

ORGANIZADORES

MAURÍCIO DE OLIVEIRA

GUSTAVO HEINRICH LANG

CRISTIANO DIETRICH FERREIRA

MILHO

Química, tecnologia e usos



Blucher

Maurício de Oliveira
Gustavo Heinrich Lang
Cristiano Dietrich Ferreira
organizadores

MILHO

Química, tecnologia e usos

Milho: química, tecnologia e usos

© 2022 Maurício de Oliveira, Gustavo Heinrich Lang e Cristiano Dietrich Ferreira (organizadores)

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonas Eliakim

Produção editorial Thaís Costa

Preparação de texto Évia Yasumarú

Diagramação Felipe Gigek

Revisão de texto MPMB

Capa Leandro Cunha

Imagem da capa iStockphoto

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Milho: química, tecnologia e usos / organizado por Maurício de Oliveira, Gustavo Heinrich Lang, Cristiano Dietrich Ferreira. – São Paulo : Blucher, 2022.
432 p.

Bibliografia

ISBN 978-65-5506-439-1

1. Engenharia de alimentos 2. Milho II. Lang, Gustavo Heinrich III. Ferreira, Cristiano Dietrich

21-5024

CDD 660

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia de alimentos

CONTEÚDO

1. PRODUÇÃO, ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO	13
Resumo	13
1.1 Introdução	13
1.2 Importância do milho	14
1.3 Considerações finais	25
Referências	25
2. CARBOIDRATOS	29
Resumo	29
2.1 Introdução	29
2.2 Composição dos carboidratos de milho	30
2.3 Processo de síntese de carboidratos e suas estruturas	40
2.4 Manejo de lavouras na formação e qualidade dos carboidratos	40
2.5 Processos de secagem na estrutura de carboidratos	42
2.6 Processos de armazenamento na estrutura de carboidratos	43
2.7 Carboidratos não amiláceos	46
2.8 Tendências de utilização de carboidratos de milho	49

Referências	50
3. PROTEÍNA	55
Resumo	55
3.1 Introdução	55
3.2 Aminoácidos	56
3.3 Proteínas do milho	57
3.4 Propriedades das proteínas	62
3.5 Alterações nas proteínas do milho na pós-colheita	64
3.6 Aplicações	66
Referências	66
4. ÓLEO DE MILHO	69
Resumo	69
4.1 Introdução	69
4.2 Caracterização do gérmen e do óleo de milho	71
4.3 Extração do óleo de milho	74
4.4 Refino do óleo de milho	76
4.5 Qualidade do óleo de milho	79
4.6 Antioxidantes adicionados	81
4.7 Outros processos industriais para o óleo de milho	82
Referências	84
5. COMPONENTES BIOATIVOS DO MILHO	87
Resumo	87
5.1 Introdução	87
5.2 Compostos bioativos	89
5.3 Considerações finais e perspectivas futuras	102
Referências	102

6. OPERAÇÕES E ETAPAS PRÉ-INDUSTRIAIS	109
Resumo	109
6.1 Introdução	109
6.2 Operações de pré-industrialização	110
6.3 Transporte	111
6.4 Recepção	112
6.5 Pré-limpeza	114
6.6 Secagem	115
6.7 Limpeza	117
6.8 Armazenamento	118
Referências	119
7. PROCESSOS DE MOAGEM	121
Resumo	121
7.1 Introdução	121
7.2 Moagem por via seca	123
7.3. Moagem por via úmida	124
Referências	132
8. FARINHAS E PRODUTOS DEGERMINADOS	135
Resumo	135
8.1 Introdução	135
8.2 Farinha de milho integral	136
8.3 Produtos derivados da moagem por via seca	137
8.4 Produtos derivados da moagem via úmida	141
8.5 Considerações finais	148
Referências	148

9. AMIDOS MODIFICADOS	153
Resumo	153
9.1 Introdução	153
9.2 Amido de milho modificado	154
9.3 Modificações químicas	157
9.4 Modificações físicas	161
9.5 Modificações enzimáticas	163
9.6 Estudos com amido de milho modificado e suas aplicações na nanotecnologia e em embalagens de alimentos	165
9.7 Considerações finais	167
Referências	167
10. FARINHAS E PRODUTOS DEGERMINADOS	171
Resumo	171
10.1 Introdução	171
10.2 Fatores que afetam as propriedades dos produtos à base de farinha de milho	172
10.3. Produtos à base de milho	176
10.4. Alternativas para melhorias de produtos à base de farinha de milho	180
Referências	182
11. PRODUTOS EXTRUSADOS DE MILHO	185
Resumo	185
11.1 Introdução	185
11.2 Características da matéria-prima	186
11.3 Equipamentos	186
11.4 Condições de processo	190
11.5 Qualidade tecnológica dos extrusados	192
11.6 Qualidade nutricional dos extrusados	200
11.7 Tendências e desafios	206

11.8 Agradecimentos	206
Referências	206
12. MILHO DOCE	213
Resumo	213
12.1 Introdução	213
12.2 Características da cultura de milho doce	215
12.3 Maturação e ponto de colheita	216
12.4 Industrialização do milho doce	217
12.5 Armazenamento de milho doce	223
12.6 Considerações finais	223
Referências	223
13. MILHO PIPOCA	227
Resumo	227
13.1 Introdução	227
13.2 Composição do milho pipoca	229
13.3 Processamento e industrialização do milho pipoca	238
13.4 Influência dos métodos de expansão do milho pipoca na sua qualidade e aceitação	240
13.5 Efeitos benéficos para saúde	242
13.6 Considerações finais	245
Referências	245
14. BEBIDAS FERMENTADAS	251
Resumo	251
14.1 Introdução	251
14.2 Milho como adjunto em bebidas	253
14.3 Milho como base para bebidas fermentadas	259

Referências	264
15. MILHO GERMINADO	267
Resumo	267
15.1 Introdução	267
15.2 Processo de germinação e características do milho germinado	268
15.3 Processamento industrial e aplicações do milho germinado	274
15.4 Considerações finais	276
Referências	276
16. ETANOL	279
Resumo	279
16.1 Introdução	279
16.2 Pré-tratamento da matéria-prima	280
16.3 Extração do amido e hidrólise enzimática	283
16.4 Tecnologias de fermentação para a produção de etanol	284
16.5 Características do etanol de milho e rendimento energético	285
16.6 Aspectos ambientais da produção	287
Referências	287
17. EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE MILHO	293
Resumo	293
17.1 Introdução	293
17.2 Materiais biodegradáveis derivados de milho	295
17.3 Processos para obtenção de embalagens biodegradáveis	302
17.4 Tipos de embalagens biodegradáveis à base de milho	308
17.5 Perspectivas futuras	320
Referências	320

18. NIXTAMALIZAÇÃO	335
Resumo	335
18.1 Introdução	335
18.2 Processo convencional de nixtamalização	337
18.3 Tecnologias alternativas ao processo convencional de nixtamalização	339
18.4 Fatores que afetam a qualidade do produto nixtamalizado	344
18.5 Alterações nas propriedades do amido, no valor nutricional e no teor de micotoxinas em milho nixtamalizado	346
18.6 Produtos elaborados com milho nixtamalizado	352
18.7 Considerações finais	353
Referências	353
19. METODOLOGIAS E QUALIDADE SENSORIAL DE MILHO E SEUS PRODUTOS	361
Resumo	361
19.1 Introdução	361
19.2 Características e interferências na qualidade	362
19.3 Condições para avaliação sensorial	365
19.4 Atributos de avaliação	367
19.5 Métodos sensoriais	358
19.6 Considerações finais	368
Referências	379
20. MILHOS ANDINOS PERUANOS	381
Resumo	381
20.1 Introdução	381
20.2 História do milho no Peru	383
20.3 Classificação: raças de milho andino	383
20.4 Características morfológicas	385

20.5 Valor nutricional	388
20.6 Compostos bioativos e benefícios a saúde	389
20.7 Importância do milho andino no Peru	391
20.8 Cadeia produtiva	393
20.9 Aplicações culinárias e produtos industrializados	394
20.10 Conclusão	399
Agradecimentos	400
Referências	400
21. ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS DURANTE O PROCESSAMENTO DO MILHO	407
Resumo	407
21.1 Introdução	407
21.2 Valor nutricional	409
21.3 Conclusão	425
21.4 Agradecimentos	425
Referências	425
22. AUTORES	429

CAPÍTULO 1

PRODUÇÃO, ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO

Eberson Dietrich Eicholz

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea da família Poaceae, sendo cultivado e fazendo parte da dieta humana há milhares de anos. A origem é a região do México, sendo uma espécie muito domesticada e altamente produtiva, com adaptações a praticamente todos os continentes e atualmente é o cereal mais produzido no mundo. É importante não somente para a alimentação humana, mas também na indústria e, principalmente, para a alimentação animal. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, precedido da China e dos Estados Unidos. A maior parte do milho consumido no Brasil é destinada para as cadeias de suínos, aves e outros animais; o uso pela indústria e para consumo humano é de aproximadamente 15%. A produção do grão tem relevante importância na agricultura familiar, estando presente em grande parte das propriedades. O país se destaca entre os exportadores, estando em segundo lugar com representação superior a 20% do volume total. O milho tem muitas aplicações na indústria, que vai desde a produção de farinhas e canjicas até aplicações mais aprimoradas, como na indústria química e farmacêutica. O grão de milho é composto por aproximadamente 72% de amido, 10% proteínas e 5% de óleo, além de açúcares, minerais e fibras; e é dividido em quatro principais estruturas físicas: endosperma, gérmen, pericarpo e ponta.

1.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea da família Poaceae, muito domesticada e com ciclo que depende do genótipo e do clima da região, podendo variar de 90 a mais de 180 dias. É uma espécie C4 sendo extremamente eficiente na assimilação de CO₂, com alta taxa de atividade fotossintética. As variedades melhoradas estão entre as espécies alimentares mais produtivas mundialmente. A taxa de multiplicação é uma das mais

elevadas da produção vegetal, possibilitando produtividades superiores a 15 toneladas por hectare com menos de 20 kg de sementes.

O milho é uma planta milenar originada da planta teosinto na região do México (PATERNIANI et al., 2000; PARK et al., 2016). Foi base para alimentação das civilizações maia, asteca e inca que reverenciavam o cereal na cultura, presente nas manifestações religiosas e artísticas desses povos. O milho já fazia parte da dieta indígena na época de descoberta do Brasil em 1500 (PATERNIANI et al., 2000).

É uma cultura adaptada ao uso de tecnologias avançadas de cultivo e em sistemas simples e manuais o que torna o cereal presente em quase todas as propriedades, principalmente as de base familiar. É cultivado em praticamente todos os continentes em diferentes condições, porém, para cada região, existem milhos distintos com adaptações específicas (PATERNIANI et al., 2000). Assim encontramos variedades adaptadas a condições de altitude, solos de várzea, climas subtropicais e tropicais, resultado de esforços humanos para cultivar milho em condições de solo, climas e configurações topográficas diversas.

