965
	20	68,5		
	25	72,0		
	30	72,0		
	40	76,0		

próxima ao controle para as umidades mais baixas. Somente nas umidades de 25 a 40% é que houve aumento significativo, principalmente quando o tempo de exposição foi maior do que 60 segundos (figura 10). Os valores para a temperatura de viscosidade máxima estão na tabela IX. A temperatura de viscosidade máxima foi aumentando tanto para umidades mais elevadas como também para tempos de exposição maiores (figura 11). Isso indica que o tratamento com microondas possivelmente fortalece as ligações intra e intermoleculares do grão e, consequentemente, aumenta a energia necessária para romper os grânulos.

O efeito da umidade nas viscosidades durante ciclos de aquecimento, temperatura constante e resfriamento para vários tempos de tratamento está colocado na tabela X. A viscosidade máxima (figura 12) no aquecimento teve seus valores pouco aumentados até umidade de 20%, para todos os tempos de tratamento em questão. Nas umidades maiores houve decréscimo na viscosidade. A viscosidade mínima à temperatura constante de 95°C teve pouco aumento até umidade atingir 20%, quando então diminuiu para todos os tempos de tratamento estudados (figura 13). Com a diminuição da viscosidade nas umidades de 30-40% ocorreu maior rompimento do grânulo de amido. Isso indica que para se obter maior gelatinização é necessário aumentar o conteúdo de umidade.

No resfriamento, a viscosidade máxima a 30°C (figura 14) aumentou gradualmente até umidade de 25 a 30% e apresentou

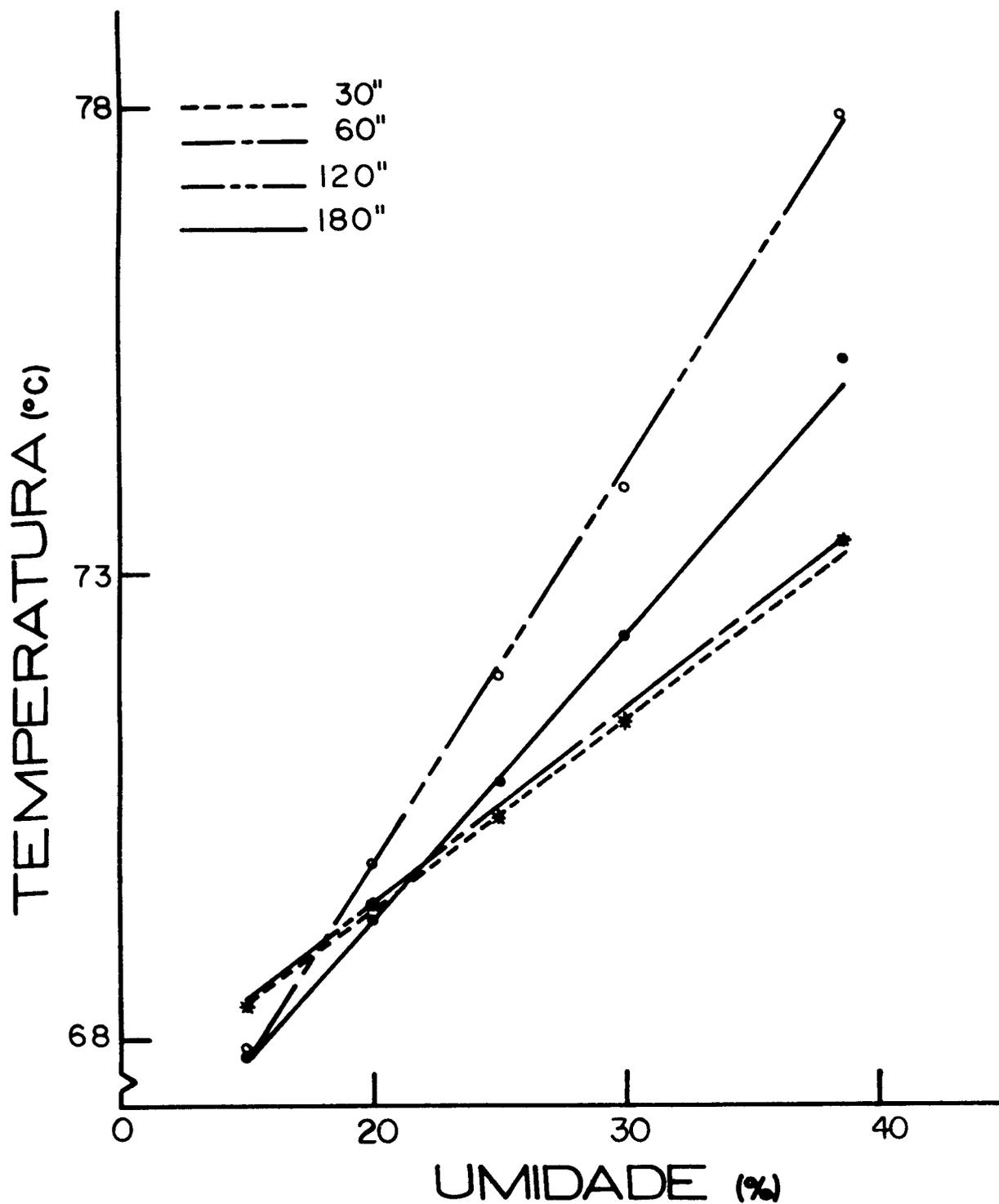


FIGURA 10: Efeito da umidade na temperatura inicial de gelatinização, do amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

TABELA IX

Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máxima, durante o ciclo de aquecimento, para vários tempos de tratamento com microondas nas amotras de amido

Tempo de tratamento (seg)	Umidade do amido (%)	Temp. de viscosidade máx. (°C)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
0	controle	82,8		
30	15	83,5	$y = 0,3x + 80,1$	0,961
	20	85,0		
	25	86,5		
	30	88,8		
	40	89,5		
60	15	83,5	$y = 0,3x + 80,4$	0,957
	20	85,8		
	25	88,0		
	30	88,8		
	40	90,3		
120	15	83,5	$y = 0,3x + 80,5$	0,958
	20	85,8		
	25	88,0		
	30	88,0		
	40	90,3		
180	15	84,3	$y = 0,2x + 81,8$	0,931
	20	86,5		
	25	88,8		
	30	88,8		
	40	90,3		

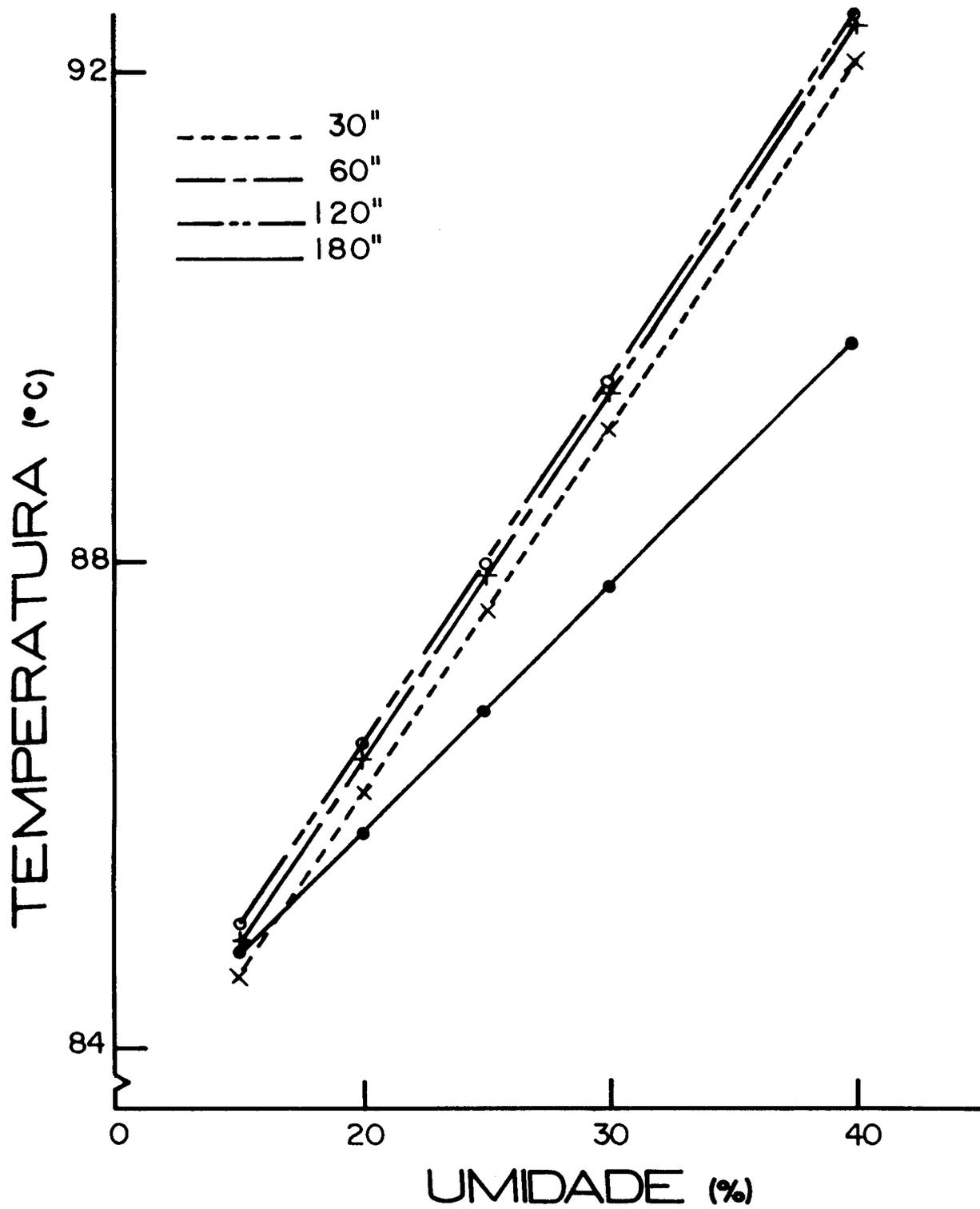


FIGURA II: Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máxima, do amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

TABELA X

Efeito da umidade na viscosidade durante os ciclos de aquecimento, de temperatura constante e de resfriamento para vários tempos de tratamento, com microondas nas amostras de amido

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do amido (%)	Viscosidade máx. no aquecimento (U.A.)	Viscosidade min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade máx. no resfriamento (U.A.)
controle	11	720	460	1320
30	15	770	470	1400
	20	790	600	1640
	25	760	540	1400
	30	560	500	1600
	40	340	320	780
60	15	770	520	1420
	20	790	600	1560
	25	730	600	1540
	30	560	520	1700
	40	460	380	900
120	15	760	480	1400
	20	790	600	1560
	25	730	600	1640
	30	580	540	1700
	40	300	280	700
180	15	680	480	1300
	20	790	620	1560
	25	710	600	1560
	30	560	520	1700
	40	360	380	780

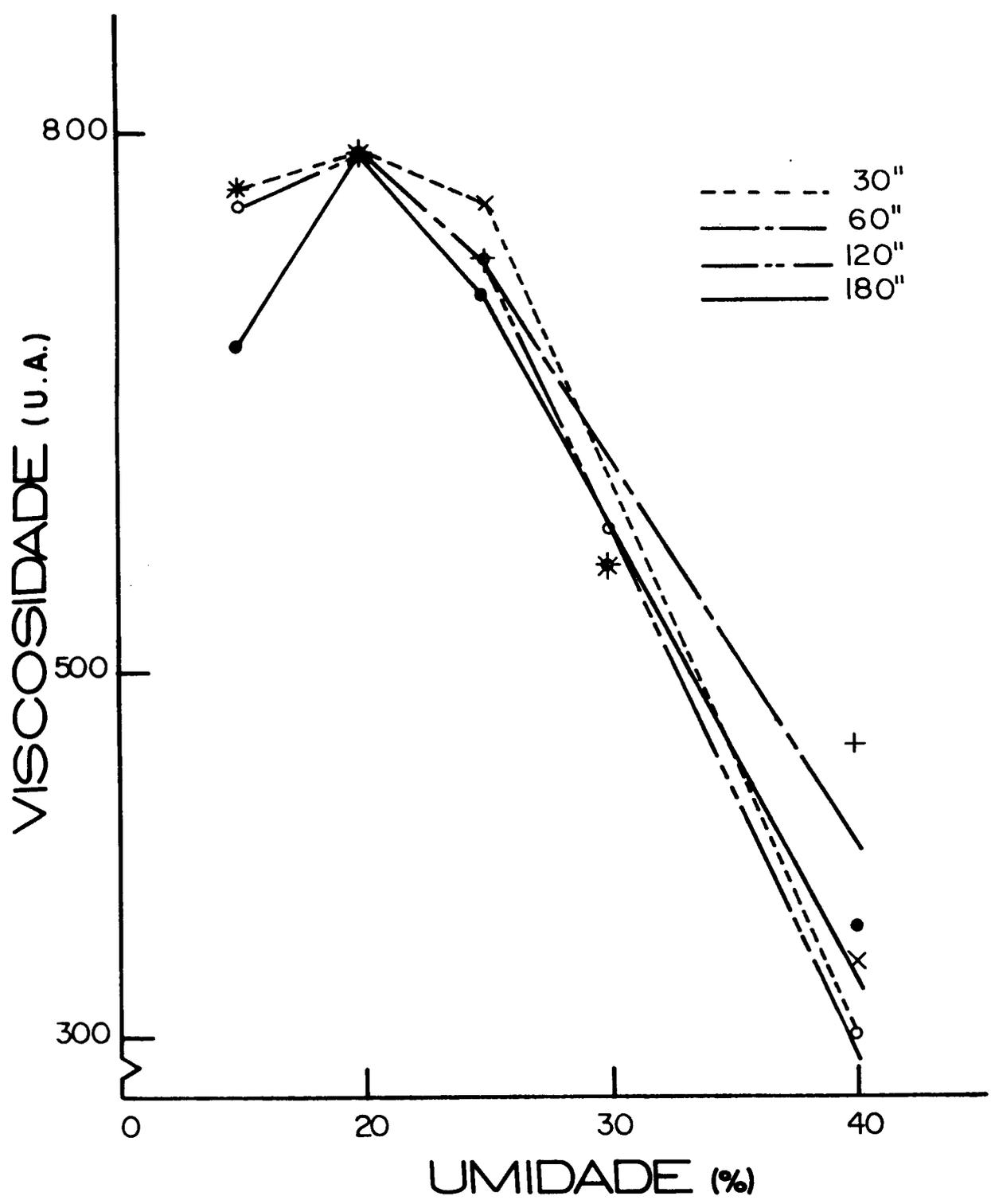


FIGURA 12: Efeito da umidade na viscosidade máxima de aquecimento, do amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