O milho possibilita uma infinidade de formas de usos desde a alimentação humana e animal (Capítulos 7 a 16), produção de combustíveis (Capítulo 17) até a produção de filmes e embalagens biodegradáveis (Capítulo 18). É um cereal energético, nutricionalmente importante, rico em amido, possui proteína, lipídeos, fibras, micronutrientes, vitaminas, β -caroteno e minerais essenciais, como magnésio, zinco, fósforo e cobre. O milho também contém antioxidantes que protegem de várias doenças degenerativas (AI; JANE, 2016; SHAH et al., 2016).

Este cereal não contém glúten, assim, atende à demanda de pessoas que têm alergia ou intolerância ao glúten (celíacos). O milho pode ser utilizado diretamente na alimentação humana na forma de pipoca, canjica, cozido ou assado na espiga, ou ainda na forma de farinhas para fazer bolo de milho, pudins, pirão e polenta.

Estas características tornam o milho uma das espécies de grãos mais importantes mundialmente tanto no âmbito social como econômico, pela sua alta disponibilidade e acessibilidade, baixo custo e valor nutricional.

1.2 IMPORTÂNCIA DO MILHO

1.2.1 PRODUÇÃO E DEMANDA

1.2.1.1 Mundo

Os cereais mais produzidos no mundo são milho, trigo e arroz e contribuem com 50-60% das necessidades diárias de energia humana (BATHLA *et al.*, 2019).

Segundo dados da Food and Agriculture Organization (FAO, 2020), o trigo possui a maior área cultivada, no entanto o milho possui maior produtividade por hectare,

o que o torna o cereal com maior produção mundial (Tabela 1.1). São semeados 194 milhões de hectares com produção superior a 1 bilhão de toneladas em 2018.

Segundo López-Pereira e Garcia (1997), o arroz e o trigo são os principais cereais usados na alimentação humana, enquanto o milho é a mais importante fonte de energia para alimentação animal. O milho ganha destaque na produção de combustível (etanol) principalmente nos Estados Unidos, segundo United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service (USDA/FAS, 2020), além de ser utilizado para fabricação dos mais diversos produtos na indústria química (AI; JANE, 2016; RIOS *et al.*, 2011; PAES, 2006).

Tabela 1.1 Produção, área colhida e produtividade das quatro mais importantes espécies de grãos produzidos no mundo, safra 2018.

Cultura	Produção x 1000 ton	Área Colhida x 1000 ha	Produtividade kg. ha ₋₁
Milho	1.147.621	193.734	5.924
Arroz em casca	782.000	167.133	4.679
Trigo	734.045	214.292	3.425
Soja	348.712	124.922	2.791

Fonte: FAOSTAT (2018).

De acordo com os dados das organizações USDA, FAS e FAO (2020), os principais produtores de milho no mundo atualmente são os Estados Unidos, China e Brasil, que em conjunto respondem por 63% da produção de milho no mundo (Tabela 1.2), sendo estes também os principais consumidores.

Tabela 1.2 Principais países produtores e consumidores de milho no mundo, safra 2019/20.

Países	Produção	Consumo	Produção	Consumo
	milhões/toneladas		%	
Estados Unidos	347.782	312.308	31	28
China	260.770	279.000	23	25
Brasil	101.000	66.000	9	6
União Europeia	65.000	82.500	6	7
Argentina	50.000	15.000	5	1
Índia	29.000	29.000	3	3
México	25.000	44.500	2	4
Ucrânia	35.500	6.400	3	1
Outros	196.783	300.484	18	26
Mundo	1.110.835	1.135.192	100	100

Fonte: Elaborado de USDA/FAS (2020).

Praticamente todo milho colhido é consumido no mesmo ano ou safra (Figura 1.1). Alguns grandes produtores de milho como a China, União Europeia e México continuam deficitárias e importam principalmente dos Estados Unidos e do Brasil.

O milho é uma importante commodity movimentando cerca de 174 milhões de toneladas em 2019. Os estoques mundiais são de aproximadamente 297 milhões de toneladas, permitindo uma segurança de suprimento do grão por aproximadamente três meses.

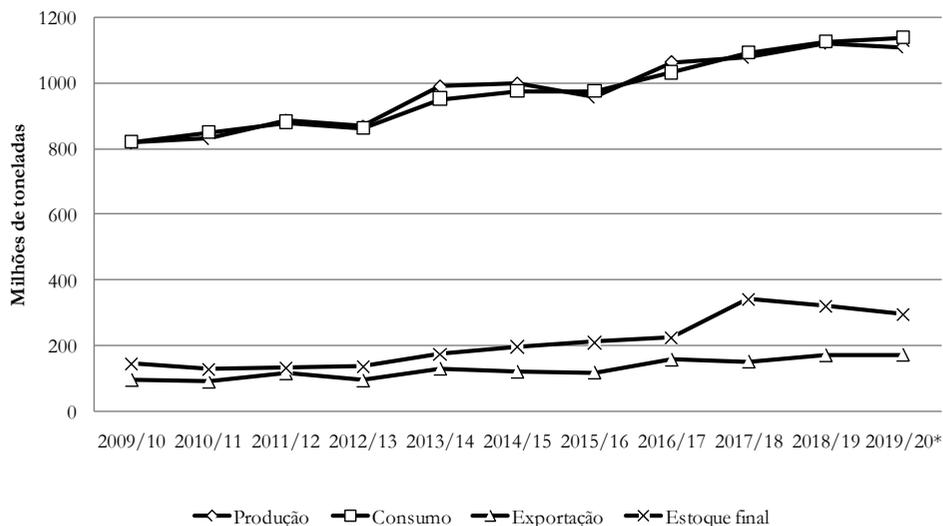


Figura 1.1 Produção, consumo, exportação e estoques de milho de 2009 a 2020 em milhões de toneladas.

Fonte: USDA/FAS (2020).

1.2.1.2 Brasil

Devido a suas características fisiológicas, o milho apresenta alto potencial produtivo. A média nacional de produtividade é baixa (Tabela 1.3), cerca de 5700 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2020). No entanto segundo dados de pesquisa foram encontradas produtividades superiores a 15 ton.ha⁻¹ (ARGENTA *et al.*, 2003).

Dentre os grãos cultivados no Brasil, o milho é um dos mais expressivos, com cerca de mais de 100 milhões de toneladas de grãos produzidas, em uma área de aproximadamente 17,5 milhões de hectares, considerando a três safras que ocorrem por ano agrícola, dentre as quais a safrinha (semeada de abril a junho), a mais expressiva quanto à produção (CONAB, 2020).

O milho é o segundo colocado entre os grãos produzidos no Brasil, ficando atrás apenas da cultura da soja, que na mesma safra produziu cerca de 115 milhões de toneladas (15% a mais), porém utilizando o dobro da área ocupada pelo milho.

Tabela 1.3 Produção, área colhida e produtividade das quatro mais importantes espécies de grãos mais produzidos no Brasil, safra 2018/19

Cultura	Produção x 1000 ton	Área Colhida x 1000 ha	Produtividade kg.ha ⁻¹
Milho	100.043	17.493	5.719
Arroz em casca	10.484	1.703	6.158
Trigo	5.155	2.041	2.526
Soja	115.030	35.874	3.206

Fonte: Conab (2020).

Nas últimas dez safras ocorreu um aumento de mais de 40% da produção do milho, provavelmente estimulado pelo maior consumo e pela exportação, que dobrou no período (Figura 1.2).

A exportação do Brasil é significativa e importante para a economia. O volume foi próximo a 10 milhões de toneladas em 2010/11 e praticamente quadruplicou em dez anos. O estoque representa em torno de 13% do consumo, o que possibilita um suprimento inferior a dois meses.

O consumo interno de milho está numa ascendente, estimulado principalmente pelo aumento da produção de proteína animal para consumo interno e exportação. Entre os anos 2000 e 2018, o volume produzido de carne de frangos cresceu 2,2 vezes, o da carne suína 1,4 vezes e o da carne bovina 1,5 vezes no país (TALAMINI *et al.*, 2018).

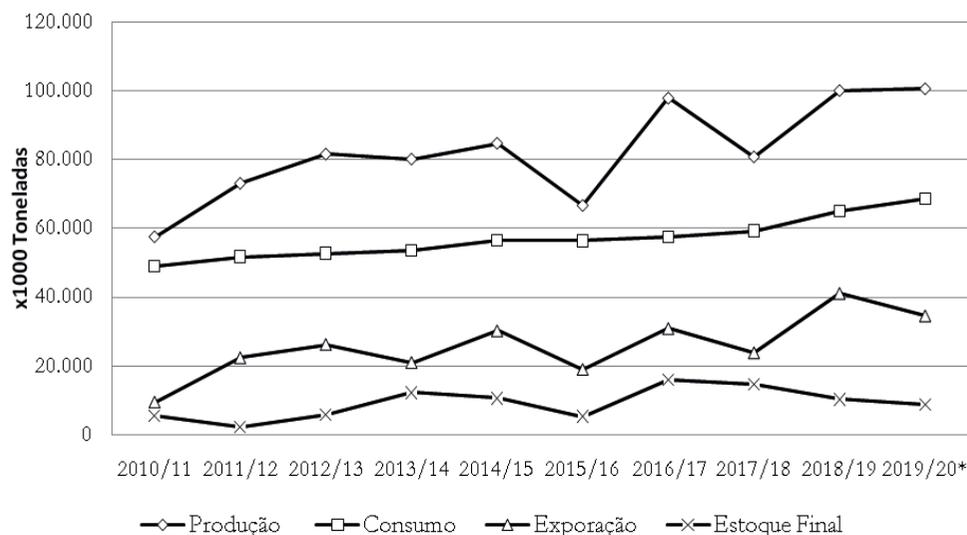


Figura 1.2 Produção, consumo, exportação e estoques de milho no Brasil de 2010/11 a 2019/20 (estimativa de julho de 2020) em 1.000 toneladas.

Fonte: Conab (2020).

Existe uma disparidade muito grande entre as regiões brasileiras tanto em área, quanto em produção e produtividade, segundo dados da Conab (2020) o centro-oeste atualmente é a principal região produtora de milho do Brasil e junto com o sul e sudeste são responsáveis por mais de 90% da produção nacional. O norte e nordeste têm importância menor em área, produção e produtividade (Tabela 1.4).

Segundo dados do IBGE, cerca de 90% dos estabelecimentos cultivam até cinco hectares de milho somando quase 1,5 milhões de propriedades. Este dado mostra a importância principalmente do milho na agricultura familiar, apesar de não representar muito na área cultivada e produção.

Tabela 1.4 Área, produtividade e produção de milho por região do Brasil, safra 2018/19

REGIÃO	Produção (x 1000 tons)	Produtividade (kg. ha ⁻¹)	Área (x 1000 ha)
Norte	3.076	4.161	739
Nordeste	6.677	2.664	2.507
Centro-Oeste	52.826	6.197	8.524
Sudeste	12.153	5.995	2.027
Sul	25.310	6.849	3.696
Norte/Nordeste	9.753	3.005	3.246
Centro-Sul	90.290	6.337	14.247
Brasil	100.043	5.719	17.493

Fonte: Conab (2020).

Embora represente menos de 1% dos estabelecimentos, atualmente a maior parte da área do milho está em propriedades superiores a 500 ha representando 57% da área colhida com 53 % da produção.

Tabela 1.5 Número de estabelecimentos, área colhida e produção de milho em grão, por grupo de área colhida - Brasil - 2017

Variáveis selecionadas	Estabelecimentos		Área colhida		Produção	
	Número	%	Hectares (x1000)	%	Toneladas (x1000)	%
De 0 a menos 5	1.497.630	90,5	3.455	3,9	1.442	9,1
De 5 a menos 20	99.154	6,0	4.658	5,3	900	5,7
De 20 a menos 50	25.452	1,5	4.512	5,1	777	4,9
De 50 a menos 100	11.637	0,7	4.744	5,4	815	5,2
De 100 a menos 500	15.460	0,9	20.158	22,9	3.376	21,4
De 500 e mais	6.117	0,4	50.573	57,4	8.474	53,7
Total	1.655.450	100	88.100	100	15.784	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

A utilização do milho é versátil. Apesar de ser usado principalmente para produção de rações para uso animal, o milho tem uso significativo na alimentação humana e na indústria do etanol.

No Brasil, cerca de 50 milhões de toneladas são destinadas para uso na alimentação animal, o que representa aproximadamente 46% do total produzido, significando mais de 75% do milho consumido no país (Tabela 1.6). O uso do milho na ração animal destina-se principalmente para a alimentação de suínos e aves, que são importantes commodities brasileiras (ABPA, 2020).

No cenário do comércio mundial o milho é importante produto de exportação, pois o Brasil exportou mais de 40 milhões de toneladas, o que representa mais de 20% do mercado desta commodity no mundo, segundo dados da USDA e FAS (2020), que somaram aproximadamente 174 milhões de toneladas em 2019 (Figura 1.1).

Tabela 1.6 Principais usos do milho em mil toneladas e participação percentual do consumo total no Brasil, safra 2018/19

Itens	Milho (x 1000 tons)	Participação (%)	
		Demanda	Total
Consumo animal	49.703	75	46,5
Suinocultura	13.384	20	12,5
Aves de corte	24.230	37	22,7
Aves de postura	4.309	7	4,0
Bovinocultura	4.250	10	4,0
Outros animais	3.530	5	3,3
Consumo humano	1.061	2	1,0
Consumo industrial	8.760	13	8,2
Outros usos	3.862	6	3,6
Sementes	459	1	0,4
Perdas	2.009	3	1,9
Total da demanda	65.854	100	62
Exportações	41.000		38
TOTAL	106.854		100

Fonte: Adaptado de CELERES®/SECEX (2020).

O uso do milho na alimentação humana e na indústria representa aproximadamente 15% do milho consumido. Segundo dados da FAO (2020), o consumo *per capita* médio do milho na alimentação humana é de aproximadamente 24 kg no Brasil, inferior ao consumo *per capita* de quase 42 kg em países africanos e de 136 kg *per capita* no México.

Os dados do consumo humano de milho são bastante escassos e baseados em estimativas. Segundo a Abimilho, no ano de 2019 o consumo humano e pela indústria representou mais de 11 milhões de toneladas, sendo destes 3 milhões para o consumo

humano direto e outros 8 milhões processados pela indústria, que também podem ter uso para alimentação humana. O etanol já responde por 2 milhões de toneladas de milho (Figura 1.3). No Brasil este uso é mais recente, mas países como os Estados Unidos etanol produzido a partir do milho tem importância global e é a principal fonte de bioenergia do país (USDA/FAS, 2020)

A transformação do milho em diversos derivados possibilita o uso desse cereal como excelente fonte de matéria-prima para a indústria de alimentos. Do milho obtêm-se em torno de noventa derivados diferentes; dentre eles, os principais são *grits*, fubá, canjica, óleo, amido, amilose, amilopectina, zeína e fibras (GONÇALVES *et al.*, 2003).

Alem da aplicação em produtos alimentícios, o uso estende-se às indústrias química, farmacêutica, de papéis, têxtil, entre outras de aplicação ainda mais nobres (PAES, 2006; STRAZZI, 2015).

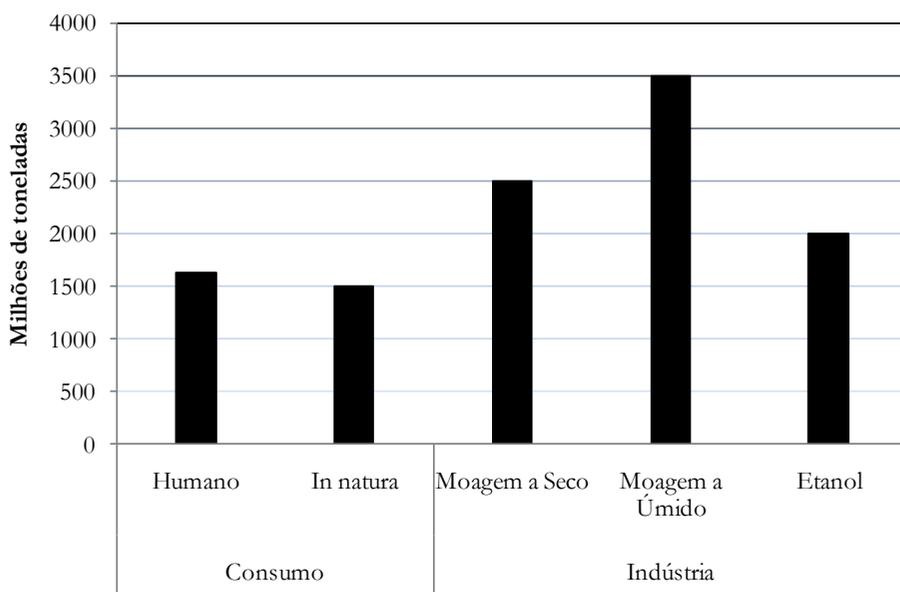


Figura 1.3 Consumo de milho humano e industrial do Brasil – 2019.

Fonte: Abimilho (2020).

São basicamente dois processos que dão origem aos derivados do milho na indústria, a moagem seca e a moagem úmida (PAES, 2006; STRAZZI, 2015). Na Tabela 1.7 foram listados os principais derivados e aplicações do milho, desde os menos processados até a indústria especializada.

Cabe lembrar que na formulação de rações muitos subprodutos da indústria também são utilizados como os flocos e farinhas de milho pré-cozidas, farelos de milho e de germen desengordurado, fibras entre outros (PAES, 2006; STRAZZI, 2015).

Tabela 1.7 Produtos derivados do milho e principais aplicações ou que contêm seus componentes isolados ou transformados industrialmente

Produtos	Principais aplicações
Canjicas	Pipoca doce, alimentos matinais (<i>corn flakes</i>), farinha biju e bebidas alcoólicas.
Canjiquinhas	Salgadinhos (<i>snacks</i>).
Grits	Cervejarias, salgadinhos (<i>snacks</i>), mineração e extrusados para a substituição de isopor.
Farinhas e fubás	Alimentos infantis, colorífico, panificação, misturas preparadas para bolo, biscoitos e massas alimentícias, tecelagem, explosivos e indústrias de ração animal.
Farinha de milho pré-gelatinizada	Alimentos instantâneos, fertilizantes, perfuração de poços de petróleo, fundição e indústria de ração animal.
Amido de milho	Pós para sobremesas, panificação, misturas preparadas para bolos e outras, fermento em pó, alimentos infantis, produtos cárneos, mostardas, sopas, massas alimentícias, produtos farmacêuticos, processos de fermentação, papel, papelão ondulado, tecelagem, mineração, explosivos, adesivos, giz, cosméticos, produtos de limpeza e de recuperação industrial da água.
Amidos modificados	Balas de goma, bebidas, alimentos instantâneos, alimentos infantis, alimentos pré-cozidos congelados, veículos para aromas e corantes, molhos, papel, papelão ondulado, fitas gomadas, tecelagem e perfuração de poços de petróleo.
Dextrina	Adesivos, lixas, papéis abrasivos, estampagem de tecidos, sacos de papel multifoliado, cartonagem e mineração.
Xaropes de glicose e maltose	Balas duras, balas mastigáveis, gomas de mascar, doces, creme e suco de frutas, geleias e compotas, coberturas, produtos cárneos e embutidos, misturas preparadas (bolos, alimentos infantis, pós para pudins), xaropes, sorvetes, cervejas, refrigerantes, molhos, bebidas alcoólicas, alimentos matinais, panificação, molhos e produtos farmacêuticos.
Liquor de milho	Antibióticos, produtos farmacêuticos, enzimas, produtos de fermentação e ração animal.
Flocos de milho e farinhas de milho pré-cozidas	Sopas, biscoitos, indústrias de ração animal.

Fontes: Adaptado de Strazzi (2015) e Rios *et al.* (2011).

1.2.2 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO GRÃO DE MILHO

O grão de milho é formado por quatro principais estruturas físicas: endosperma, gérmen, pericarpo e ponta (Figura 1.4), as quais diferem em composição química e também na organização estrutural do grão. A composição média em base seca é 72%

de amido, 10% proteínas e 5% de óleo. Mas existem variações significativas na composição relacionadas a genética da variedade, nível e tipo de adubação, ambiente de cultivo e ocorrência de pragas (LIMA *et al.*, 2005).

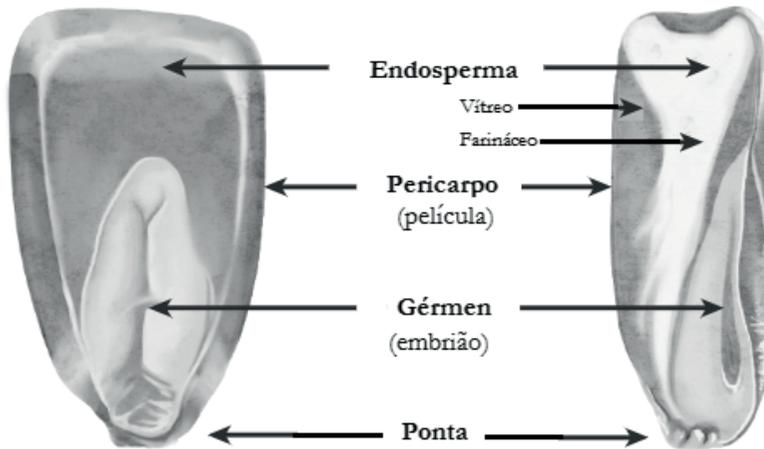


Figura 1.4 Composição básica do grão de milho.