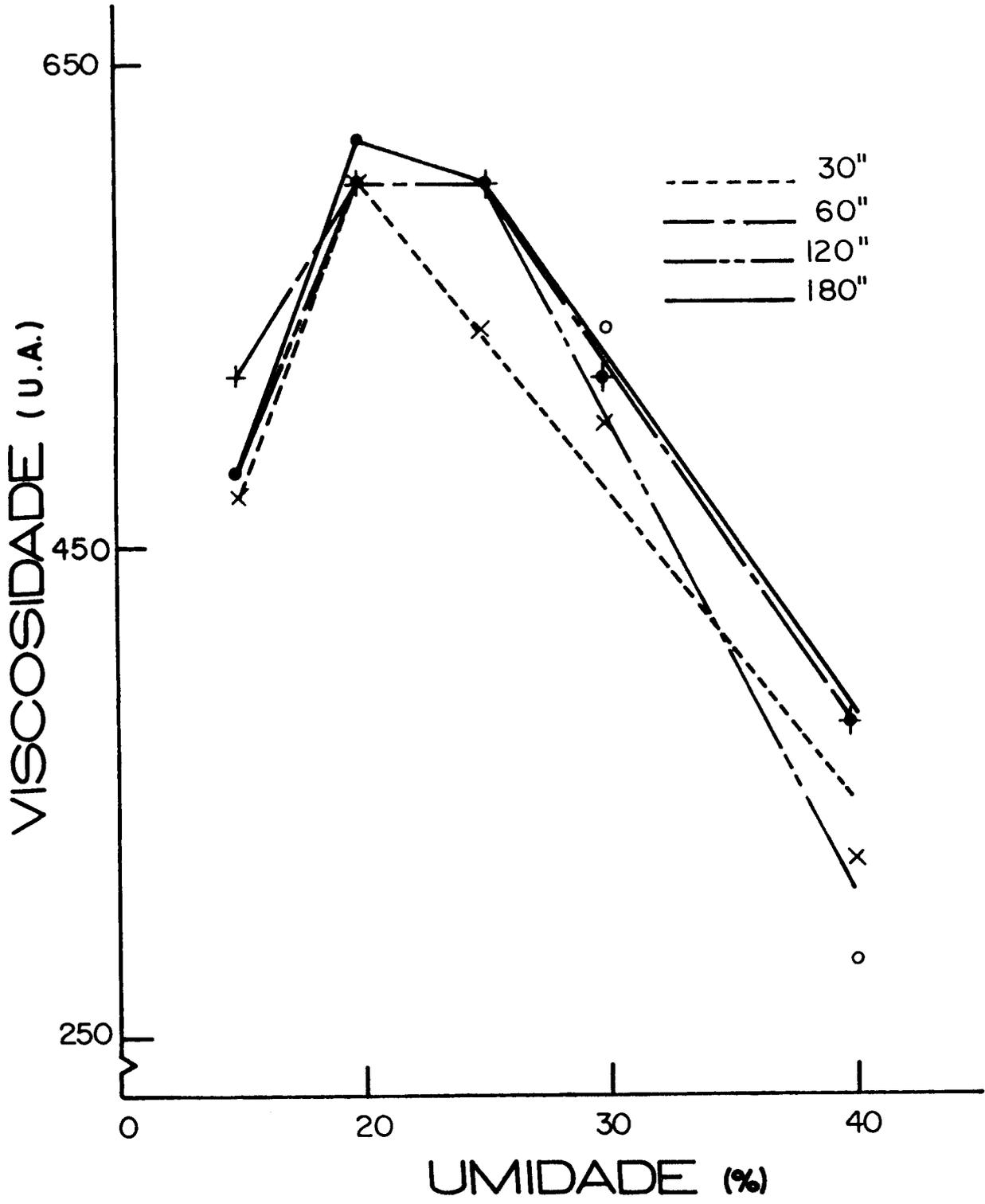


FIGURA 13: Efeito da umidade na viscosidade mínima a 95°C, do amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

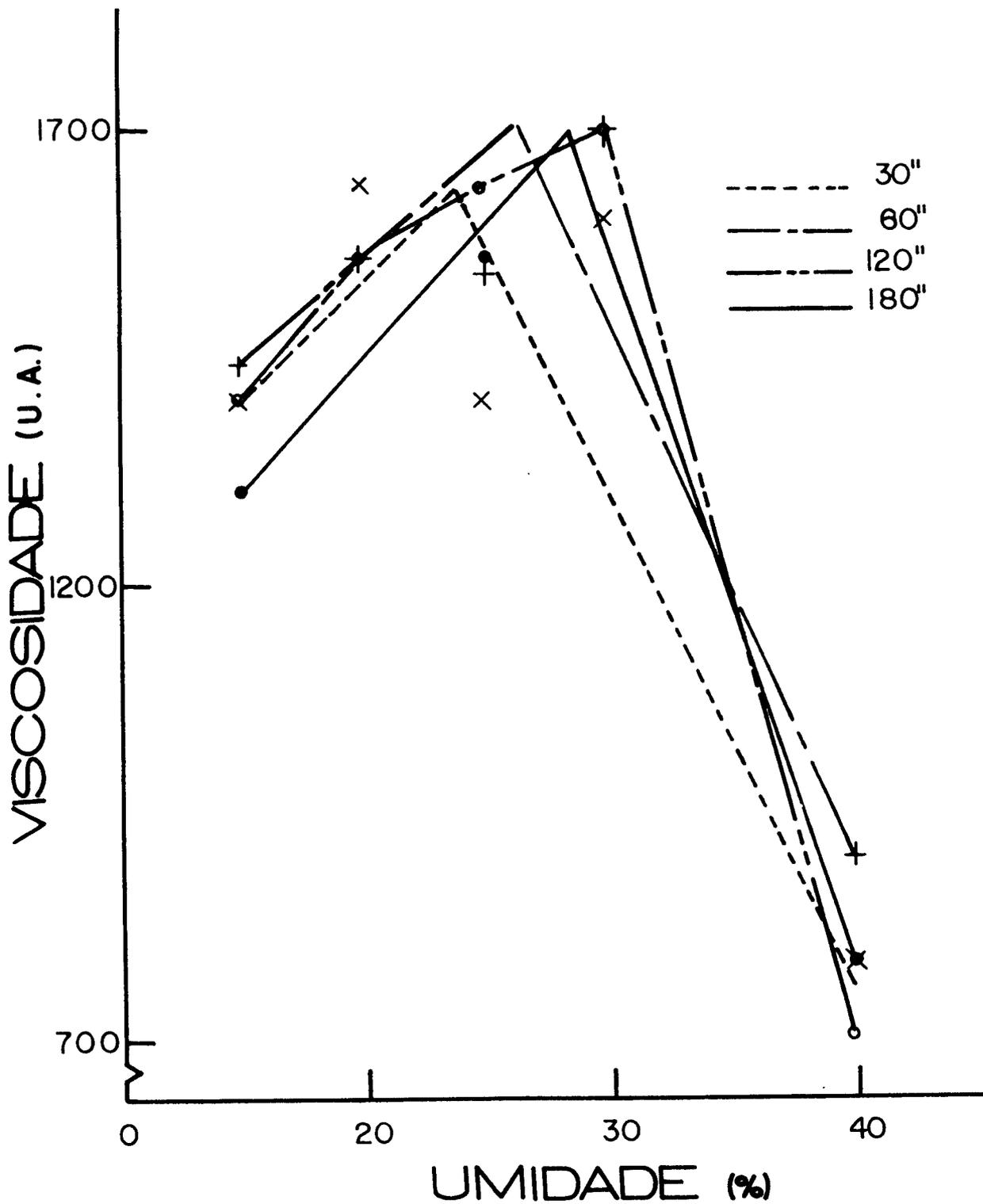


FIGURA 14: Efeito da umidade na viscosidade máxima do ciclo de resfriamento, para o amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

menor grau de retrogradação para umidade de 40%. O ciclo de resfriamento apresentou duas fases de retrogradação. A existência das duas fases é atribuída às diferentes associações moleculares durante o resfriamento.

No começo, quando a temperatura é alta e as moléculas ainda são pequenas, a associação é mais fácil e rápida. Já na segunda fase, quase todas as moléculas estão agrupadas, tornando-se grandes e, conseqüentemente, o rearranjo fica dificultado. Com a agitação do próprio aparelho, a rede molecular formada quebra-se e há novo rearranjo, mas com velocidade menor que na primeira fase.

O efeito da temperatura na retrogradação para a primeira fase está mostrado na tabela XI. O efeito da umidade sobre a primeira fase de retrogradação não foi possível avaliar, pois o coeficiente de correlação entre a umidade de tratamento e a taxa de retrogradação foi muito baixo. Os resultados do efeito da temperatura sobre a segunda fase de retrogradação estão na tabela XII. Também neste caso não houve correlação linear entre a umidade de tratamento e a taxa de retrogradação.

### 3. Amido danificado

Os grânulos de amido são facilmente modificados por pressão, fricção e calor. Muitas propriedades de uma massa são afetadas pela quantidade de amido danificado. Os amidos

TABELA XI

Efeito da temperatura na primeira fase de retrogradação em vários tempos e umidades de tratamento com microondas para o amido.

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do amido (%)	Temperatura em °C			Equação da reta	Coeficiente de correlação
		inicial	final			
30	15	86,0	80,0	$y = -38,7x + 3895,3$	0,993	
	20	80,0	69,0	$y = -36,7x + 3628,0$	0,968	
	25	69,5	62,0	$y = -39,6x + 3431,6$	0,986	
	30	83,0	77,0	$y = -48,7x + 4617,3$	0,992	
	40	75,5	69,5	$y = -44,7x + 3790,3$	0,998	
60	15	92,0	84,5	$y = -36,8x + 3909,2$	0,993	
	20	80,0	69,5	$y = -38,5x + 3731,2$	0,968	
	25	75,5	62,0	$y = -22,7x + 2415,3$	0,998	
	30	78,5	71,0	$y = -50,1x + 4529,7$	0,998	
	40	77,0	72,5	$y = -81,2x + 6672,3$	0,983	
120	15	86,0	80,0	$y = -40,0x + 4004,0$	0,990	
	20	80,0	69,5	$y = -26,4x + 2869,3$	0,996	
	25	75,5	62,0	$y = -22,7x + 2415,3$	0,998	
	30	81,5	69,5	$y = -35,0x + 3462,5$	0,990	
	40	75,5	71,0	$y = -52,0x + 4334,0$	0,992	
180	15	87,5	77,0	$y = -21,0x + 2381,1$	0,994	
	20	80,0	69,5	$y = -40,6x + 3877,8$	0,987	
	25	75,5	69,5	$y = -42,0x + 3911,0$	0,995	
	30	80,0	71,0	$y = -15,5x + 1850,5$	0,987	
	40	72,5	68,0	$y = -62,0x + 4918,0$	0,973	

TABELA XII

Efeito da temperatura na segunda fase de retrogradação em vários tempos e umidades de tratamento com microondas, para o amido

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do amido (%)	Temperatura inicial* (°C)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
30	15	69,5	$y = -13,0x + 1721,4$	0,974
	20	54,5	$y = -25,1x + 2422,8$	0,997
	25	47,0	$y = -15,8x + 1827,6$	0,996
	30	54,5	$y = -26,4x + 2455,0$	0,982
	40	62,0	$y = -1,6x + 834,6$	0,951
60	15	74,0	$y = -12,9x + 1768,9$	0,974
	20	54,5	$y = -23,8x + 2316,1$	0,991
	25	50,0	$y = -18,9x + 2081,0$	0,998
	30	50,0	$y = -25,4x + 2434,8$	0,998
	40	59,0	$y = -2,3x + 975,6$	0,949
120	15	69,5	$y = -11,7x + 1676,8$	0,963
	20	54,5	$y = -24,0x + 2294,9$	0,983
	25	47,0	$y = -25,6x + 2404,4$	0,999
	30	54,5	$y = -26,0x + 2509,8$	0,996
	40	62,0	$y = -1,7x + 763,4$	0,936
180	15	69,5	$y = -12,4x + 1676,4$	0,991
	20	54,5	$y = -24,1x + 2358,1$	0,993
	25	47,0	$y = -21,4x + 2265,3$	0,978
	30	65,0	$y = \quad + 880,0$	-
	40	57,5	$y = -2,9x + 872,1$	0,951

\* Temperatura final = 30°C

danificados são fácil e rapidamente digeridos pelas amilases, enquanto que os não danificados resistem mais à reação enzimática. O método utilizado elimina longos períodos de digestão e a determinação é feita após uma e duas horas de digestão. A extrapolação destes dois pontos para o tempo zero, dá a porcentagem de amido danificado (35).

Os resultados estão apresentados na tabela XIII. Existe uma correlação linear entre a porcentagem de amido danificado e a umidade das amostras, como mostra a figura 15. Com o tratamento de microondas houve ruptura das ligações dentro do grânulo, destruindo sua estrutura, o que permitiu o ataque enzimático ao amido. Aumentando a umidade, a porcentagem de amido danificado aumentou principalmente nas umidades maiores que 20%. O tempo de tratamento não teve influência sobre o amido danificado até umidade de 20%.

#### 4. Suscetibilidade enzimática

A ação da  $\alpha$ -amilase sobre os grânulos de amido não gelatinizados é muito mais baixa do que para os grânulos gelatinizados (25). A gelatinização pelo calor, na presença de água, torna os grânulos mais suscetíveis à ação da enzima (39). Assim sendo, utilizou-se a enzima  $\alpha$ -amilase de origem bacteriana para avaliar a gelatinização do amido de sorgo através de tratamento com microondas.

Os resultados obtidos estão na tabela XIV. Nas pri-

TABELA XIII

Efeito da umidade na porcentagem de amido danificado, após tratamento do amido com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do amido (%)	Amido danificado (% MAL)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
Controle	11	0,7		
30	15	1,3	$y = 0,5x - 7,4$	0,885
	20	1,7		
	25	3,1		
	30	9,1		
	40	12,6*		
60	15	1,3	$y = 0,6x - 8,5$	0,916
	20	1,5		
	25	4,1		
	30	9,8		
	40	15,5*		
120	15	1,5	$y = 0,6x - 8,3$	0,947
	20	1,7		
	25	7,4		
	30	9,5		
	40	15,7*		
180	15	1,5	$y = 0,7x - 9,7$	0,962
	20	2,0		
	25	7,2		
	30	11,0		
	40	18,3*		

\* Calculado através da equação da reta.

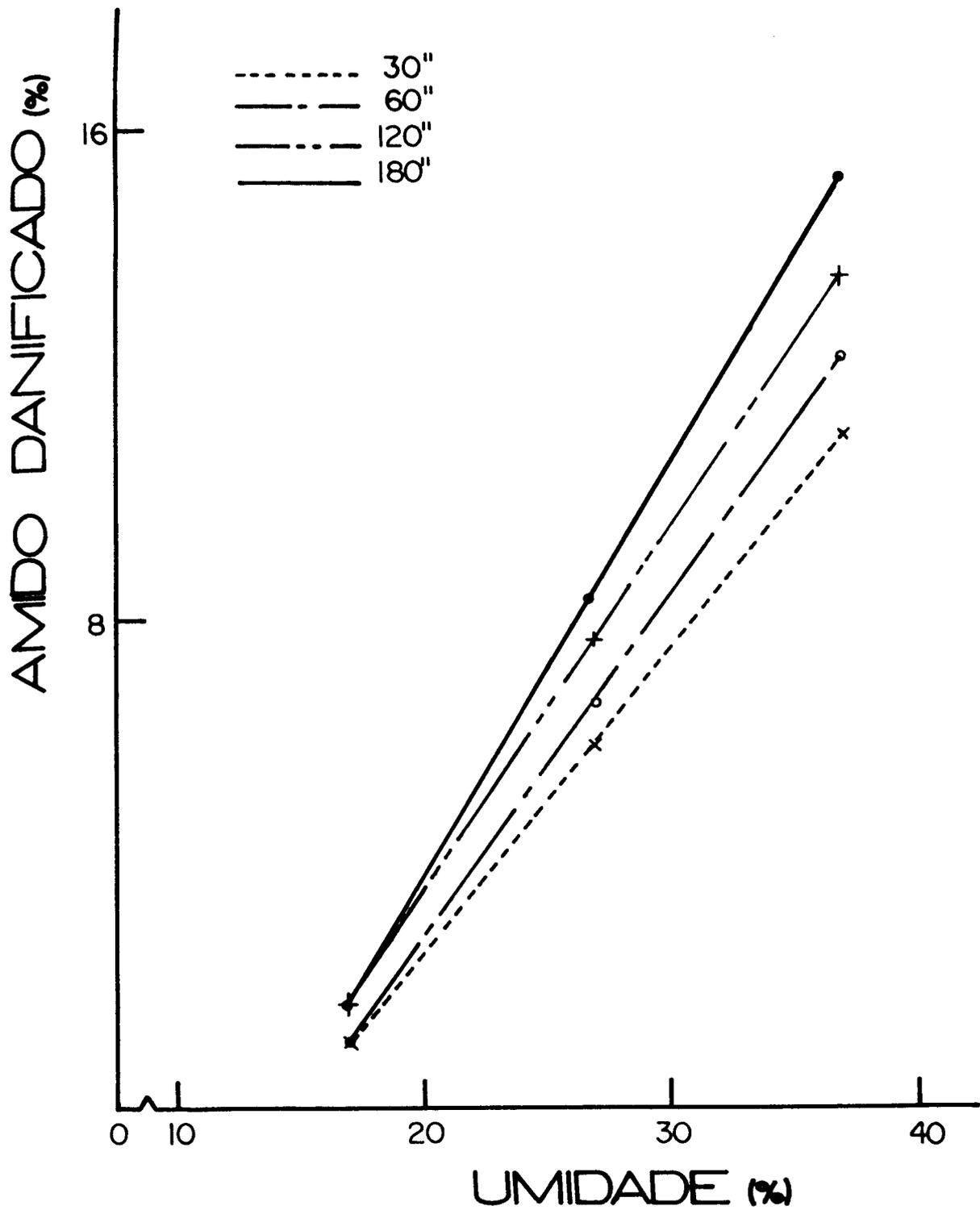


FIGURA 15: Efeito da umidade na porcentagem de amido danificado, do amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

TABELA XIV

Efeito do tempo de digestão na produção de maltose,  
para o amido tratado com microondas a várias umida-  
des e tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do amido (%)	Maltose (%)				
		Tempo de digestão (h)				
		0	24	48	72	96
controle	11	0,75	1,75	2,25	2,75	2,75
30	15	0,88	2,00	2,50	3,00	3,13
	20	1,10	2,38	2,88	3,25	3,25
	25	1,13	6,63	7,68	8,80	8,95
	30	2,13	18,70	18,85	18,85	18,70
	40	4,88	-	-	-	-
60	15	0,88	2,13	2,75	3,25	3,25
	20	1,15	2,50	3,00	3,38	3,38
	25	1,38	9,10	9,25	9,70	9,55
	30	2,13	19,13	20,45	20,60	20,60
	40	4,75	-	-	-	-
120	15	1,00	2,25	2,75	3,38	3,50
	20	1,15	2,63	3,13	3,38	3,50
	25	1,50	9,90	10,40	11,00	11,00
	30	2,75	19,30	20,45	21,00	21,00
	40	7,40	-	-	-	-
180	15	1,00	2,50	2,63	3,50	3,50
	20	1,15	3,38	3,63	3,75	3,75
	25	1,58	11,00	11,60	11,60	11,60
	30	5,00	19,75	20,60	21,30	21,30
	40	8,95	-	-	-	-

meiras horas de digestão, a ação da enzima é mais rápida e então, aproxima-se do limite, quando a produção de maltose torna-se constante (figura 16).