Fonte: Adaptado de Strazzi (2015).

A endosperma é constituída basicamente de amido (Tabela 1.8) e de aproximadamente 10% de proteína, que inclui albuminas, globulinas, glutelinas e zeína, sendo que este último grupo representa de 50% a 70% da proporção total (GIBBON; LARKINS, 2005), e por isso é muito importante na alimentação humana (SHAH *et al.*, 2016).

Em termos de aminoácidos, geralmente o milho comum é deficitário em lisina e triptofano (LIMA *et al.*, 2005; MOTUKURI, 2019), mas existem variedades de milho QPM (Quality Protein Maize) com maior valor biológico de proteína, o que possibilita o melhor aproveitamento metabólico por animais monogástricos como suínos, aves, peixes e equídeos.

Em muitos casos, principalmente na agricultura familiar, o milho pode ser a única fonte proteica, que devido à melhor eficiência de sua conversão alimentar proporciona ganhos de peso significativos (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Na alimentação humana, os milhos QPM têm mostrado superioridade em relação ao milho normal, representando uma excelente fonte proteica (GIBBON; LARKINS, 2005; GLÓRIA *et al.*, 2004; LIMA *et al.*, 2005; MOTUKURI, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2007). Pode ser usado em suplementos nutricionais, pelo alto valor nutritivo, expresso por sua qualidade proteica, e com baixa relação custo/benefício no controle e combate à desnutrição infantil principalmente (GLÓRIA *et al.*, 2004; NAVES *et al.*, 2004).

O pericarpo é uma camada fina, quase invisível e fortemente aderida à camada de aleurona, que representa aproximadamente 5% do peso seco do grão. O pericarpo é semipermeável e protege o endosperma e o embrião da elevada umidade do ambiente, insetos e microrganismos. É constituído basicamente de polissacarídeos do tipo hemicelulose (67%) e celulose (23%) (PAES, 2006).

A ponta é a menor estrutura, constitui cerca de 2% do grão, é o ponto ligação do grão ao sabugo e é a única área do grão não coberta pelo pericarpo, sendo composta por material lignocelulósico (PAES, 2006).

Tabela 1.8 Composição química proximal do grão de milho e seus componentes

Fração	Grão	Amido	Proteína	Lipídeos	Açúcares	Cinzas
Endosperma	82	86,4	9,4	0,8	0,6	0,3
Gérmen	12	8,2	18,8	34,5	10,8	10,1
Pericarpo	5	7,3	3,7	1,0	0,3	0,8
Ponta	1	5,3	9,1	3,8	1,6	1,6
Grão Inteiro	100	71,5	10,3	4,8	2	1,4

Fonte: Tosello (1987).

Praticamente todo amido (98%) e a maior parte da proteína (74%) estão localizados no endosperma, que representa aproximadamente 82% do grão. Esta fração também possui lipídios (15%), açúcares (29%) e minerais (18%) (Tabela 1.9).

Já no gérmen está concentrada quase a totalidade dos lipídeos (83%) e dos minerais (78%) do grão, além de conter quantidades importantes de proteínas (26%) e açúcares (70%).

Tabela 1.9 Percentagem do constituinte total indicado nas estruturas físicas específicas do grão de milho.

Fração	Grão (%)	Amido	Proteína	Lipídeos	Açúcares	Minerais	Fibras
Endosperma	82	98,0	74,0	15,4	28,9	17,9	
Gérmen	11	1,3	26,0	82,6	69,3	78,4	12,0
Pericarpo	5	0,6	2,6	1,3	1,2	2,9	54,0
Ponta	2	0,1	0,9	0,8	0,8	1,0	7,0

Fonte: Adaptado de Paes (2006).

Os grãos de milho encontrados no mercado são, geralmente, amarelos ou alaranjados, mas existem grandes variações na coloração dos grãos da espécie, contemplando tonalidades desde branco, preto, roxo até o vermelho, e muitas vezes são visualizadas inclusive grãos misturas ou grãos rajados. Esta diversidade pode ser encontrada nos bancos de germoplasma dos órgãos de pesquisa, mas também em feiras e eventos relacionados à agrobiodiversidade, mantidas por agricultores guardiões de sementes.

Também ocorrem diferenças quanto ao grupo de grãos de milho após maduros e secos, que são basicamente cinco: milhos dentados, duros, farináceos, pipoca e doce.

As diferenças entre os grupos de milho referem-se à forma e ao tamanho dos grãos, definidos pela estrutura do endosperma e tamanho do gérmen (Tabela 1.10). Os milhos duros diferem dos milhos farináceos e dentados na relação de endosperma farináceo e endosperma vítreo (Capítulo 2).

No Brasil, a comercialização dos grãos e milho seguem os preceitos estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2011). A classificação segue a Instrução Normativa (IN) nº 60 de 22/12/2011 e estabelece que o milho será classificado, de acordo com a consistência e formato do grão, em quatro grupos:

- I. duro: quando apresenta o mínimo de 85% em peso de grãos com as características duro, ou seja, apresentando endosperma predominantemente córneo, exibindo aspecto vítreo; quanto ao formato considera-se duro o grão que se apresenta predominantemente ovalado e com coroa convexa e lisa;
- II. dentado: o mínimo de 85% em peso de grãos com as características de dentado, ou seja, com consistência parcial ou totalmente farináceo; quanto ao formato, considera-se os que apresentam predominantemente dentado com a coroa apresentando reentrância acentuada;
- III. semiduro: quando apresentar o mínimo de 85% em peso de grãos com consistência e formato intermediários entre duro e dentado;
- IV. misturado: quando não estiver compreendido nos grupos anteriores, especificando-se no documento de classificação as porcentagens da mistura de outros grupos.

Tabela 1.10. Formato e proporções do endosperma farináceo e vítreo em grãos de milho. Preto – endosperma vítreo; Branco – endosperma farináceo e Riscado – gérmen



Milho dentado – o endosperma farináceo concentra-se na região central do grão, entre a ponta e o extremo superior. Nas laterais dessa faixa e no verso do grão está localizado o endosperma vítreo. Observa-se a ocorrência de uma endentação na parte superior do grão, caracterizando-o como dentado.



Milho duro – possui um volume contínuo de endosperma vítreo, que resulta em grãos lisos e mais arredondados, com uma aparência dura e vítrea.



Milho farináceo – o endosperma é completamente farináceo, resultando em uma aparência opaca.



Milho pipoca – possuem o pericarpo mais espesso, com o endosperma predominantemente vítreo. Os grãos possuem menor tamanho e formato arredondado.

Fontes: Adaptado de Oliveira *et al.* (2007) e Paes (2006).

1.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta gramínea, que faz parte da dieta humana há milhares de anos, tem como origem o México, é uma espécie domesticada e altamente produtiva, adaptada a praticamente todos os continentes, é o cereal mais produzido do mundo. No Brasil, a maior parte é destinada à alimentação animal e aproximadamente 15% ao consumo humano. O milho tem muitas aplicações na indústria, desde a produção de farinhas até aplicações mais aprimoradas, como na indústria química e farmacêutica. É composto por aproximadamente 72% de amido, 10% de proteínas e 5% de óleo, além de açúcares, minerais e fibras, distribuídos em quatro estruturas físicas: endosperma, gérmen, pericarpo e ponta.

REFERÊNCIAS

ABIMILHO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ÍNDUSTRIAS DO MILHO. Consumo de milho humano e industrial do Brasil – 2020. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/estatisticas/consumo>. Acesso em: agosto de 2022.

ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal). *Relatório anual 2020*. Disponível em: <http://abpa-br.org/>

AI, Yongfeng; JANE, Jay-lin. Macronutrients in corn and human nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 15, n. 3, p. 581-598, 2016.

ARGENTA, Gilber *et al.* Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. *Scientia Agraria*, v. 4, n. 1, p. 27-34, 2003.

BATHLA, Shikha; JAIDKA, Manpreet; KAUR, Ramanjit. Nutritive Value. In: HOSSAIN, Akbar (ed.). *Maize: Production and Use*. 2019.

BRASIL. Instrução Normativa no 60, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece o Regulamento Técnico do Milho. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, n. 246, 23 dez. 2011. Seção 1, p. 3-5.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2019/20. 7:1-74, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>.

FAO. *Food outlook: biannual report on global food markets: June 2020*. Food Outlook, 1. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9509en>.

FAOSTAT; FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>.

GIBBON, Bryan C.; LARKINS, Brian A. Protein storage in maize endosperm. *Trends in Genetics*, v. 4, n. 21, p. 227-233, 2005.

GLÓRIA, Enara Cristina Silva *et al.* Avaliação proteica de uma nova multimistura com base no milho QPM BR 473. *Revista de nutrição*, v. 17, p. 379-385, 2004.

GONÇALVES, Rogério Amaro *et al.* Rendimento e composição química de cultivares de milho em moagem a seco e produção de grits. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, p. 643-650, 2003.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo agropecuário. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?edicao=25757&t=resultados>. Acesso em: 1 ago. 2020.

LIMA, G. J. M. M. *et al.* Qualidade nutricional do milho: padrões e valorização econômica. *In: CONFERÊNCIA APINCO 2005 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA*, 2005, Santos. Palestras... Santos: FACTA, 2005. p. 235-248.

LOPES, Mauricio A.; LARKINS, Brian A. Gamma-Zein content is related to endosperm modification in quality protein maize. *Crop Science*, v. 31, n. 6, p. 1655-1662, 1991.

LOPEZ PEREIRA, M. A.; GARCIA, João Carlos. The maize seed industries of Brazil and Mexico: past performance, current issues and future prospects. México: CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center), 1997.

MAITRA, Sagar; SHANKAR, Tanmoy; BANERJEE, Pradipta. Potential and advantages of maize-legume intercropping system. *In: HOSSAIN, Akbar (ed.). Maize: Production and Use*. 2020.

MOTUKURI, S. R. Krishna. Quality protein maize: An alternative food to mitigate protein deficiency in developing countries. *In: HOSSAIN, Akbar (ed.). Maize: Production and Use*. IntechOpen, 2019.

NAVES, Maria Margareth Veloso *et al.* Avaliação química e biológica da proteína do grão em cultivares de milho de alta qualidade proteica. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 34, n. 1, p. 1-8, 2004.

OLIVEIRA, Jaison Pereira de *et al.* Qualidade física do grão em populações de milho de alta qualidade proteica e seus cruzamentos. *Pesq Agropec Trop*, v. 37, n. 4, p. 233-241, dez. 2007. Disponível em: [https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/ri/13217/5/Artigo – Jaison Pereira de Oliveira - 2007.pdf](https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/ri/13217/5/Artigo%20-%20Jaison%20Pereira%20de%20Oliveira%20-%202007.pdf).

PAES, Maria Cristina Dias. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Circular Técnica (INFOTECA-E). Sete Lagoas (MG): Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Embrapa Milho e Sorgo*, n. 75, dez. 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/489376/1/Circ75.pdf>.

PARK, Sunmin; HONGU, Nobuko; DAILY III, James W. Native american foods: history, culture, and influence on modern diets. *Journal of Ethnic Foods*, v. 3, n. 3, p. 171-177, 2016.

PATERNIANI, E.; NASS, L. L.; SANTOS, M. X. dos. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, Consolación Villafañe; DUARTE, Wilson (orgs.). *Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos*. Brasília: Paralelo 15, 2000. p. 11-41. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91836/1/Uma-historia-brasileira-do-milho.pdf>.

RIOS, S. de A. *et al.* Deficiências nutricionais e a biofortificação de alimentos. In: BORÉM, A.; RIOS, S. de A. (Ed.). *Milho biofortificado*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 9-21.

SHAH, Tajamul Rouf; PRASAD, Kamlesh; KUMAR, Pradyuman. Maize—A potential source of human nutrition and health: a review. *Cogent: Food & Agriculture*, v. 2, n. 1, 2016. DOI: 10.1080/23311932.2016.1166995.

STRAZZI, Sueli. Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. *Revista Visão Agrícola – USP/ESALQ*, n. 13, p. 146-150, 2015.

TALAMINI, Dirceu João Duarte; MARTINS, Franco Müller; SANTOS FILHO, Jonas Irineu dos. Conjuntura econômica da avicultura brasileira em 2018. *Anuário 2019 da Avicultura Industrial*, n. 11, p. 20-25, 2018.

TOSELLO, G. A. Milhos especiais e seu valor nutritivo. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Eds.). *Melhoramento e produção de milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 375-409.

USDA/FAS. United States Department of Agriculture/Foreign Agricultural Service. 2020. Grain: world markets and trade. August 2020. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>.

WILSON, C. M. Zein composition in hard and soft endosperm of maize. *Cereal Chem*, v. 70, n. 1, p. 105-108, 1993.

CAPÍTULO 2

CARBOIDRATOS

Felipe Leandro Felipim Ferrazza

RESUMO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, cujos grãos apresentam elevado valor comercial, seja para alimentação animal, consumo humano ou uso industrial, com destaque na utilização dos grãos para extração de amido, fonte responsável por 80% do total consumido no mundo. Assim, dentre os constituintes dos grãos de milho, os carboidratos apresentam grande importância para o consumo e utilização nas diferentes esferas da sociedade. No decorrer deste capítulo discutiremos detalhes e etapas dos processos de produção de milho e mais especificamente de carboidratos, abordando assuntos desde o processo de formação, estrutura, propriedades destes, até a produção a campo, colheita, limpeza, secagem, armazenagem e processamento de grãos. Neste capítulo serão discutidos assuntos sobre: composição dos carboidratos de milho (1), amido de milho (2), estrutura do amido (3), processo de formação de carboidratos e suas estruturas (4), manejo de lavouras na formação e qualidade dos carboidratos (5), processos de secagem na estrutura de carboidratos (6), processos de armazenamento na estrutura de carboidratos (7), propriedades do amido (8), processo de obtenção do amido de milho (9) e fibras (10).

2.1 INTRODUÇÃO

Os grãos de milho são valorizados comercialmente e utilizados na alimentação animal para fabricação de rações e na alimentação humana, consumidos na forma “in natura”, ou a partir da industrialização para extração de amido, óleo vegetal, dextroses e produtos extrusados. Dentre os constituintes dos grãos de milho, os carboidratos possuem elevada importância nos processos produtivos, onde o amido se destaca devido

à grande utilização industrial. Ainda, falaremos sobre os constituintes e as características das fibras presentes nos grãos de milho.

2.2 COMPOSIÇÃO DOS CARBOIDRATOS DE MILHO

O grão de milho é formado por endosperma, gérmen, pericarpo e ponta (Figura 2.1), entretanto, em função da grande diversidade existente entre as cultivares, pode haver variações nesta estrutura, apresentando diferentes composições de nutrientes e tamanhos estruturais. As principais causas de variação na composição química dos grãos de milho estão relacionadas às características do material genético, solo, adubação, condições climáticas e estágio de maturação da planta. Dentre os carboidratos que compõe o milho, predomina a fração amilácea (64% a 78%, base seca), seguido de polissacarídeos não amiláceos (9,7%), açúcares totais (1%-3%) e lignina (cerca de 1%) (HAMAKER BRUCE et al., 2019).

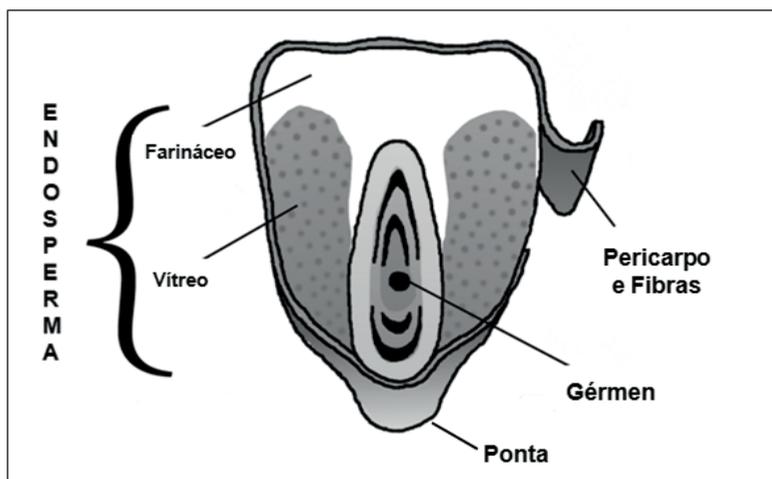


Figura 2.1 Anatomia da estrutura dos grãos de milho.

Fonte: Adaptado de: The structure of corn. Cereal Science and Technology. 23 abr. 2013. Disponível em: <http://cereal-sciencetech.blogspot.com.br/2013/04/the-structure-of-corn.html>.

No endosperma encontra-se aproximadamente 98% do total de amido de um grão, formado por grânulos com diâmetro médio de 20 μm e forma variando desde poliédrica a esférica. Com base na distribuição dos grânulos de amido e da matriz proteica, o endosperma é classificado em dois tipos: farináceo e vítreo.

No primeiro, os grânulos de amido são arredondados e estão dispersos, não havendo matriz proteica circundando essas estruturas, o que resulta em espaços vagos durante o processo de secagem do grão, a partir dos espaços onde antes era ocupado pela água, durante o desenvolvimento do grão. Por sua vez, no endosperma vítreo, a matriz proteica é densa, com corpos proteicos estruturados, que circundam os grânulos de amido de formato poligonal, não permitindo espaços entre essas estruturas (Figura 2.2).

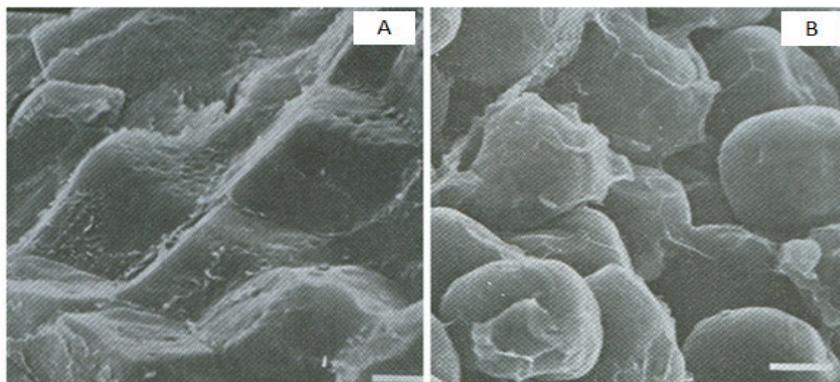


Figura 2.2 Estrutura dos grânulos de amidos extraídos do endosperma vítreo (A) e endosperma farináceo (B) de grãos de milho.

Fonte: Delcour; Hosney (2010).

2.2.1 AMIDO DE MILHO

O amido encontra-se amplamente distribuído em diversas espécies vegetais como um carboidrato de reserva, sendo estas uma das fontes potenciais mais importantes de amido, pois nos grãos de cereais representam de 40% a 90% do seu peso seco. Entre essas fontes potenciais, estão os grãos de milho.

O amido é o principal constituinte responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados, uma vez que contribui para diversas propriedades de textura em alimentos, possuindo aplicações industriais como espessante, estabilizador de coloides, agente geleificante e de volume, apresentando efeitos na adesividade e retenção de água (DENARDIN; SILVA, 2009).

O amido extraído de grãos de milho é responsável por mais de 80% do mercado mundial de amidos, e a maior produção se encontra nos Estados Unidos da América e no Brasil. As fontes mais utilizadas industrialmente são milho e mandioca, sendo que do total produzido a partir de grãos de milho, aproximadamente 70% é convertido em xarope de milho, produto que possui alto teor de frutose e dextrose.

O amido de milho nativo se caracteriza pela formação de um gel consistente, muito utilizado em sopas desidratadas e molhos que requerem viscosidade do produto a quente. Para produtos que necessitam de armazenamento refrigerado, o amido de milho não é indicado, devido à elevada sinérese (exsudação de água), consequência do fenômeno de retrogradação, conforme descrito por Weber et al. (2009). Quando houver necessidade de uso de amido em produtos refrigerados o uso do amido de milho ceroso (waxy) é o mais indicado, uma vez que este não possui amilose, e por isso apresenta maior estabilidade em baixas temperaturas, devido à elevada capacidade de retrogradação que a amilose possui, assim formam géis fracos, altamente viscosos no cozimento, claros e coesivos. Ainda, podem ser encontrados amidos de milho

com teor de amilose acima de 50% (high-amilose), que gelificam e formam filmes com maior facilidade devido ao alto conteúdo de amilose (PARKER; RING, 2001).

2.2.1.1 Estrutura do amido

A estrutura molecular do amido e seu comportamento em algumas propriedades físico-químicas sugerem que diversas características estruturais, como teor de amilose, distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina e grau de cristalinidade dos grânulos podem estar intimamente relacionadas aos eventos associados com a gelatinização e a retrogradação, como inchamento dos grânulos, lixiviação de amilose e/ou amilopectina, perda da estrutura radial (birrefringência), supramolecular (cristalinidade), molecular e de recristalização.

O amido que se apresenta em forma de grânulos com tamanho variável, é um homopolissacarídeo composto pelas macromoléculas amilose e amilopectina. As cadeias de amilose e amilopectina não existem livres na natureza, mas como agregados semicristalinos, organizados sob a forma de grânulos. O tamanho, a forma e a estrutura dos grânulos de amido de milho variam com as fontes botânicas, geralmente variam entre 1 a 100 μm de diâmetro, e os formatos podem ser regulares ou irregulares.