Nas umidades mais baixas, o ataque enzimático é pouco significativo. À medida que a umidade aumenta, há maior gelatinização do amido, o que permite a melhor ação da enzima, aumentando a produção de açúcar. Ao mesmo tempo que a umidade aumenta, há maior gelatinização do amido, o que permite a melhor ação da enzima, aumentando a produção de açúcar. Ao mesmo tempo que a umidade favoreceu a gelatinização, o tempo de tratamento também influiu, pois houve aumento na produção de açúcar quando o tempo de radiação foi aumentado.

Para umidades de até 20% não é conveniente o uso da radiação por microondas para gelatinização do amido, sob as condições utilizadas neste trabalho, pois a suscetibilidade enzimática nestas condições de tratamento foi aproximadamente a mesma do controle. Isso indica que, o uso de microondas na gelatinização de amido para alimentação humana deve ser feito com umidades maiores que 20%.

##### 5. Grau de hidrólise

Antes do grânulo de amido ser hidrolisado pelas amilases, a sua estrutura deve ser rompida. Isto pode ser conseguido pela gelatinização com tratamento químico, mecânico ou térmico. Quando a organização cristalina do amido é rom-

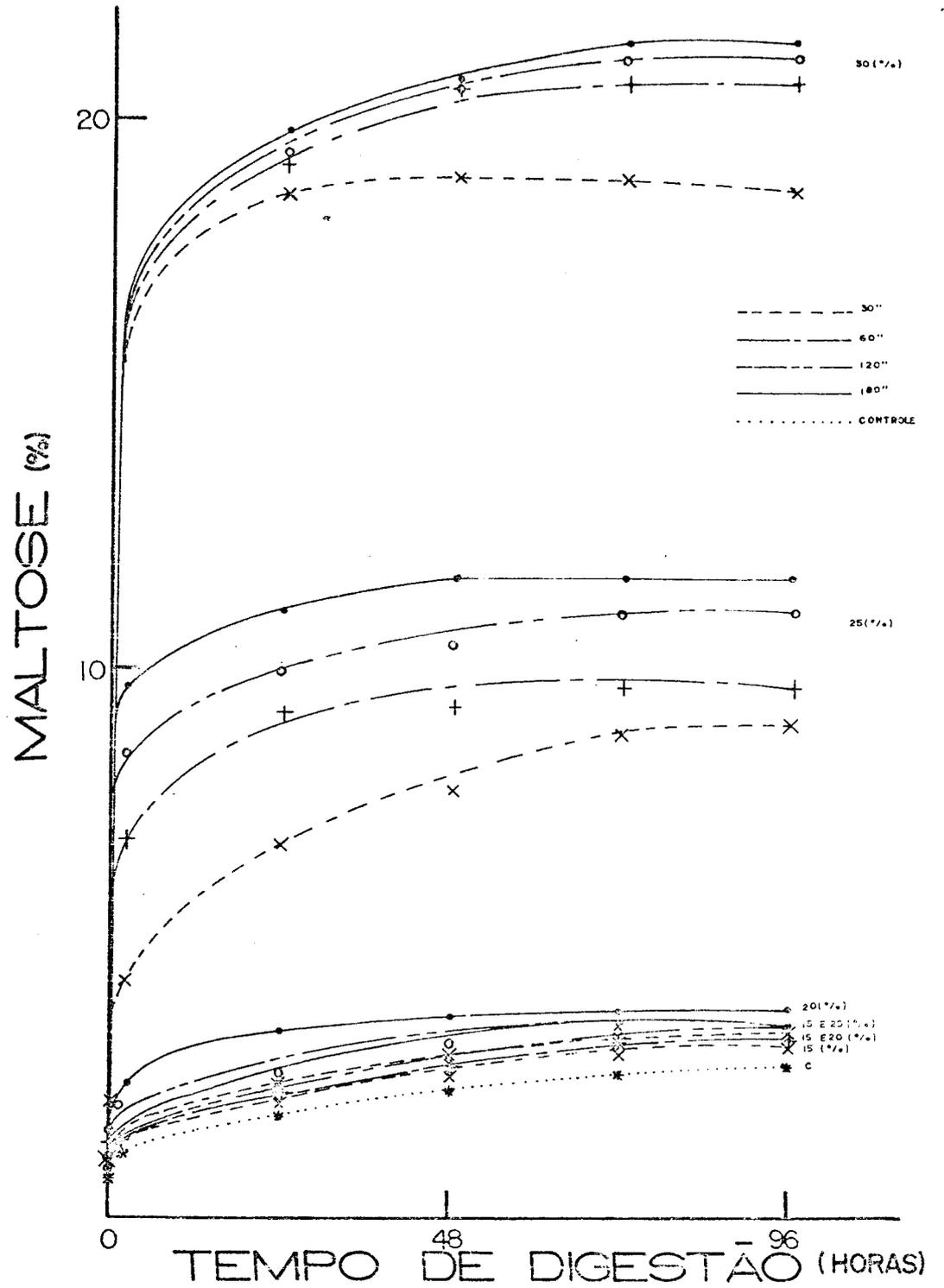


FIGURA 16: Suscetibilidade enzimática para o amido tratado com microondas, a vários níveis de umidade e tempos de tratamento.

pida, os grânulos incham na presença de água, perdem sua birrefringência e tornam-se dispersíveis em água e sujeitos às amilases. O grau de hidrólise depende da duração do aquecimento e é expresso em porcentagem de maltose. É determinado quando a produção de açúcar tende a um valor constante. Para o caso do amido tratado, o limite constante de açúcar é alcançado após 72 horas de digestão. Os resultados estão apresentados na tabela XV.

Como mostra a figura 17, a umidade de tratamento tem efeito mais significativo do que o tempo. Nas umidades mais baixas como 15 e 20%, não existe diferença entre os tratamentos. O aumento do grau de hidrólise nas umidades acima de 20% indica que as ligações da rede micelar dos grânulos de amido romperam mais quando o tempo e a umidade de tratamento foram maiores e, portanto, os grânulos tornam-se mais suscetíveis à degradação pela  $\alpha$ -amilase. Para se obter grau de hidrólise adequado no tratamento com microondas a umidade deve ser superior a 20%.

## 6. Índices de solubilidade e absorção de água

Quando os grânulos de amido são colocados em meio aquoso uma porção do amido é dissolvida e uma parte da água do meio é absorvida pelos grânulos. Quando o amido é modificado por ação química ou tratamento térmico, os grânulos tornam-se mais solúveis e absorvem mais água (2).

TABELA XV

Efeito da umidade no grau de hidrólise com  $\alpha$ -amilase, após 72 horas de digestão, do amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do amido (%)	Grau de hidrólise (%)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
controle	11	2,8		
30	15	3,0		
	20	3,2		
	25	8,8	$y = 1,1x - 15,4$	0,924
	30	18,8		
	40	28,6*		
60	15	3,2		
	20	3,3		
	25	9,2	$y = 1,1x - 17,1$	0,917
	30	20,6		
	40	26,9*		
120	15	3,5		
	20	3,5		
	25	11,0	$y = 1,2x - 17,3$	0,934
	30	21,0		
	40	30,7*		
180	15	3,5		
	20	3,7		
	25	11,6	$y = 1,2x - 17,6$	0,941
	30	21,3		
	40	30,4*		

\* Calculado pela equação da reta.

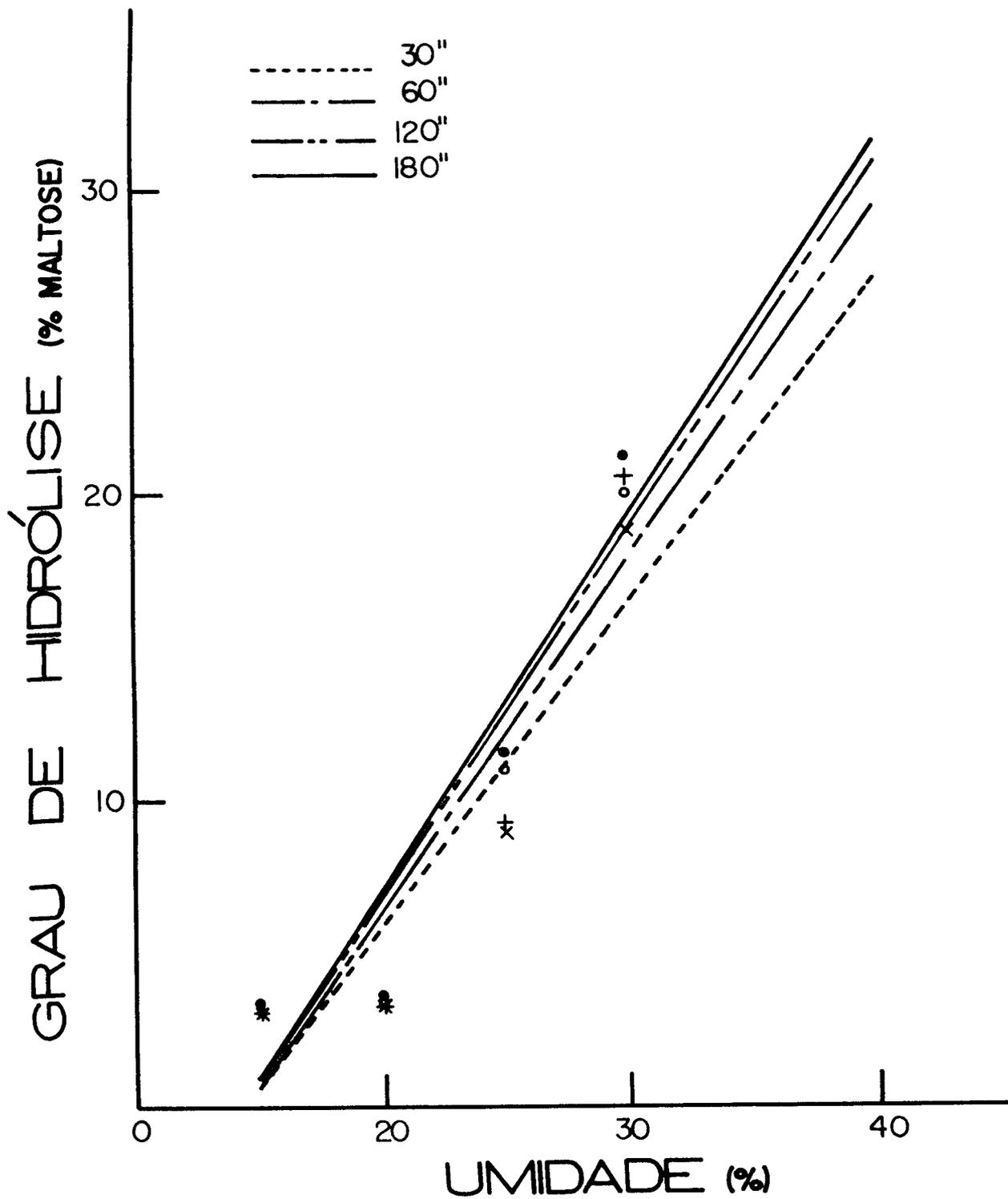


FIGURA 17: Efeito da umidade no grau de hidrólise, do amido tratado com micro\_ondas, a vários tempos de tratamento.

Através desta análise pode-se então avaliar a gelatinização de um material. Os resultados obtidos para os índices de solubilidade e absorção estão apresentados na tabela XVI.

Nas umidades de 20 - 30% houve um aumento lento no índice de solubilidade, enquanto que acima de 30% de umidade o aumento foi bastante acentuado (figura 18). O índice de absorção não apresentou praticamente qualquer mudança nas umidades de 15 a 25%. Teve um ligeiro aumento com 30% e mostrou grande absorção para umidades maiores que 30% (figura 19).

#### C. EFEITO DA UMIDADE E TEMPO DE TRATAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS DE GELATINIZAÇÃO DO SORGO

Para se estabelecer as condições de maceração do grão de sorgo foi feita a curva de absorção de água até atingir sua umidade de equilíbrio. O equilíbrio foi atingido após duas horas de maceração (figura 20). Desta curva escolheu-se as umidades para tratamento. Os resultados obtidos para o sorgo tratado com microondas estão expostos a seguir.