A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6, constituindo uma estrutura ramificada (Figura 2.3). As proporções, em que essas estruturas aparecem, diferem em relação a cultivares e variedades de uma mesma espécie, o grau de maturação da planta, e também as condições edafoclimáticas de cultivo.

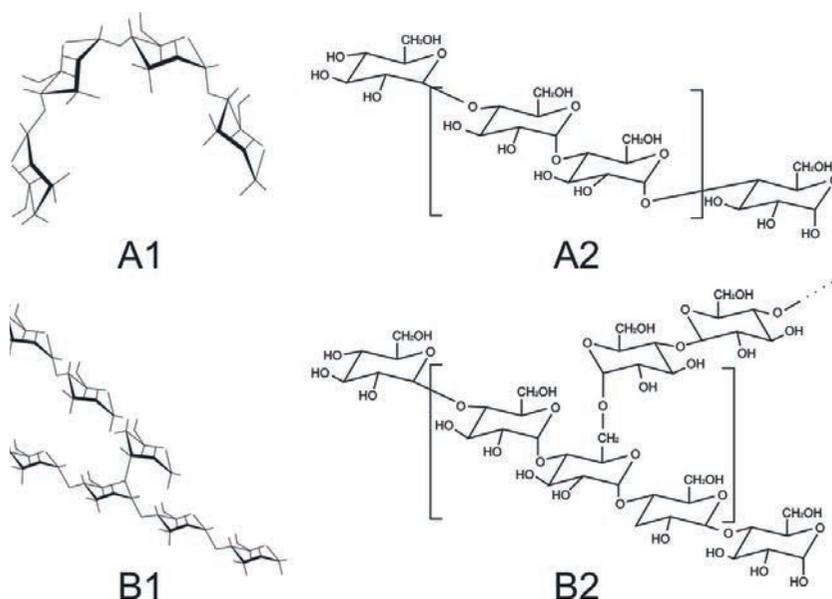


Figura 2.3 A) Estrutura da amilose [polímero linear composto por unidade de D-glicose unidas em ligações α -(1-4)]. B) Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por unidades de D-glicose unidas em ligações α -(1-4) e α -(1-6)].

Fontes: Adaptado de Corradini et al. (2005) e Lajolo; Menezes (2006).

2.2.1.2 Amilose

A amilose é um polímero essencialmente linear, composto quase completamente de ligações α -1,4 nas unidades de D-glicose, entretanto algumas evidências sugerem a presença de algumas ramificações nesse polímero (XIE et al., 2005). Embora ilustrada tipicamente por uma estrutura linear de cadeia, a amilose é frequentemente helicoidal. O interior da hélice contém átomos de hidrogênio (que lhe confere característica de hidrofobicidade), permitindo que a amilose forme complexos com ácidos graxos livres com componentes glicéridos dos ácidos graxos, com alguns alcoóis e com o iodo, formando com este, um complexo de coloração azul (THOMAS; ATWELL, 1999). De acordo com Franco et al. (2001) a massa molecular da amilose é dependente da fonte e das condições de processamento empregadas na extração do amido, mas geralmente varia de $1,5 \cdot 10^5$ - 10^6 , com tamanho médio de 103 unidades de glicose.

O amido de milho não ceroso contém entre 25% e 28% de amilose, e esta possui habilidade de formar pasta depois da gelatinização dos grânulos de amido, e este comportamento é evidente em certos amidos que contêm maiores teores de amilose. O amido de milho com alto teor de amilose é considerado formador de pasta, e conforme Thomas e Atwell (1999), a formação da pasta decorre principalmente da reassociação, denominado processo de retrogradação dos polímeros de amido solubilizados depois da gelatinização.

2.2.1.3 Amilopectina

A amilopectina é uma macromolécula altamente ramificada e consiste em cadeias lineares mais curtas de ligações α -1,4, que contêm de 10 a 60 unidades de glicose e cadeias laterais com 15 a 45 unidades de glicose com uma média de 5% de ligações α 1,6 nos pontos de ramificação (VAN DER MAAREL et al., 2002).

As cadeias de amilopectina estão organizadas de maneiras diferentes, sugerindo uma classificação de cadeias A, B e C (Figura 2.3B). O tipo A é composto por uma cadeia não-redutora de glicoses unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -(1,6), já as cadeias do tipo B são compostas por glicoses ligadas em α -(1,4) e α -(1,6), contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B que são unidas por meio de um grupamento hidroxila primário, e a cadeia C é única em uma molécula de amilopectina, sendo composta por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com grupamento terminal redutor (ELIASSON, 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004; LAJOLO; MENEZES, 2006).

O peso molecular da amilopectina é cerca de 1000 vezes o peso molecular da amilose e varia de 1×10^7 a 5×10^8 g.mol⁻¹ (YOU et al., 2002). Segundo Vandeputte e Delcour (2004), a amilopectina apresenta um grau de polimerização de 4.700 a 12.800 unidades de resíduos de glicose com comprimento médio de 17 a 24 e limite de β -amilose de 55% a 60%. As cadeias individuais podem variar entre 10 e 100 unidades de glicose (DENARDIN; SILVA, 2009).

A amilopectina é estrutural e funcionalmente a mais importante das duas frações, pois sozinha é suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose. Quanto à amilose, a sua localização exata dentro do grânulo ainda é uma tarefa difícil, acreditando-se que ela esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entremeada entre as regiões amorfas e cristalinas. As moléculas de amilose maiores estão concentradas no centro do grânulo e, provavelmente, participam das duplas hélices com a amilopectina, enquanto as moléculas menores, presentes na periferia, podem ser lixiviadas para fora do grânulo. Apesar de seu limitado papel na formação de cristais, a amilose pode influenciar a organização das duplas hélices, interferindo na densidade de empacotamento das cadeias de amilopectina (OATES, 1997; TESTER *et al.*, 2004). Além disso, estudos de Kuakpetoon e Wang (2007) sugerem que parte da amilose pode cristalizar juntamente com a amilopectina, formando lamelas cristalinas, porém a organização exata desses componentes dentro do grânulo ainda não está totalmente esclarecida.

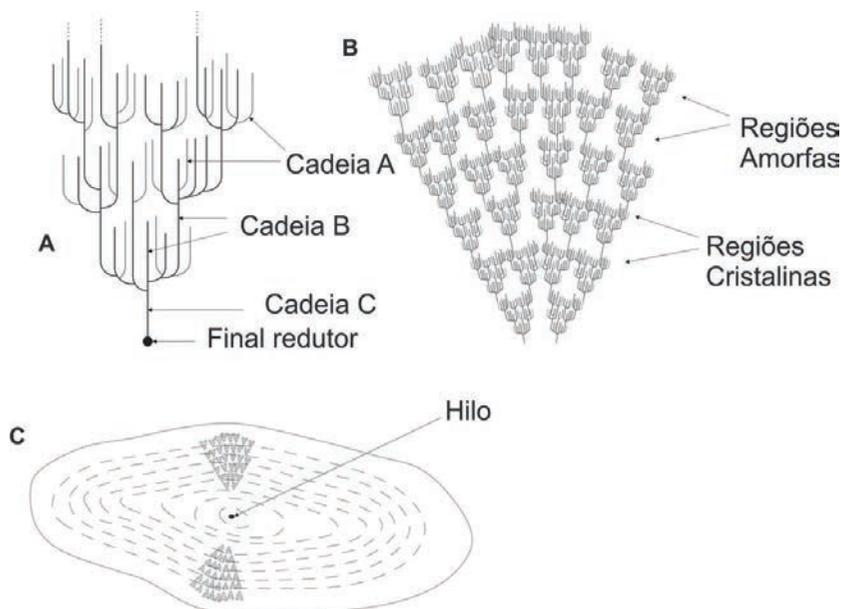


Figura 2.4 A) Classificação das cadeias da amilopectina em cadeias tipos A, B e C. B) Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas no grânulo de amido. C) Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum.

Fonte: Adaptado de Parker; Ring (2001).

2.2.2 PROPRIEDADES DO AMIDO

O amido de milho possui propriedades como cristalinidade, poder de inchamento, solubilidade, gelatinização e retrogradação, que determinam sua aplicação industrial, sendo o conhecimento destas propriedades fundamentais para a correta utilização e obtenção de produtos de boa qualidade.

2.2.2.1 Cristalinidade

Os grânulos de amido nativos contêm entre 15% e 45% de material cristalino com modelos de difração de raios X, que correspondem a duas poliformas (A ou B) ou a uma forma intermediária (C), as quais têm a sua classificação baseada em variações no conteúdo de água e na configuração de empacotamento de duplas hélices (IMBERTY *et al.*, 1991). Os padrões de cristalinidade (Figura 2.5A) são definidos com base nos espaços interplanares e intensidade relativa das linhas de difração de raio X (CEREDA, 2001).

De acordo com Zobel (1988), o padrão de cristalinidade tipo A é aquele que apresenta picos fortes nos espaços interplanares de 5,8; 5,2 e 3,8 Å (angstroms), o tipo B apresenta um pico de intensidade forte a 5,2 Å e vários picos de intensidade média de 15,8; 6,2; 4,0 e 3,7 Å, e o tipo C apresenta semelhança com o padrão A, tendo um pico adicional a 15,4 Å de intensidade fraca. A amilose quando estiver complexada com compostos orgânicos, água ou iodo, pode aparecer no padrão tipo V. O padrão V apresenta picos em 12,0; 6,8

e 4,4 Å, sendo que o pico de 4,4 Å é normalmente usado como a primeira indicação de que o complexo V está sendo formado (ZOBEL, 1988; BILIADERIS, 1991).

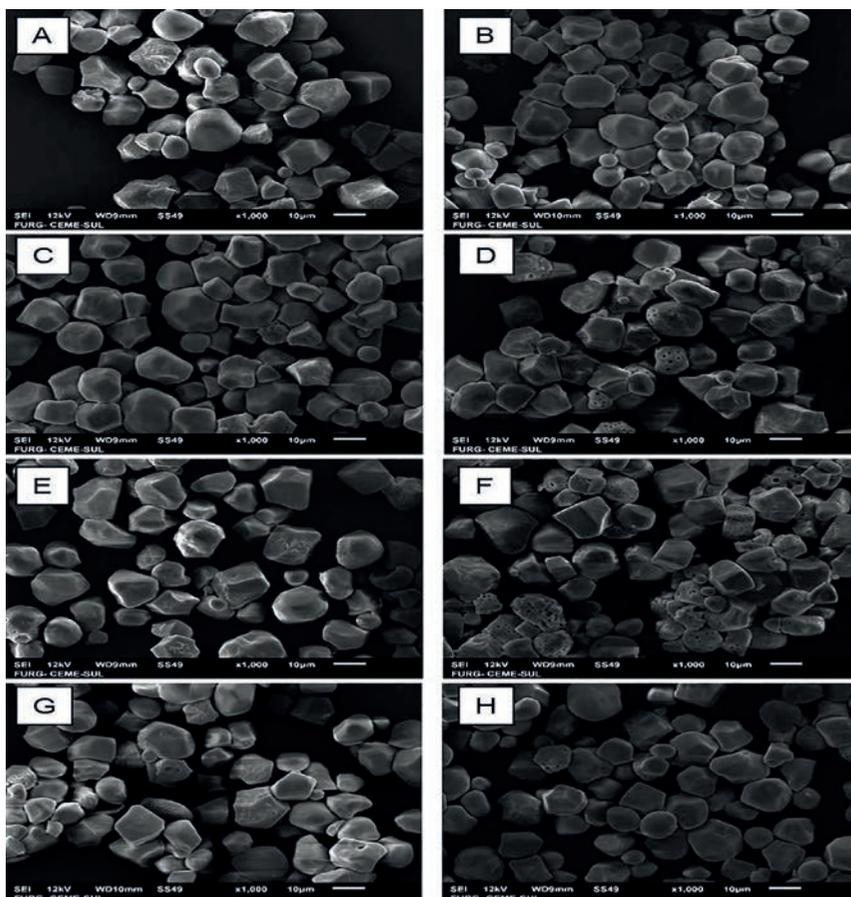


Figura 2.5. Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM) de amido isolado de diferentes defeitos de grãos de milho: sem defeitos (A), quebrados (B), fermentados (C), ardidos (D), mofados (E), germinados (F), carunchados (G) e chochos e imaturos (H).

Fonte: Adaptado de Paraginski et al. (2019).

A cristalinidade tipo A é descrita como uma unidade celular monocíclica altamente condensada e cristalina, em que doze resíduos de glicose de duas cadeias no sentido anti-horário abrigam quatro moléculas de água entre as hélices. A estrutura de padrão tipo B é mais claramente definida, sendo composta por uma unidade básica de cadeias que são empacotadas em um arranjo hexagonal, onde a unidade celular tem duas duplas hélices no sentido anti-horário, alinhadas e arranjadas em paralelo. Os amidos de milho normal e ceroso apresentam padrão do tipo A e o amido de milho com alto teor de amilose apresenta padrão de cristalinidade do tipo B conforme descrito por Karim, Norziah e Seow (2000).

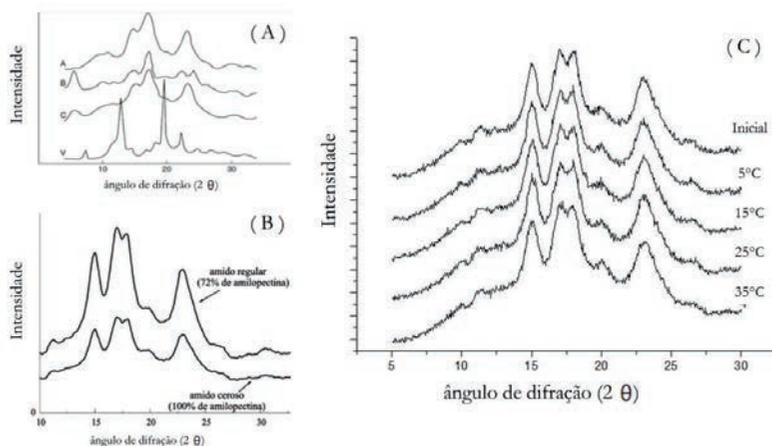


Figura 2.6. Difratomogramas de raio-X padrões (A), de amido de milho normal e ceroso (B) e de amido extraído de grãos de milho armazenados nas temperaturas de 5 °C, 15 °C, 25 °C e 35 °C com 14% de umidade durante doze meses (C).

Fontes: Adaptado de Zobel (1988); Xie et al. (2005); Corradini et al. (2005); Paraginski et al. (2014).

A maior suscetibilidade a hidrólise dos amidos com cristalinidade do tipo A ocorre devido à presença de poros superficiais que podem ser alargados pela ação das enzimas, facilitando a sua ação no interior do grânulo. Outra possível explicação para essa maior suscetibilidade a erosões químicas e enzimáticas nos grânulos do tipo A, quando comparados aos do tipo B, é a presença de cascas protetoras (chamados blocos cristalinos), incorporadas estruturalmente ao redor dos grânulos tipo B, que são menos fortemente empacotados (OATES, 1997).

2.2.2.2 Poder de inchamento e solubilidade

O amido puro tem coloração branca, é insípido, e se adicionado à água fria e mantido em agitação, forma uma suspensão de aspecto leitoso, separando-se após o repouso, porém uma pequena fração torna-se solúvel quando agitado em água, ocasionando um pequeno inchamento.

A insolubilidade dos grânulos de amido é devida às fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias unidas (CEREDA, 2001). Porém, quando o amido é aquecido em excesso de água, acima da temperatura de empastamento, a estrutura cristalina é rompida pelo relaxamento das pontes de hidrogênio e as moléculas de água interagem com os grupos hidroxilas da amilose e da amilopectina. Isso causa um aumento do tamanho dos grânulos devido ao inchamento com parcial solubilização (HOOVER, 2001). O amido de milho apresenta inchamento limitado que ocorre em dois estágios, sugerindo que dois tipos de forças estão envolvidos nas interações entre as cadeias poliméricas que relaxam a diferentes temperaturas (PERONI, 2003).

2.2.2.3 Gelatinização e retrogradação

O aquecimento de suspensões de amido em excesso de água e acima de uma determinada temperatura causa uma transição irreversível denominada gelatinização. A gelatinização do amido é o colapso do arranjo molecular, em que o grânulo de amido sofre mudanças irreversíveis em suas propriedades, ocorre perda da cristalinidade, absorção de água, intumescimento do grânulo e lixiviação de alguns componentes, principalmente amilose (ZHONG *et al.*, 2009). A retrogradação é um processo que ocorre quando as moléculas de amido gelatinizado começam a se reassociar em uma estrutura ordenada. Fatores como temperatura, tamanho e concentração dos grânulos e a presença de lipídios podem influenciar o comportamento geral do amido (JANE *et al.*, 1999).

As propriedades de inchamento e gelatinização são controladas, em parte, pela estrutura molecular da amilopectina (comprimento de cadeia, extensão de ramificação, peso molecular), pela composição do amido (proporção amilose/amilopectina e teor de fósforo) e pela arquitetura granular (proporção entre regiões cristalinas e amorfas). Convencionalmente, altas temperaturas de transição têm sido associadas a altos graus de cristalinidade, os quais fornecem a estabilidade estrutural e tornam os grânulos mais resistentes à gelatinização (SINGH, 2003).

Quando é armazenado e resfriado, o amido gelatinizado pode sofrer um fenômeno denominado de retrogradação. Com o passar do tempo, as moléculas do amido vão perdendo energia e as ligações de hidrogênio tornam-se mais fortes, e assim as cadeias começam a se reassociar em um estado mais ordenado. Essa reassociação culmina com a formação de simples e duplas hélices, resultando no entrelaçamento ou na formação de zonas de junção entre as moléculas, formando áreas cristalinas. Como a área cristalizada altera o índice de refração, o gel vai se tornando mais opaco à medida que a retrogradação se processa (ELIASSON, 1996).

A amilose exsudada de grânulos inchados forma uma rede por meio da associação com cadeias que rodeiam os grânulos gelatinizados. Como consequência, a retrogradação aumenta (*setback*), convertendo-se num sistema viscoelástico turvo ou em concentrações de amido suficientemente altas (> 6 p/p) em um gel elástico opaco (LAJOLO; MENEZES, 2006), em que, às vezes, ocorre a precipitação de cristais insolúveis de amido, levando à separação de fases. A forte interação das cadeias entre si, promove a saída da água do sistema, sendo essa expulsão denominada sinérese.

2.2.3 PROCESSO DE OBTENÇÃO DO AMIDO DE MILHO

No processo de obtenção do amido (Figura 2.7) a canjica é submetida a maceração ou hidratação em tanques de aço inoxidável ou de madeira por um período médio de 48 horas, em água aquecida de 48°C a 52°C com a finalidade de amaciar os grãos, em tanques de maceração ou maceradores, contendo de 0,1% a 0,2% de dióxido de enxofre (SO₂) dissolvido. O aquecimento da água de maceração é realizado por meio da injeção direta de vapor. O ácido sulfuroso (H₂SO₃) diluído, formado pela interação do SO₂ e da água, controla a fermentação, reduzindo o crescimento bacteriológico, e

facilitando a separação do amido. Durante a maceração, os componentes solúveis são extraídos do grão.

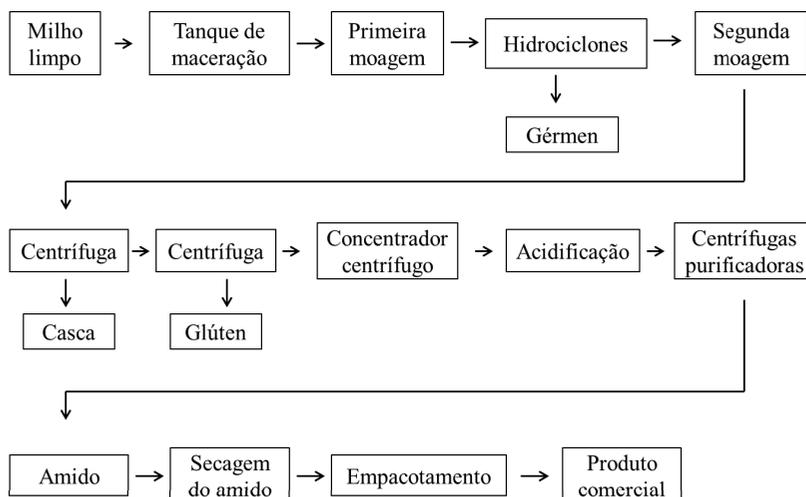


Figura 2.7 Fluxograma de processamento para obtenção de amido de milho.

O tempo dessa operação é de 46 horas e os grãos absorvem água chegando à umidade de 45%. Nos maceradores, a água passa em corrente contínua, e o milho já sai lavado do próprio macerador, livre da película gomosa. A água é então drenada e armazenada, para ser utilizada no próximo tanque de canjica a ser macerado, sendo a água só descartada quando esta atinge uma concentração em torno de 10 °Bé (escala de densímetros). Uma vez macerados, os grãos podem ser moídos em moinhos de disco, o suficiente para promover a quebra e formar uma massa homogênea, a fim de facilitar a separação dos seus componentes.