##### 1. Perda de umidade

O efeito do tempo de tratamento com microondas na perda de umidade das amostras de sorgo com umidades variando de

TABELA XVI

Efeito da umidade nos índices de absorção e solubilidade de água para o amido tratado com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Índice de solubilidade (%)	Índice de absorção (%)
controle	11	0,02	1,88
30	15	0,03	2,19
	20	0,03	2,23
	25	0,12	2,32
	30	0,27	3,03
	40	1,89	6,03
60	15	0,06	2,20
	20	0,06	2,24
	25	0,15	2,39
	30	0,30	3,08
	40	1,59	7,41
120	15	0,06	2,21
	20	0,06	2,25
	25	0,21	2,42
	30	0,33	3,22
	40	2,52	8,07
180	15	0,06	2,23
	20	0,09	2,28
	25	0,27	2,43
	30	0,39	3,41
	40	3,06	8,42

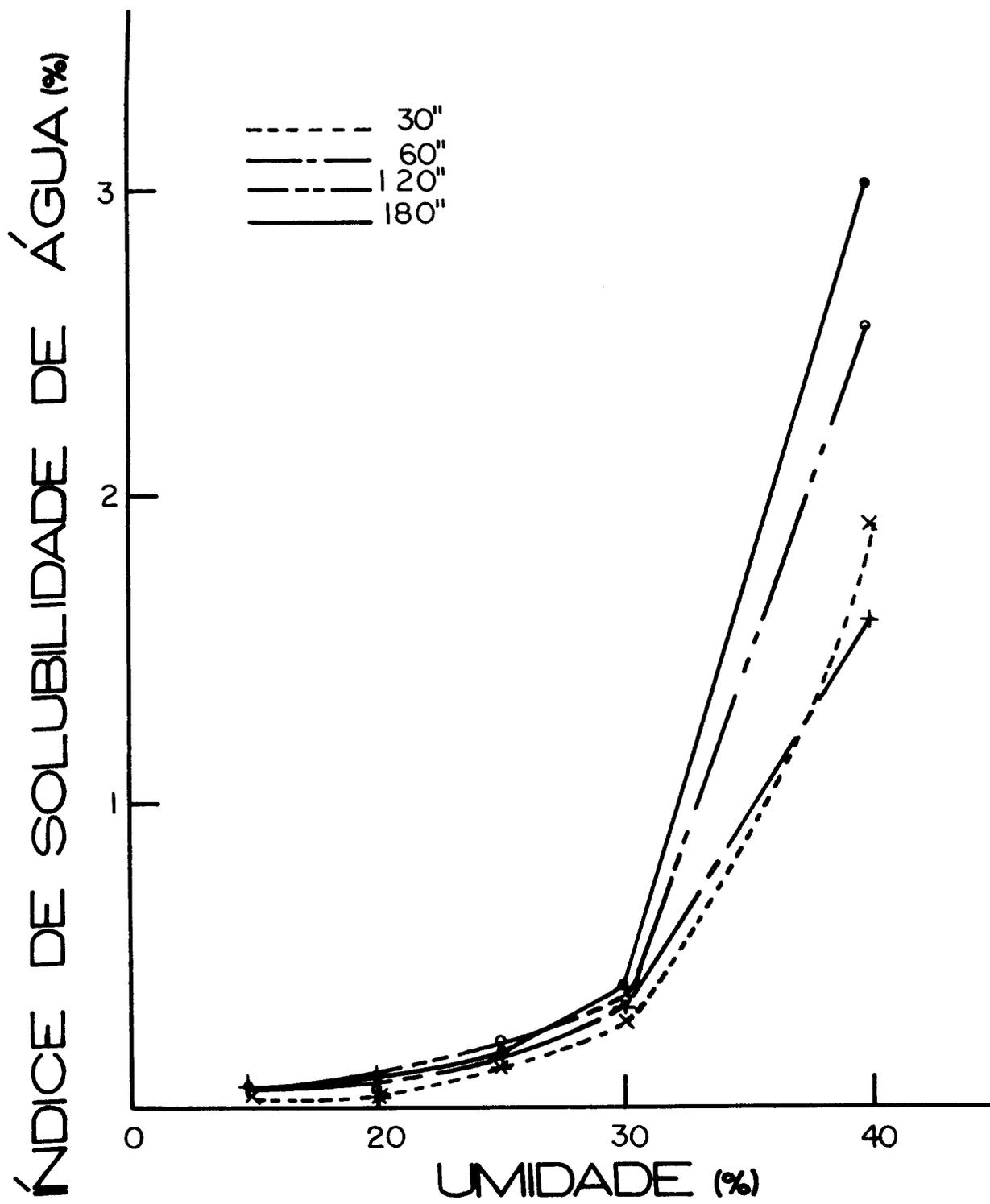


FIGURA 18: Efeito da umidade no índice de solubilidade em água, para o amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

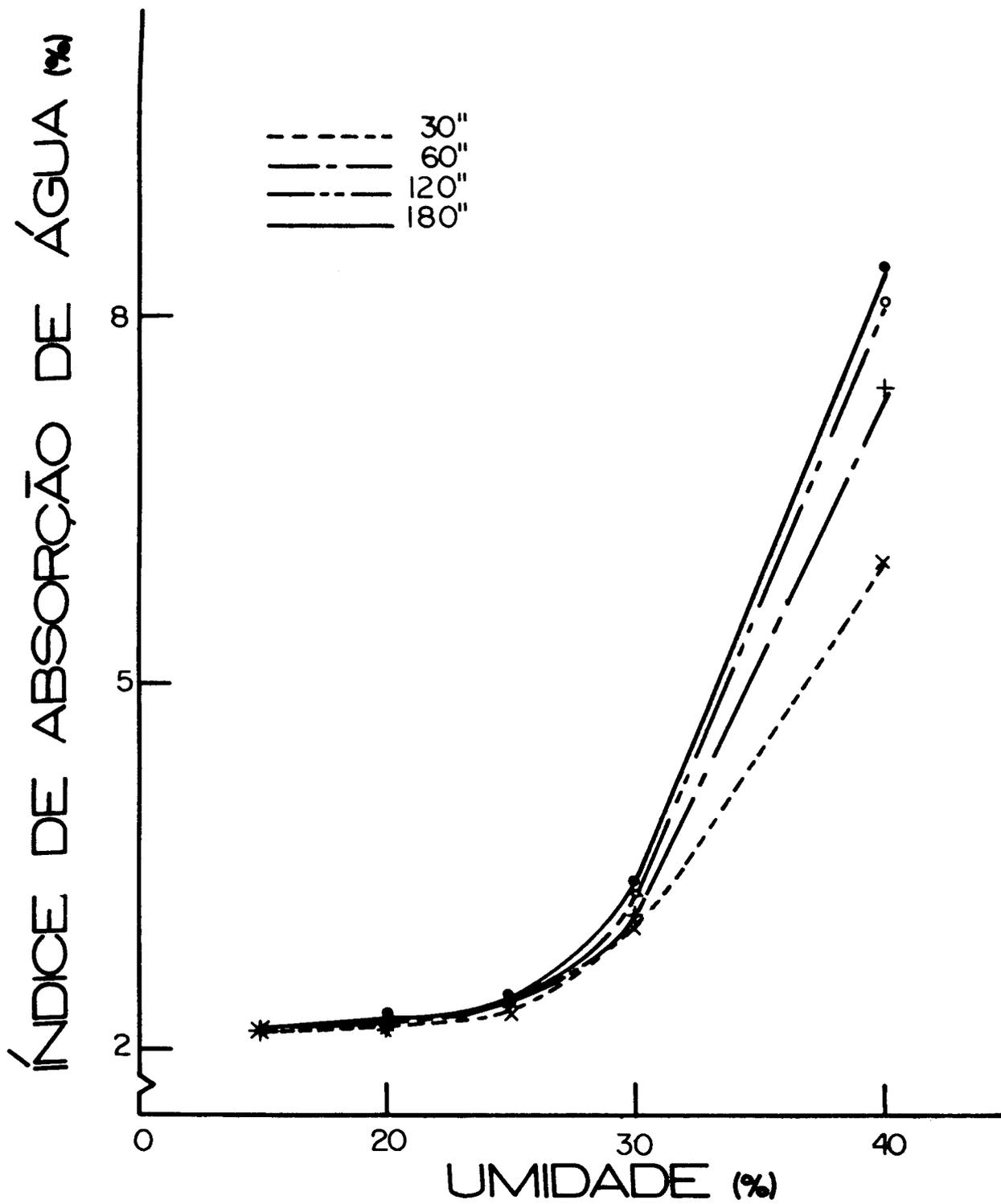


FIGURA 19 : Efeito da umidade no índice de absorção de água, para o amido tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

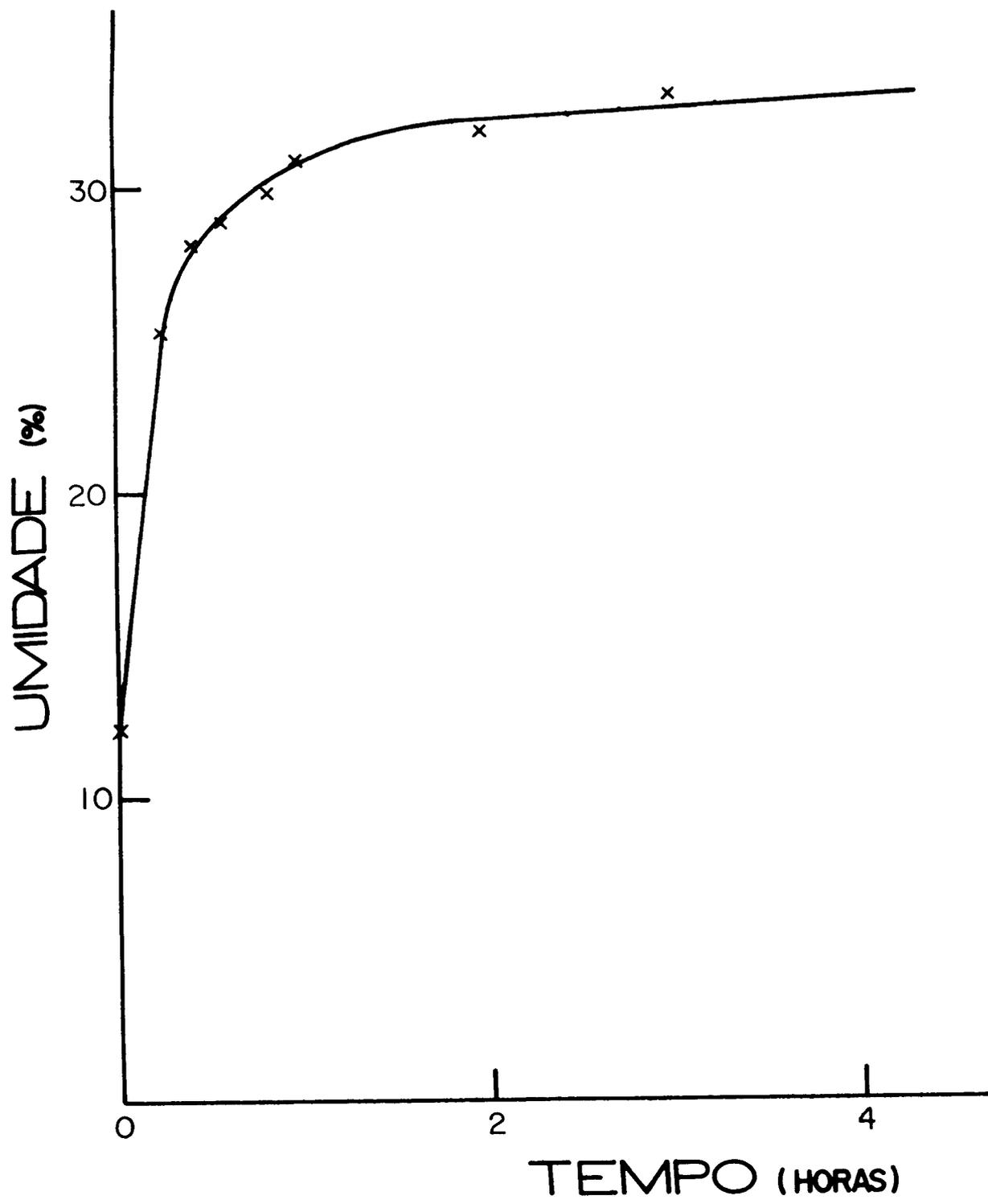


FIGURA 20: Curva de absorção de água para o sorgo descascado.

15 a 30% e tempos de tratamento de 30 a 120 segundos está apresentado na tabela XVII.

Existe uma correlação linear, com coeficiente alto, entre o tempo de tratamento e a perda de umidade, enquanto que o coeficiente de correlação para o efeito da umidade teve valor muito baixo.

Quando o tempo de tratamento aumentou foi maior a perda de umidade das amostras, devido à evaporação da água durante o aquecimento com microondas (figura 21).

## 2. Características da pasta

As características de gelatinização e retrogradação do grão descascado de sorgo foram estudadas através dos amilogramas apresentados nas figuras 22, 23 e 24, para vários tempos de tratamento, isto é, 30, 60 e 120 segundos com umidade das amostras variando de 15 a 30%.

O efeito da umidade na temperatura inicial de gelatinização está mostrado na tabela XVIII. A temperatura inicial de gelatinização permaneceu praticamente constante para umidades até 25%, quando comparada ao controle. Entretanto, com umidade maior e tempo de tratamento mais elevado houve um ligeiro aumento. No caso da temperatura de viscosidade máxima (tabela XIX), houve aumento a partir de 20% de umidade, principalmente quando o tempo de tratamento foi maior do que 30

TABELA XVII

Efeito do tempo de tratamento na perda de umidade das amostras de sorgo, durante o aquecimento com microondas, para todas as umidades testadas

Umidade do Sorgo (%)	Tempo de tratamento (seg.)	Perda de umidade (%)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
15	30	14,2	$y = 0,3x + 12,8$	0,904
	60	26,9		
	120	43,8		
20	30	14,8	$y = 0,4x + 4,0$	0,999
	60	27,6		
	120	49,2		
25	30	21,1	$y = 0,4x + 11,2$	0,991
	60	37,3		
	120	57,1		
30	30	15,5	$y = 0,5x + 1,3$	0,999
	60	31,8		
	120	60,3		

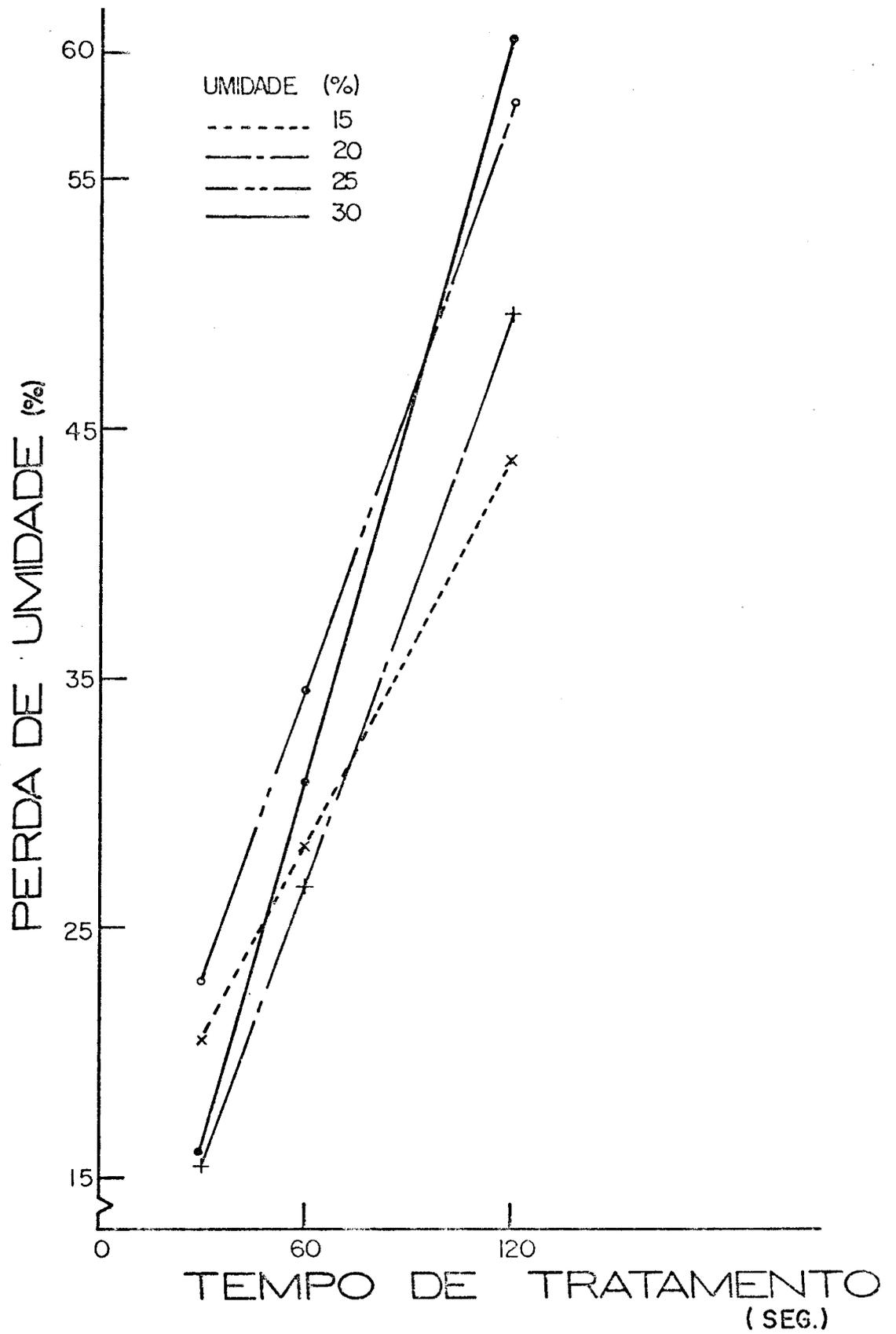


FIGURA 21: Efeito do tempo de tratamento na perda de umidade, do sorgo descascado tratado com microondas, a vários níveis de umidade.

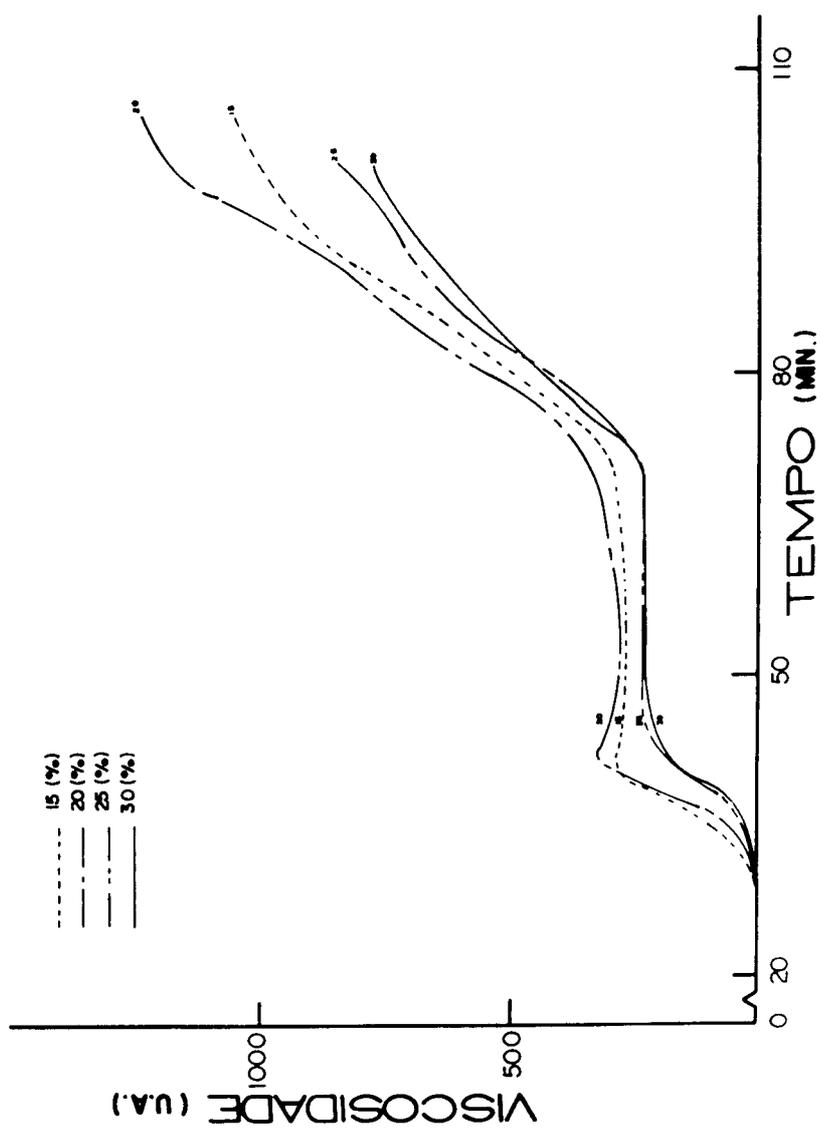


FIGURA 22: Viscoamiliograma do sorgo descascado, tratado com microondas por 30 segundos, a vários níveis de umidade.

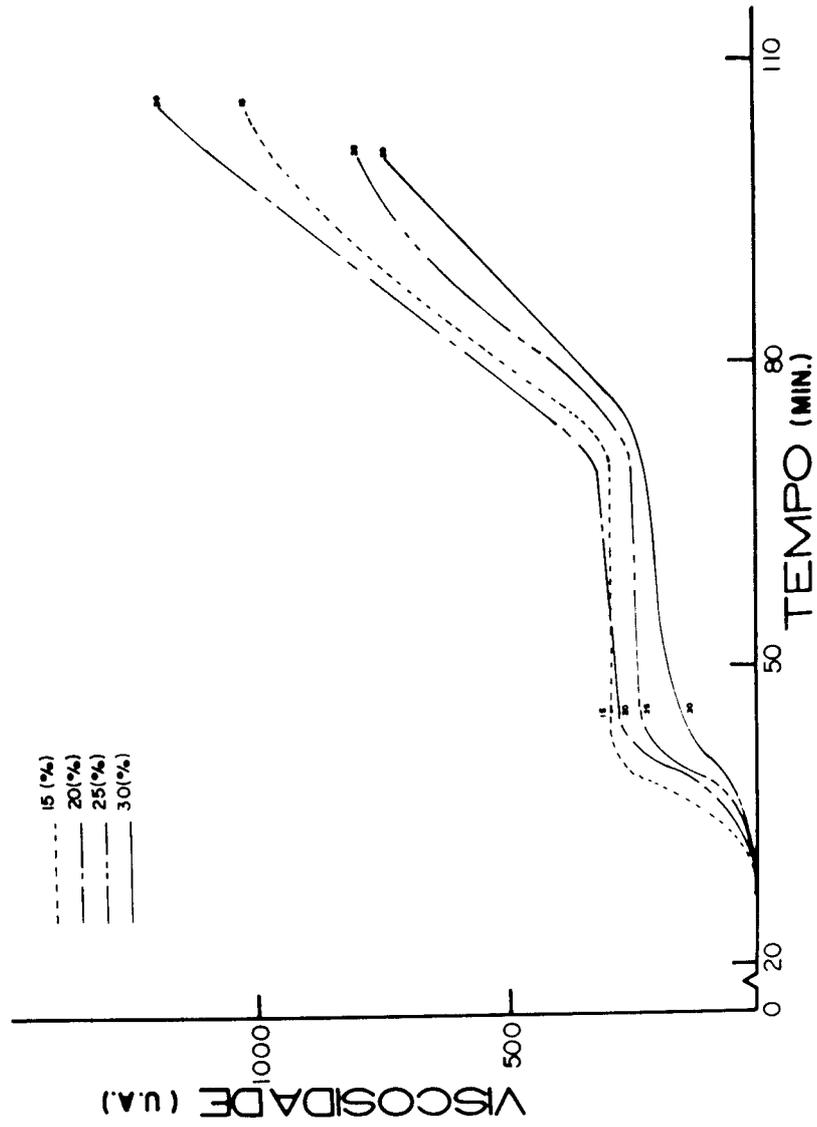


FIGURA 23: Viscoamitograma do sorgo descascado, tratado com microondas por 60 segundos, a vários níveis de umidade.

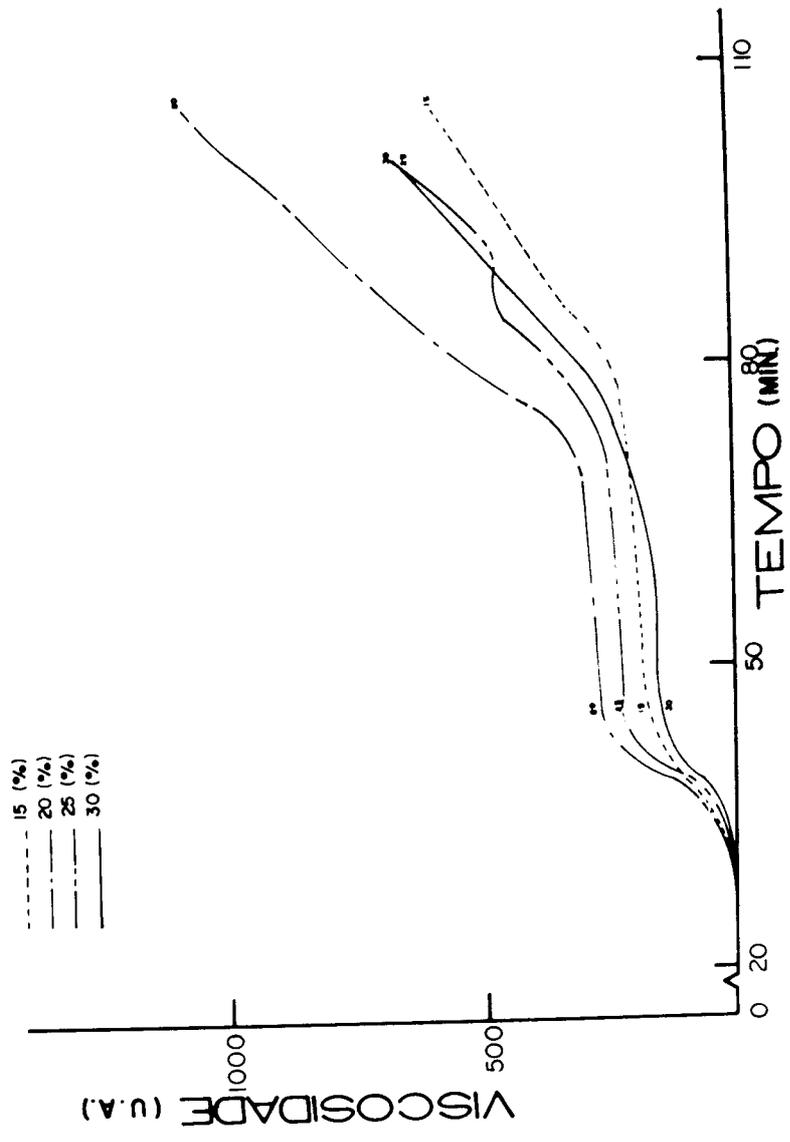


FIGURA 24: Viscoamiliograma do sorgo descascado, tratado com microondas por 120 segundos, a vários níveis de umidade.

TABELA XVIII

Efeito da umidade na temperatura inicial de gelatinização do sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Temperatura inicial de gelatinização (°C)
controle	12	73,0
30	15	72,0
	20	72,0
	25	72,0
	30	72,0
60	15	72,0
	20	72,0
	25	72,5
	30	74,5
120	15	73,0
	20	73,0
	25	73,0
	30	74,5

TABELA XIX

Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máxima, no ciclo de aquecimento, para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento.

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Temperatura de viscosidade máxima (%)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
controle	12	88,0		
30	15	88,0		
	20	88,0	$y = 0,3x + 82,8$	0,833
	25	89,5		
	30	92,5		
60	15	88,0		
	22	91,0	$y = 0,4x + 82,1$	0,980
	25	92,5		
	30	94,5		
120	15	88,0		
	20	91,0	$y = 0,4x + 82,1$	0,980
	25	92,5		
	30	94,5		

segundos (figura 25).

Os resultados para a viscosidade nos ciclos de aquecimento, de temperatura constante e de resfriamento estão na tabela XX. De acordo com a figura 26, a viscosidade máxima durante o aquecimento cresce até umidade de 20% e depois diminui. Observou-se também que quanto maior o tempo de tratamento, menor é a viscosidade máxima alcançada. A viscosidade mínima a 95°C (figura 27) foi aumentando até umidade de 20%, quando, então, houve um decréscimo para as maiores umidades. Quando o tempo de tratamento aumentou, a viscosidade diminuiu.

No resfriamento, a viscosidade máxima (figura 28) aumentou até o nível de umidade de 20%, para depois diminuir nas umidades maiores. Observou-se que, com o aumento do tempo de tratamento, a viscosidade de retrogradação diminuiu. O efeito da temperatura na retrogradação durante o ciclo de resfriamento está mostrado na tabela XXI. Como o coeficiente de correlação teve valor baixo, não foi possível avaliar o efeito da umidade sobre a taxa de retrogradação.

### 3. Amido danificado

A determinação foi feita com uma e duas horas de digestão, utilizando a enzima  $\alpha$ -amilase bacteriana, com extrapolação para o tempo zero para se obter a porcentagem de amido danificado. Os resultados estão apresentados na tabela XXII.

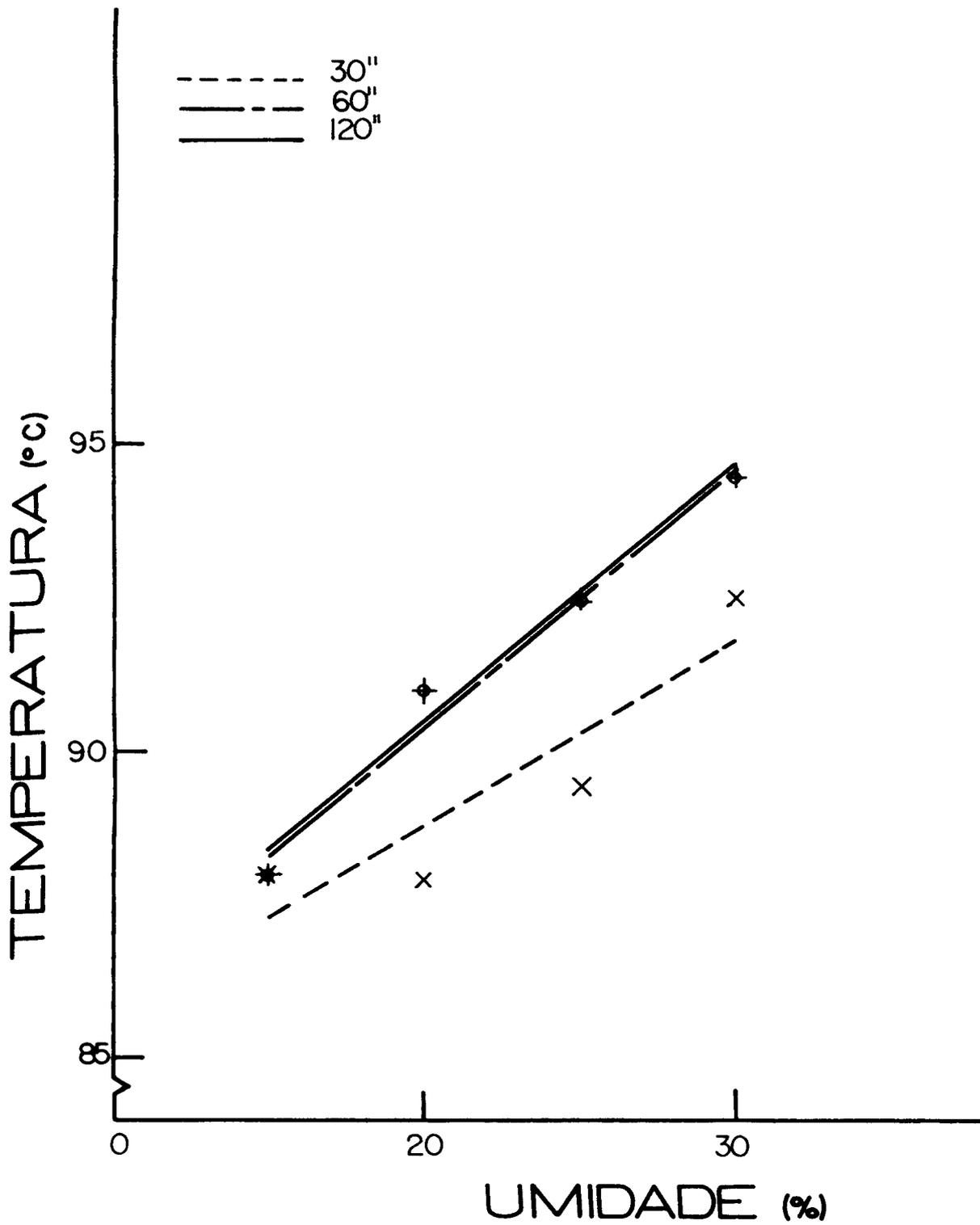


FIGURA 25: Efeito da umidade na temperatura de viscosidade máxima, do sorgo descascado tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

TABELA XX

Efeito da umidade na viscosidade durante os ciclos de aquecimento, de temperatura constante a 95°C e no resfriamento para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Viscosidade máx. no aquecimento (U.A.)	Viscosidade min. a a 95°C (U.A.)	Viscosidade máx. no resfriamento (U.A.)
controle	12	200	200	840
30	15	300	280	1040
	20	320	320	1220
	25	230	240	840
	30	230	240	760
60	15	280	280	1000
	20	280	310	1160
	25	230	240	780
	30	160	210	720
120	15	170	200	580
	20	270	300	1060
	25	230	240	640
	30	140	180	640

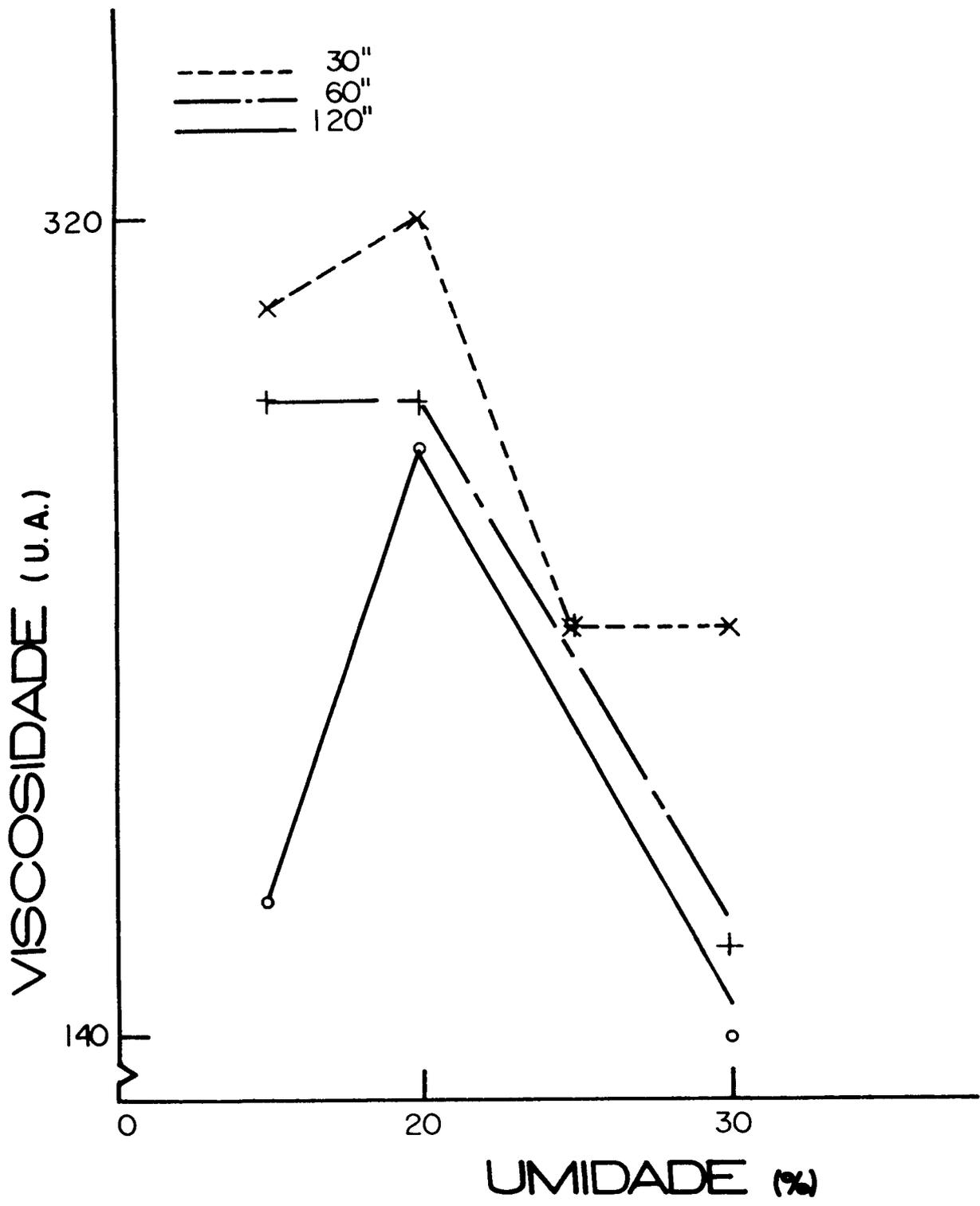


FIGURA 26: Efeito da umidade na viscosidade máxima de aquecimento, do sorgo descascado tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

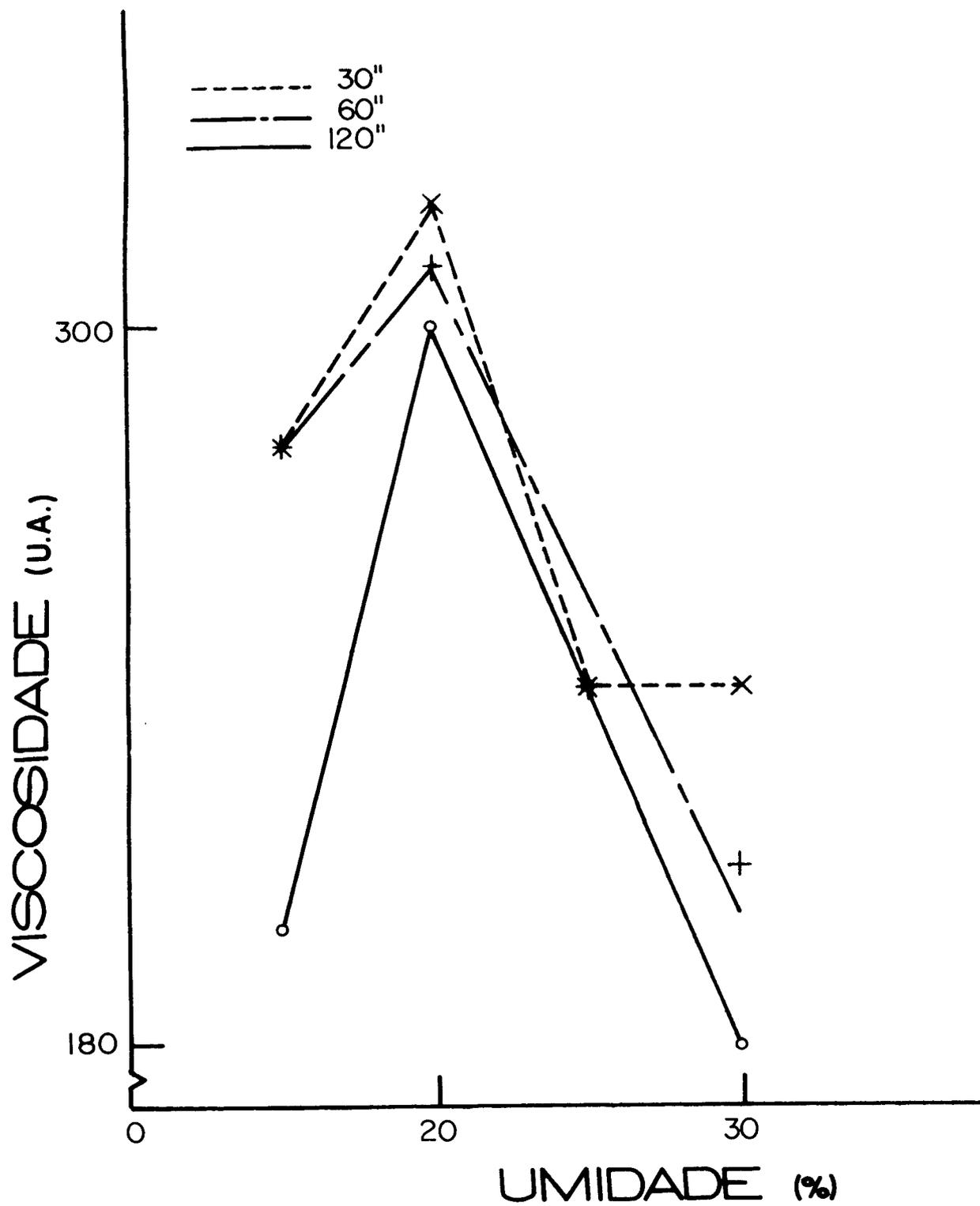


FIGURA 27: Efeito da umidade na viscosidade mínima, à temperatura constante de 95°C, do sorgo tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

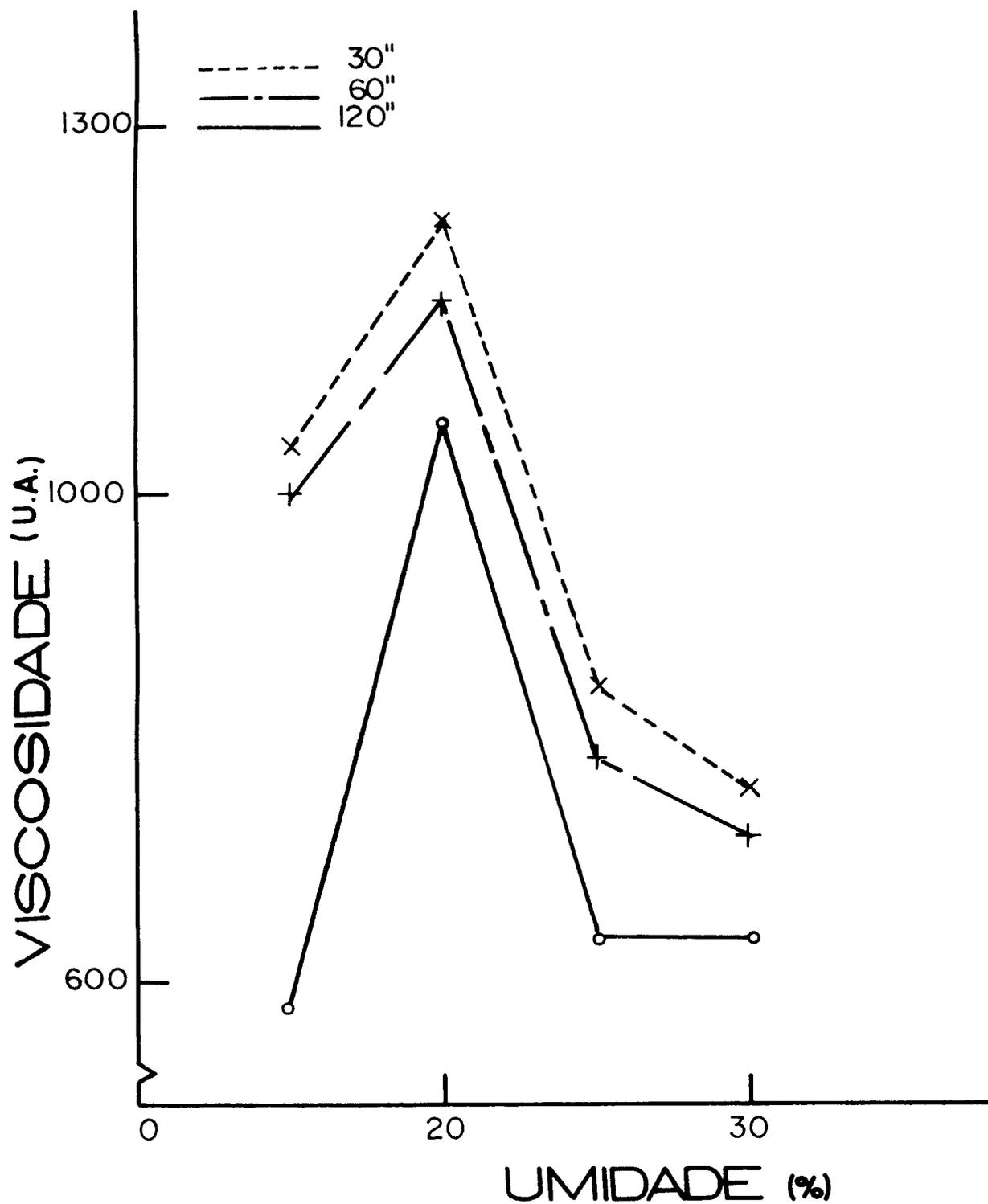


FIGURA 28: Efeito da umidade na viscosidade máxima à 30°C, do sorgo descascado tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

TABELA XXI

Efeito da temperatura na retrogradação, durante o ciclo de resfriamento, para o sorgo tratado com microondas a várias umidades e tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Temperatura inicial* (°C)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
30	15	69,5	$y = -14,5x + 1553,8$	0,979
	20	69,5	$y = -19,2x + 1933,6$	0,974
	25	63,5	$y = -11,6x + 1308,0$	0,998
	30	62,0	$y = -11,0x + 1241,0$	0,998
60	15	69,5	$y = -14,7x + 1529,4$	0,996
	20	69,5	$y = -17,3x + 1753,9$	0,999
	25	62,0	$y = -12,2x + 1299,7$	0,998
	30	62,0	$y = -11,8x + 1184,2$	0,998
120	15	59,0	$y = -8,4x + 844,4$	0,997
	20	66,5	$y = -15,6x + 1598,6$	0,998
	25	62,0	$y = -12,3x + 1225,7$	0,999
	30	62,0	$y = -10,4x + 1043,6$	0,997

\* Temperatura final = 30°C

TABELA XXII

Efeito da umidade sobre a porcentagem de amido danificado para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Amido danificado (%)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
controle	12	5,0		
30	15	6,1		
	20	8,5	$y = 0,4x + 0,1$	0,939
	25	8,6		
	30	12,6		
60	15	7,0		
	20	9,1	$y = 0,4x + 1,4$	0,970
	25	10,1		
	30	12,9		
120	15	7,3		
	20	9,4	$y = 0,5x - 0,4$	0,969
	25	10,7		
	30	15,0		

O efeito da umidade está mostrado na figura 29. Nas umidades maiores, a porcentagem de amido danificado aumentou. A maior umidade permitiu maior gelatinização das amostras causadas pelas microondas, facilitando o ataque enzimático. O tempo de tratamento influiu somente nas umidades acima de 20%, quando a porcentagem de amido danificado aumentou.

#### 4. Suscetibilidade enzimática

Os grânulos de amido gelatinizados são mais suscetíveis à ação da enzima  $\alpha$ -amilase. Os resultados dessa análise estão na tabela XXIII.

Até 72 horas de digestão, a produção de maltose foi crescente quando, então, tornou-se constante (figura 30). Nas umidades mais baixas que 25% a produção de maltose permaneceu praticamente constante. Somente com 30% de umidade a suscetibilidade enzimática foi maior, aumentando bastante a produção de açúcar. O tempo de tratamento teve menos influência sobre a produção de maltose, indicando que a umidade das amostras tem efeito mais pronunciado que o tempo de radiação.

#### 5. Grau de hidrólise

O tratamento sofrido pelo grão de sorgo através de aquecimento com microondas provocou a ruptura de sua estrutu-

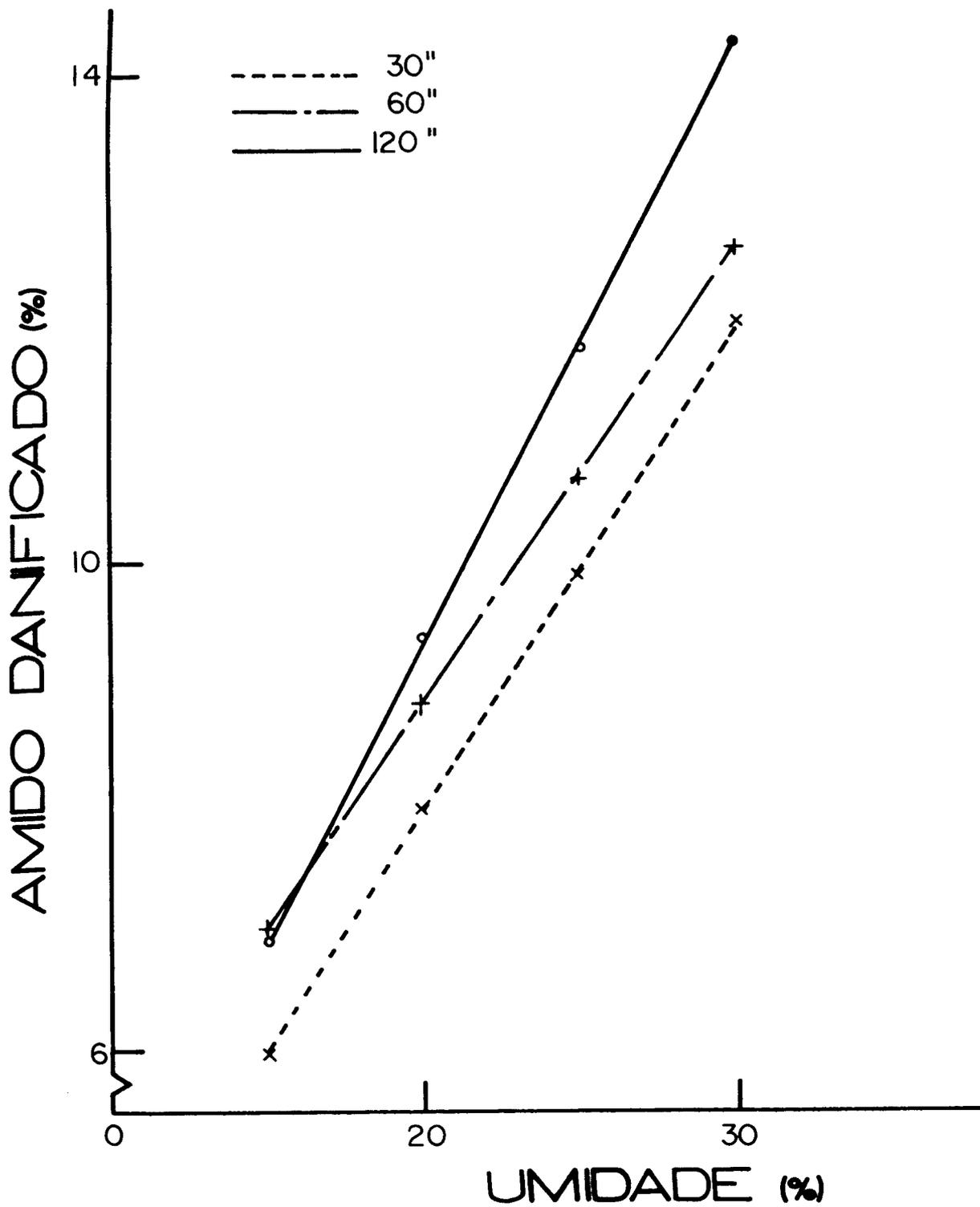


FIGURA 29: Efeito da umidade na porcentagem de amido danificado, do sorgo descascado tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

TABELA XXIII

Efeito do tempo de digestão na suscetibilidade enzimática para o sorgo tratado com microondas a várias umidades e tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Maltose (%)				
		Tempo de digestão (h)				
		0	24	48	72	96
controle	12	3,00	10,85	11,75	12,90	12,75
30	15	2,88	10,40	11,00	12,40	12,60
	20	3,25	11,15	11,60	13,95	13,95
	25	4,25	12,20	14,25	14,80	14,60
	30	4,75	22,50	26,00	-	-
60	15	2,88	11,00	11,30	13,95	14,10
	20	3,63	11,60	11,90	14,60	14,80
	25	4,50	12,90	14,40	14,80	14,80
	30	5,00	-	-	-	-
120	15	3,00	11,30	11,45	14,10	14,10
	20	4,00	12,05	12,90	14,60	14,40
	25	4,75	13,95	14,80	15,20	15,50
	30	5,88	-	-	-	-

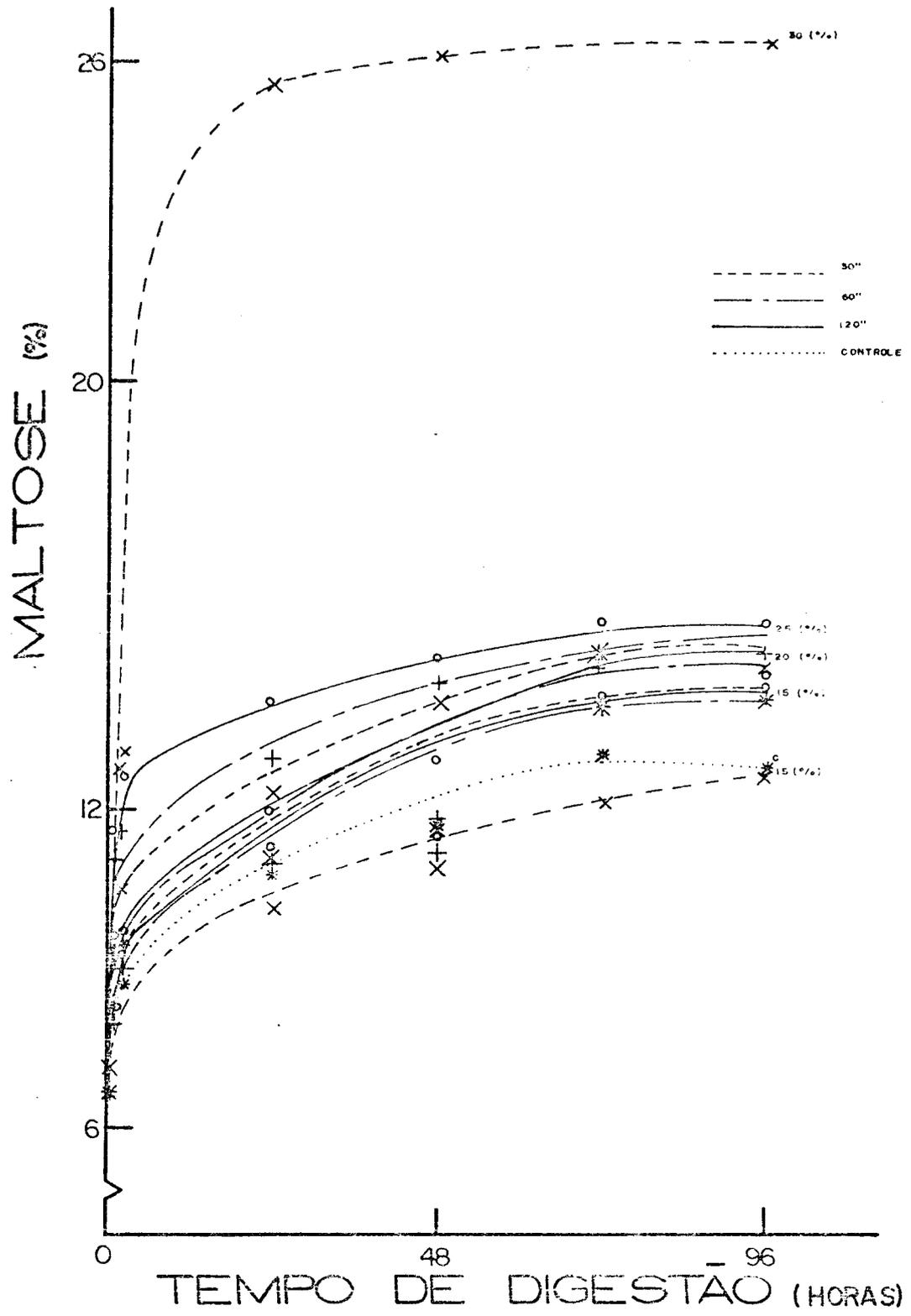


FIGURA 30: Suscetibilidade enzimática do sorgo descascado tratado com microondas, a vários níveis de umidade e tempos de tratamento.

ra. Com a gelatinização, o amido torna-se mais suscetível à ação da  $\alpha$ -amilase.

Para o caso do grão de sorgo, o grau de hidrólise foi determinado quando a produção de maltose alcançou o limite, isto é, após 72 horas de digestão. Os resultados estão apresentados na tabela XXIV. A figura 31 mostra o efeito da umidade sobre o grau de hidrólise. À medida que a umidade aumentou, o grau de hidrólise também aumentou. O tempo de tratamento teve menos influência sobre o grau de hidrólise. À medida que o tempo de tratamento aumentou, o grau de hidrólise foi maior.

## 6. Índices de solubilidade e absorção de água

O tratamento térmico torna o grânulo de amido mais solúvel e com maior poder de absorção de água. Os resultados para os índices de solubilidade e absorção de água para o sorgo tratado com microondas estão na tabela XXV.

Até 25% de umidade o aumento do índice de solubilidade é lento. A partir desta umidade seu valor cresce para todos os tempos de tratamento estudados. O índice de solubilidade também aumenta com o tempo de tratamento (figura 32).

O aumento do índice de absorção é lento até umidade de 25%, alcançando valores altos na umidade de 30%. Para tempos de tratamentos maiores, o índice de absorção é elevado, principalmente com 120 segundos de exposição à radiação (figura 33).

TABELA XXIV

Efeito da umidade sobre o grau de hidrólise para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Grau de hidrólise (%)	Equação da reta	Coefficiente de correlação
controle	12	12,9		
30	15	12,4		
	20	14,0	$y = 0,16x + 10,23$	0,866
	25	14,0		
	30	15,0*		
60	15	14,0		
	20	14,6	$y = 0,08x + 12,87$	0,961
	25	14,8		
	30	15,3*		
120	15	14,1		
	20	14,6	$y = 0,14x + 11,93$	0,987
	25	15,5		
	30	16,1*		

\* Calculado a partir da equação da reta

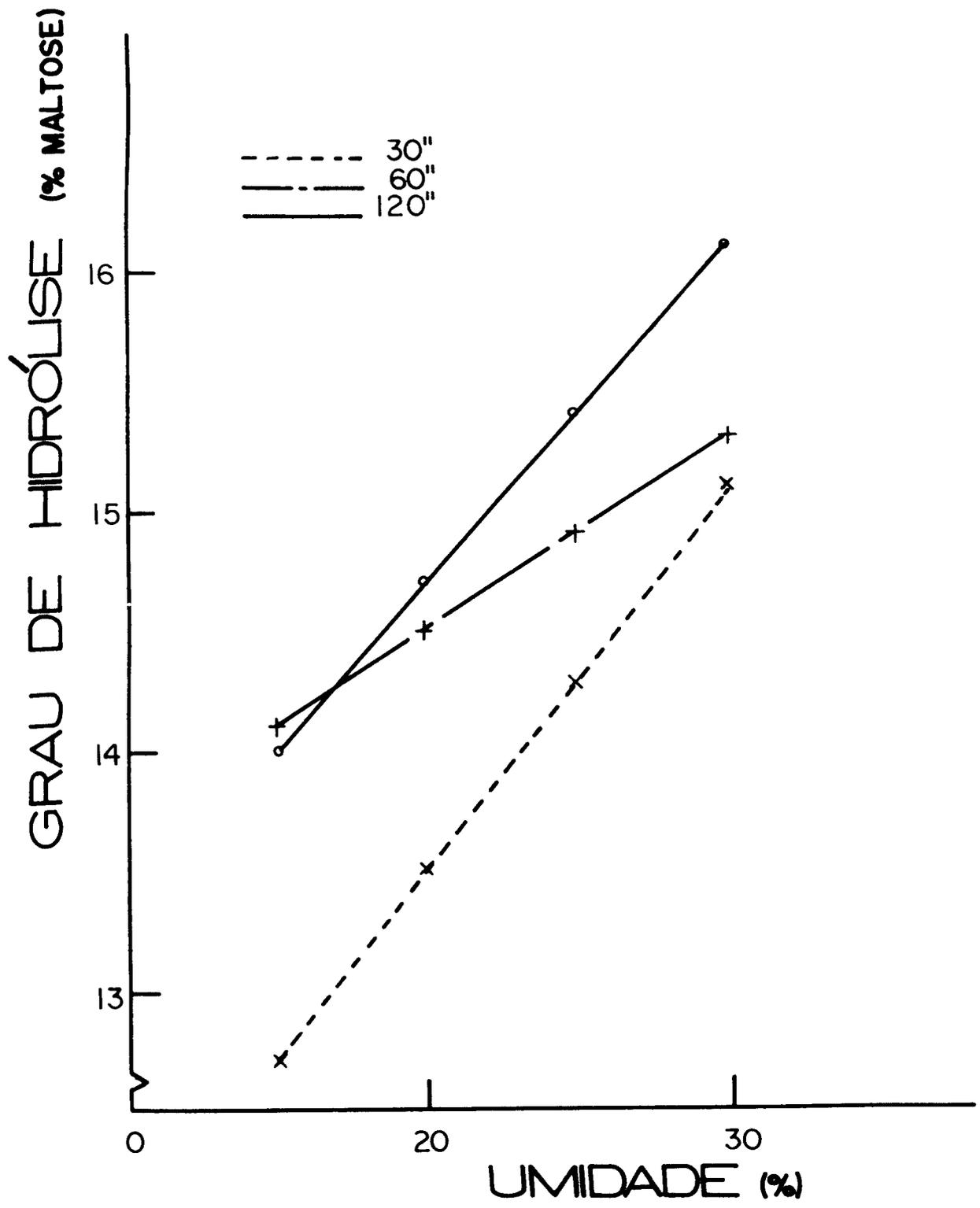


FIGURA 31: Efeito da umidade no grau de hidrólise, do sorgo descascado tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

TABELA XXV

Efeito da umidade nos índices de solubilidade e absorção de água para o sorgo tratado com microondas a vários tempos de tratamento

Tempo de tratamento (seg.)	Umidade do sorgo (%)	Índice de solubilidade (%)	Índice de absorção (%)
controle	12	2,01	3,41
30	15	2,22	3,46
	20	2,43	3,48
	25	2,58	3,51
	30	3,36	3,78
60	15	2,25	3,46
	20	2,46	3,49
	25	2,76	3,60
	30	3,45	3,92
120	15	2,40	3,47
	20	2,49	3,50
	25	2,85	3,67
	30	3,66	4,20

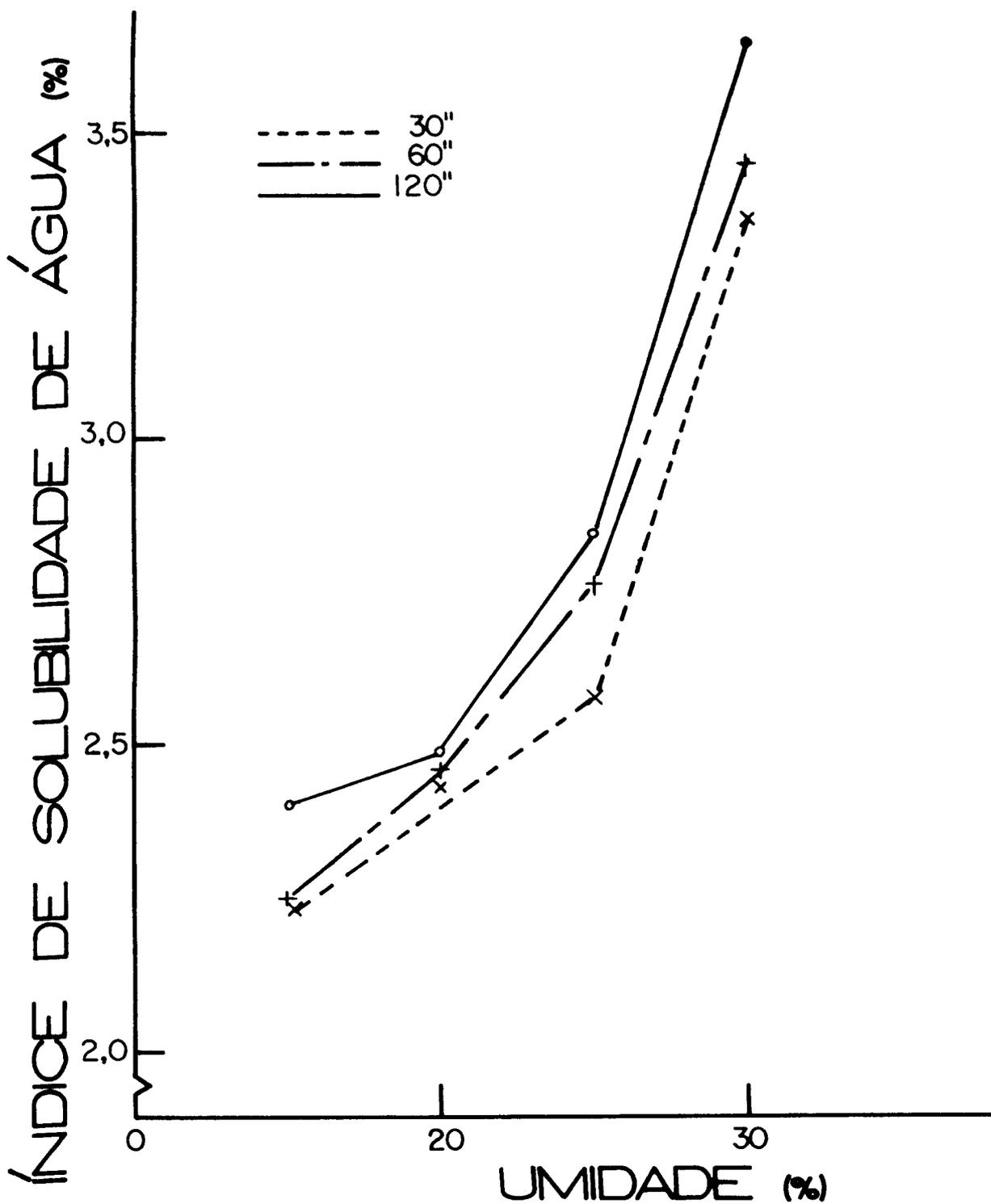


FIGURA 32: Efeito da umidade no índice de solubilidade em água, do sorgo descascado tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

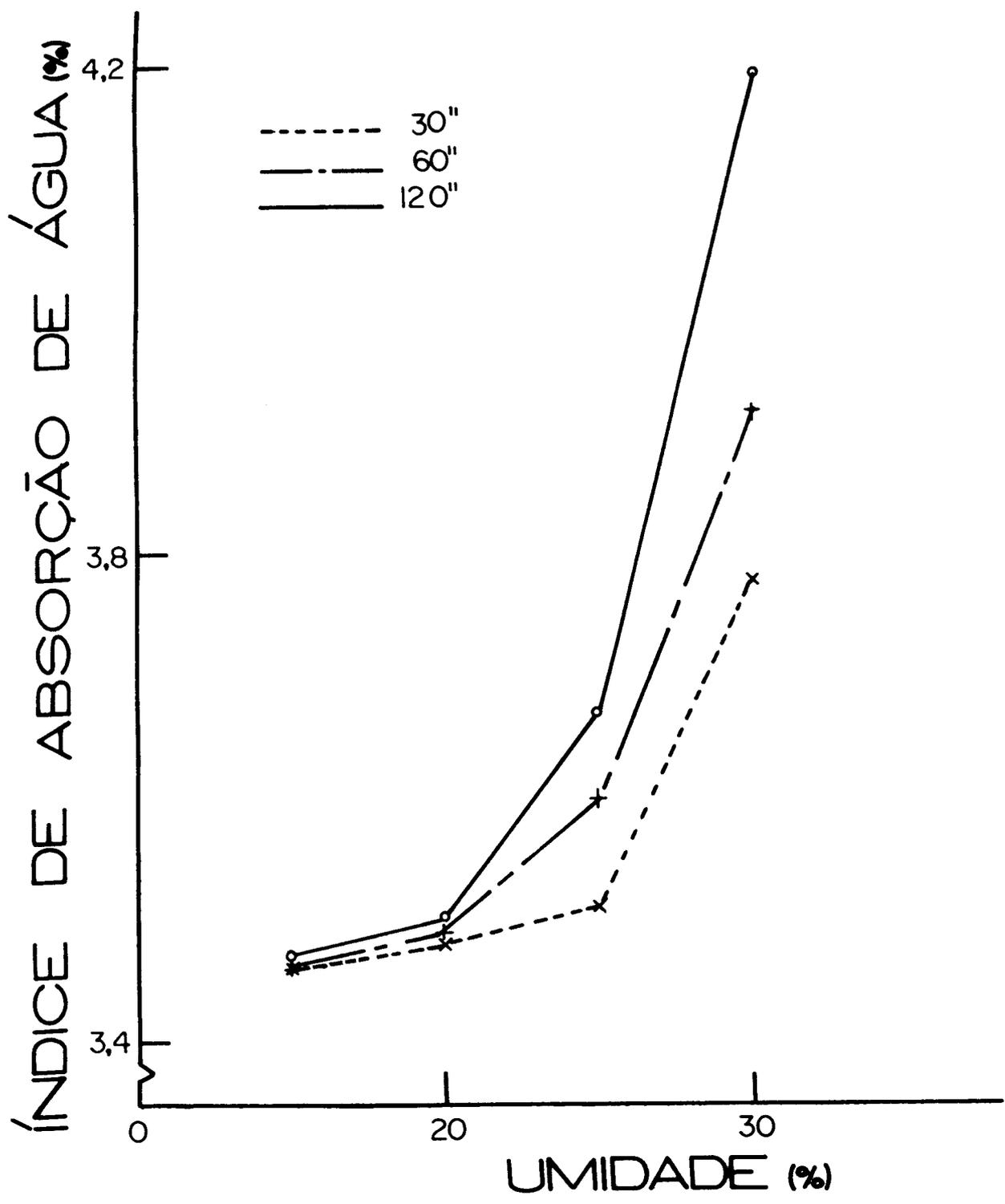


FIGURA 33: Efeito da umidade no índice de absorção de água, do sorgo des\_ cascado tratado com microondas, a vários tempos de tratamento.

## V. CONCLUSÃO

No tratamento com microondas houve maior evaporação de água nas amostras de amido que ficaram mais tempo expostas à radiação. A umidade exerceu menor influência sobre a perda de umidade do que o tempo de tratamento.

As características da pasta de amido também ficaram afetados com a radiação de microondas. A temperatura inicial de gelatinização e a temperatura de viscosidade máxima no aquecimento foram aumentadas ligeiramente nas umidades de tratamento menores, sofrendo aumento significativo quando a umidade foi maior que 25%, principalmente para tempos de exposição acima de 60 segundos. As viscosidades no aquecimento e temperatura constante aumentaram até umidade de 20% quando então, diminuíram nas umidades maiores, para todos os tempos de tratamento considerados. No resfriamento, a viscosidade aumentou até a umidade atingir níveis de 25 a 30%. Com 40% de umidade, a retrogradação diminuiu.

Com o aumento da umidade houve fortalecimento das ligações do amido. Por isso, a energia necessária para rompimento dos grânulos foi maior. A diminuição da viscosidade nas umidades mais altas indica maior rompimento dos grânulos de amido e portanto maior gelatinização. A porcentagem de amido danificado e grau de hidrólise aumentaram, principalmente nas umidades maiores que 20%. Até 20% de umidade, c

emprego de microondas para gelatinização de amido com destino à alimentação humana não é recomendado pois a suscetibilidade enzimática permaneceu aproximadamente constante quando comparada ao controle. Nas umidades acima 30% tanto o índice de solubilidade como o índice de absorção tiveram seus valores aumentados.

O grão descascado de sorgo teve aproximadamente o mesmo comportamento apresentado pelo amido. As microondas também provocaram maior evaporação da água quando as amostras de grão de sorgo permaneceram mais tempo sob radiação.

As características de gelatinização da pasta de grão descascado foram afetadas pelas microondas. A temperatura inicial de gelatinização foi aumentada ligeiramente somente quando a umidade foi maior que 20%. A temperatura de viscosidade máxima também aumentou com o aumento da umidade das amostras. As viscosidades, tanto no aquecimento como à temperatura constante e também no resfriamento, cresceram até unidade de tratamento de 20% e depois diminuíram e foram menores quando o tempo de tratamento aumentou.

As umidades mais altas permitiram maior ataque enzimático. Quando a umidade foi maior que 20%, a porcentagem de amido danificado foi influenciada pelo tempo de tratamento. Somente com umidades maiores que 30%, a suscetibilidade enzimática foi afetada com acentuado aumento da produção de açúcar. O grau de hidrólise aumentou progressivamente com a umidade, com pouca influência do tempo de tratamento. Até 25%

de umidade, tanto o índice de solubilidade como o de absorção sofreram ligeiro aumento e alcançaram valores altos para as umidades maiores que 30%.

Em geral, o efeito da umidade foi mais pronunciado do que o tempo de tratamento da perda de umidade com o tratamento. Para se obter maior gelatinização em ambos, amido e grão de sorgo é necessário aumentar o nível de umidade com um mínimo de 20%, no caso do emprego da energia de microondas para aquecimento.

## VI. BIBLIOGRAFIA

1. AACC - Approved Methods of American Association of Cereal Chemists - 1969 - St. Paul, Minnesota, 55104 - USA.
2. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.V.; GRIFFIN Jr., E.L. - Gelatinization of Corn Grits by Roll - and Extrusion Cooking. Cereal Sci. Today 14(1):4-11 (1969).
3. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.V.; GRIFFIN Jr., E.L. - Roll and Extrusion - Cooking of Grain Sorghum Grits. Cereal Sci. Today 14(11):372-375/381 (1969).
4. ANON - Microwave Dry Pasta. Food Eng. 44(4):94-96 (1972).
5. AREF, M.M.; BRACH, E.J.; TAPE, N.W. - A Pilot-plant continuous - Process Microwave Oven. Can. Inst. Food Tech. J. 2(1):37-41 (1969).
6. BAKER, C.W.; DOTY, N.C. - Microwave Conditioning of Durum Wheat. 2. Optimization of Semolina Yield and Spaghetti Quality. J. Agric. Food Chem. 25(4):819-822 (1977).
7. CHAMBERLAIN, N. - Microwave Energy on the Baking of Bread. Food Trade Review 43(9):8-12 (1973).

8. CHIANG, B.Y.; JONHSON, J.A. - Measurement of Total and Gelatinized Starch by Glucoamylase and o-toluidine reagent. Cereal Chem. 54(3):429-435 (1977).
9. COLLISON, R.; CHILTON, W.G. - Starch Gelation as a Function of Water Content. J. Food Tech. 9(3):309-315 (1974).
10. COPSON, D.A. - Microwave Heating: in freeze-drying, electronic ovens, and other applications. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Conn., (1962).
11. DECAREAU, R.V. - Microwave Energy in Food Processing Applications. CRC Critical Reviews Tech. 1(5):199-224 (1970).
12. DOTY, N.C.; BAKER, C.W. - Microwave Conditioning of Durum Wheat. 1. Effects of Wide Power Range on Semolina and Spaghetti Quality. J. Agric. Food Chem. 25(4):815-819 (1977).
13. DOTY, N.C.; BAKER, C.W. - Microwave Conditioning of Hard Red Spring Wheat. I. Effects of Wide Power Range on Flour and Bread Quality. Cereal Chem. 54(4) : 717-727 (1977).
14. EDWARDS, G.H. - Effects of Microwave Radiation on Wheat

- and Flour: The Viscosity of the Flour Pastes. J. Sci. Fd. Agric. 15(2):108-114 (1964).
15. ELLIOTT, J.S.; McPHERSON, C.M. - Nutrient Values of and Consumer Preference for Grain Sorghum Wafers. J. American Dietetic Association 58(3):225-229 (1971).
16. EPAMIG - Sorgo : Alternativa para Diversificação Agrícola. Informe Agropecuário 56(5), (1979).
17. FEE - Sorgo : Uma Alternativa Econômica 1(7), (1974).
18. FREEMAN, J.E.; WATSON, S.A. - Peeling Sorghum Grain for Wet Milling. Cereal Sci. Today 14(2):10-15 (1969).
19. GOLDBLITH, S.A. - Basic Principles of Microwave and Recent Developments. Advances in Food Research 15(7):277-297 (1966).
20. HUXSOLL, C.C.; MORGAN Jr., A.I. - Microwave for Quick-cooking Rice. Cereal Sci. Today 13(5):203-206 (1968).
21. KAMER, J.H., van; GINKEL, L., van - Rapid Determination of Crude Fiber in Cereals. Cereal Chem. 29(4):239-251 (1952).

22. LORENZ, K.; CHARMAN, E.; DILSAVER, W. - Baking with Microwave Energy. Food Tech. 27(12):28-36 (1973).
23. MAURER, R.L.; TREMBLAY, M.R.; CHADWICK, E.A. - Microwave Processing of Pasta. Food Tech. 25(12):32-37 (1971).
24. MINETT, P.J. - Radio Frequency and Microwave. Food Processing Industry 45(3):36-41 (1976).
25. RADLEY, J.A. - Starch and its Derivatives, 4th ed., Printed by Richard Clay Ltd., Bungay, Suffolk, 1968.
26. REICHERT, R.D.; YOUNGS, C.G. - Dehulling Cereal Grains and Grain Legumes for Developing Countries. I. Quantitative Comparison between Attrition - and Abrasive-Type Mills. Cereal Chem. 53(6):829-839 (1976).
27. REICHERT, R.D.; YOUNGS, C.G. - Dehulling Cereal Grains and - Grain Legumes for Developing Countries. II. Chemical Composition of Mechanically and Traditionally Dehulled Sorghum and Millet. Cereal Chem. 54(1):174-178 (1977).
28. ROBERTS, R.L. - Effect of Microwave Treatment of Pre-Soaked Paddy, Brown and White Rice. J. Food Sci. 42(3):804-806 (1977).

29. ROCKWELL, W.C.; LOWE, E.; HUXSOLL, C.C.; MORGAN Jr., A.I.  
Apparatus for Experimental Microwave Processing. Food  
Tech. 21(9):93-95 (1967).
30. ROONEY, L.W. - A Review of the Physical Properties, Com-  
position and Structure of Sorghum Grain as Related to  
Utilization. In "Industrial Uses of Cereals" - Pomeranz,  
Y. 1913 - Symposium Proceedings - AACC.
31. ROONEY, L.W.; CLARK, L.E. - The Chemistry & Processing of  
Sorghum Grain. Cereal Sci. Today 13(7) : 259-265/285  
(1968).
32. RUSSO, J.R. - Microwaves Proof Doughnuts. Food Eng. 43  
(4):55-58 (1971).
33. SALE, A.J.H. - Microwave Applications in the Food Industry  
Food Tech. 20(8):34-36 (1966).
34. SALE, A.J.H. - A Review of Microwave Processing. Food  
Tech. 30(11):319-329 (1976).
35. SANDSTEDT, R.M.; MATTERN, P.J. - Damaged Starch. Quanti-  
tative Determination in Flour. Cereal Chem. 37(3):  
379-390 (1960).

36. SHETTY, R.M.; LINEBACK, D.R.; SEIB, P.A. - Determining the Degree of Starch Gelatinization. Cereal Chem. 51 (3):364-375 (1974).
37. SHIFFMANN, R.F. - Microwave Challenge Today's Heat Processing. Food Eng. 29(11):72-76 (1975).
38. SHIFFMANN, R.F.; ROTH, H.; STEIN, E.W.; KAUFMAN Jr., H.B.; HOCHUSER, A.; FRANK, C. - Applications of Microwave Energy to Doughnut Production. Food Tech. 25(7):58-62 (1971).
39. SULLIVAN, J.W.; JOHNSON, J.A. - Measurement of Starch Gelatinization by Enzyme Susceptibility. Cereal Chem. 41(3):73-79 (1964).
40. SWEARINGIN, M.L.; LEADER, T.; FOLEY, J.R.; MORRIS, W.H.M.; NEVES, J.D. - The Market for Grain Sorghum. In "Grain Sorghum for Northeastern Brazil - A Feasibility Study". Division for International Programs in Agriculture (June 1971).
41. TAPE, N.W. - Application of Microwave Energy in Food Manufacture. Can. Inst. Food Tech. J. 3(2):39-43 (1970).
42. TROPICAL PRODUCTS INSTITUTE - Proceedings of a Symposium

on Sorghum and Millets for Human Food. Ed. by D.A.V. Dendy Chairman, ICC Study Group 32 (1977).

43. WALL, J.S.; BLESSIN, C.W. - Composition & Structure of Sorghum Grains. Cereal Sci. Today 14(8) : 264-270/276 (1969).
44. WALL, J.S.; PAULIS, J.W. - Corn and Sorghum Grain Proteins. In "Advances in Cereal Science and Technology", Pomeranz, Y.; vol. II, pag. 135-219, Ed. by AACC, Inc., St. Paul, Minnesota.
45. WALL, J.S.; ROSS, W.M. - Sorghum Production and Utilization The AVI Publ. Co., Inc., Westport Conn. (1970).
46. WATSON, S.A. - Determination of Starch Gelatinization Temperature. In "Methods in Carbohydrate Chemistry". Ed. by Whistler, vol. IV, pag. 240-243. Academic Press. N. York (1964).

*Eterna gratidão e afeto  
aos meus pais e irmãos.*