O material moído vai para os hidrociclones, que pela velocidade da passagem da água promove um movimento de turbilhão e a auto-centrifugação necessária para separar o gérmen (que sai no topo) dos demais componentes. O gérmen é conduzido à extração do óleo e o material que sai dos hidrociclones pela parte inferior segue para uma segunda moagem em moinhos de disco de alta velocidade, a 800 rpm, resultando numa pasta. A pasta é conduzida a centrífugas que recebem o acréscimo de água, separando a casca, o material proteico e o amido. Este é obtido sob a forma de uma suspensão, conhecida por leite de amido. A operação é feita em duas etapas, a primeira em centrífugas verticais, que trabalham sob pressão, equipadas com peneiras de 125 mesh, que separam as cascas. Na segunda etapa, também em centrífugas verticais, ocorre a separação do material proteico. A casca e o material proteico seguem para operações que os transformarão em ração animal.

O leite de amido, que sai da centrífuga a 21°Bé, é acidificado (para facilitar a purificação) e vai para as centrífugas purificadoras-concentradoras, as quais possuem cesta vertical com tela de nylon e um raspador que retira o amido aderido após a operação. Ao sair da centrífuga, o amido apresenta alta qualidade, com aproximadamente 99,7% de pureza. Assim, o leite de amido é aspirado para uma câmara de secagem

com vapor a 150 °C, e após a secagem, o produto é embalado, estando pronto para a comercialização.

2.3 PROCESSO DE SÍNTESE DE CARBOIDRATOS E SUAS ESTRUTURAS

O processo de síntese de carboidratos em grãos de milho ocorre desde a etapa de diferenciação ainda nas etapas de desenvolvimento e floração, e também no enchimento de grãos de milho, onde fatores como luminosidade, temperatura e precipitação interferem. Trabalhos realizados indicam que a semeadura em épocas de maior luminosidade aumenta o potencial produtivo das culturas, bem como a falta de umidade do solo em períodos de floração compromete a diferenciação floral.

Carboidratos são normalmente formados por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, e são elaborados pelas células vegetais por meio da fotossíntese, onde ocorre a conversão do dióxido de carbono (CO₂) e água em glicídios, com energia fornecida pela luz. A partir dos glicídios formados, o amido é sintetizado nos plastídeos, presentes em cloroplastos de folhas e amiloplastos de órgãos de reserva, polimerizando as moléculas de glicose obtidas da fotossíntese, e formando cadeias de amilose e amilopectina, conforme respostas gênicas e ambientais.

2.4 MANEJO DE LAVOURAS NA FORMAÇÃO E QUALIDADE DOS CARBOIDRATOS

Atualmente são conhecidos cinco grupos de milho, sendo: pipoca, duro, dentado, farináceo e doce, que já existiam na América por ocasião do descobrimento. O milho é um dos cereais que possui maior capacidade produtiva, pois é uma planta de metabolismo C₄, que é mais eficiente na produção de matéria seca por área e consequentemente na produção de grãos.

O aumento da produção total de milho deve-se ao processo de melhoramento genético das cultivares utilizadas, além do manejo de cultivo da cultura, com técnicas de semeadura e adubação avançadas, que elevaram os níveis médios produtivos inferiores a 2.000 kg.ha⁻¹ na década de 1990 para aproximadamente 4.000 kg.ha⁻¹ na safra 2019/2020 no território nacional, porém, sabe-se que produtores que utilizam altos níveis tecnológicos de produção conseguem níveis de produtividades acima de 16.000 kg.ha⁻¹. Na Tabela 2.1, observa-se a produtividade de grãos, produtividade de carboidratos, peso de 1.000 grãos, número de fileiras por espiga e peso médio de grãos por espiga de diferentes cultivares de milho utilizadas, em experimento desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha – Campus Santo Augusto na safra 2019/2020, onde pode-se observar que existe uma grande variação de tecnologias e, consequentemente, produtividade e qualidade dos grãos produzidos, principalmente devido a genética, clima e ciclo de cada cultivar.

Tabela 2.1 Produtividade (P), produtividade de carboidratos (PC), peso de mil grãos (PMG), número de fileiras por espiga (NFE) e peso de grãos por espiga (PGE) de diferentes cultivares milho na safra 2019/2020

Cultivar	P (kg. ha ⁻¹)	PC (kg. ha ⁻¹)	PMG (gramas)	NFE	PGE (g)
NS 45 VIP3	12.960,00	11.352,96	253,58	15,73	183,33
NS 50 PRO 2	9.307,20	8.152,11	355,67	13,33	211,00
NS 73 VIP	13.267,80	11.622,59	393,66	14,80	235,40
NS 90 PRO 2	9.157,20	8.021,71	290,00	17,33	200,40
MORGAN MG 300	12.403,2	10.867,83	358,56	15,06	214,66
MORGAN 30A57	14.973,00	13.116,35	358,02	14,66	253,86
MORGAN MG545	11.950,20	10.468,36	344,36	14,80	212,53
B2688 PWU	12.861,00	11.266,24	363,54	18,53	232,73
B2433 PWU	15.219,60	13.332,37	337,44	17,73	251,13
B2401 PWU	11.442,00	10.023,19	361,87	15,60	210,33
B2418 VYHR	13.655,40	11.962,13	377,78	14,80	234,53
B2612 PWU	13.710,00	12.009,96	347,67	15,46	230,66
BREVANT 7318 VYH	13.481,40	11.809,71	355,95	15,06	242,93
LG 36300 VIP3	8.098,80	7.094,55	331,99	13,73	194,10
LG 6033 PRO2	11.324,40	9.920,17	320,16	14,80	217,73
LG 3040 VIP3	13.338,60	11.684,61	294,14	16,93	224,46
LG 36790 PRO3	11.968,20	10.484,14	366,66	15,86	260,86
AGROESTE 1757	15.411,60	13.500,56	329,26	15,60	261,26
AGROESTE 1666	14.184,00	12.425,18	413,30	16,26	260,00
AGROESTE 1677 PRO 3	12.484,20	10.936,16	379,94	13,73	209,26
AGROCERES 9025 PRO3	12.791,40	11.205,27	473,00	14,06	320,11
AGROMEN JMEN 3M51	8166,00	7.153,42	387,88	15,73	283,95
DKB 230	11.354,40	9.946,45	383,67	14,26	196,86
SHS 5050	3.798,60	3.327,57	345,53	14,75	204,87
BIOMATRIX 3061	6.270,00	5.492,52	375,93	13,40	179,40
PIONNER 1225	12.671,40	11.100,15	234,55	32,53	135,00

*Considerando que o grão possui 87,6% de amido.

Fonte: Grupo Pós-Col do IFFar (2020).

2.5 PROCESSOS DE SECAGEM NA ESTRUTURA DE CARBOIDRATOS

Os grãos necessitam ser armazenados por longos períodos para atender a demanda das indústrias alimentícias durante o período de entressafra. Uma das formas mais utilizadas para a conservação dos grãos é a secagem, em que ocorre uma redução da atividade de água dos grãos, auxiliando na conservação, porém muitas vezes temperaturas muito elevadas, acima de 40°C de temperatura de massa e condições inadequadas podem comprometer a qualidade dos grãos antes mesmo do armazenamento. Em grãos de milho, o processo de secagem mais utilizado é o processo contínuo, entretanto em muitas unidades os grãos ingressam com níveis de umidade acima de 20%, assim, altas temperaturas e também longos tempos são utilizados para redução da umidade a valores próximos a 13%, recomendados para a armazenagem.

Trabalhos realizados por Malumba *et al.* (2009) e Setiawan *et al.* (2010) relataram que temperaturas muito elevadas de secagem afetam parâmetros de qualidade do amido, como propriedades de pasta, morfologia dos grânulos, poder de inchamento e atividade enzimática, podendo impedir a utilização comercial devido às elevadas alterações. De acordo com Malumba *et al.* (2010) pré-tratamentos de alta temperatura aplicados ao amido, podem afetar eventualmente a região amorfa de grânulos, induzindo provavelmente transições vítreas, que podem modificar a capacidade de ligação à água e, subsequentemente, o comportamento de inchamento de grânulos em excesso de água. Malumba *et al.* (2009) ainda encontrou rendimentos de extração de amido entre 64,40 e 43,30% ao avaliar grãos de milho secos com temperaturas de ar entre 80 °C e 130 °C.

Na secagem de milho, quando os níveis de umidade são altos o processo é mais rápido, e vai se tornando mais difícil à medida que o produto vai ficando mais seco. Isso se deve ao fato de que a água evapora da superfície do grão e, em seguida, com a desidratação mais avançada, como a evaporação só se processa na superfície, é necessário que a água chegue até ela, do interior, por difusão. Quanto mais espesso for o grão, mais difícil será a difusão, e maior a diferença entre a umidade superficial e a do interior (gradiente de umidade), assim, no caso do milho deve-se esperar que isso ocorra para após ocorrer a evaporação, sendo, portanto, necessária a utilização de silos pulmões ou mesmo deixar o grão de milho em repouso para ocorrer a difusão e evitar que o processo de aquecimento continue e resulte em alterações nas características dos carboidratos.

Em estudo realizado por Setiawan *et al.* (2010), para avaliar o armazenamento de amido extraído de grãos de milho secos ao sol e em secador, o autor encontrou aumento do número de grânulos de amido danificados, ou seja, grânulos quebrados e detritos, além de observar grânulos danificados, resultados da atividade enzimática. Entretanto, esta atividade enzimática não resultou em declínio dos picos de viscosidade, como descrito pelo autor.

2.6 PROCESSOS DE ARMAZENAMENTO NA ESTRUTURA DE CARBOIDRATOS

Durante a armazenagem, vários fatores interferem na qualidade dos grãos, como temperatura, umidade dos grãos, umidade relativa do ar, atmosfera de armazenamento, teor de grãos quebrados, teor de impurezas, presença de microrganismos, insetos, ácaros e tempo de armazenamento. Em trabalho realizado com armazenamento de grãos de milho em temperaturas de 5 °C, 15 °C, 25 °C e 35°C durante doze meses (Tabela 2.2) o rendimento de extração é menor apenas para os grãos armazenados na temperatura de 35°C. De acordo com Sodhi *et al.* (2003), durante o armazenamento podem ocorrer interações entre proteínas, lipídios oxidados e amido, e conforme descrito por Salman *et al.* (2007), as cadeias de amilose podem formar complexos helicoidais, alterando as propriedades do amido, reduzindo o rendimento de extração. Ainda neste trabalho, os resultados do Valor L e Valor b* do perfil colorimétrico (Tabela 2.2) indicam que as maiores alterações ocorrem nos grãos armazenados na temperatura de 35 °C, sendo que o amido no início do armazenamento apresentava Valor b* (de azul a amarelo) de 6,27, chegando a valores de 10,67 ao final de doze meses de armazenamento, resultando em um amido com coloração mais amarelada, resultado de resíduo proteico e lipídico (conforme apresentado na Tabela 2.2) e também interações entre as frações. Segundo Debet e Gidley (2006), o teor residual de proteína e a presença de lipídios nos grânulos de amido podem provocar restrição do poder de inchamento durante a gelatinização do amido.

Tabela 2.2 Rendimento de extração (%), valor b*, valor L* e teor residual de proteína (%) e lipídios (%) do amido isolado de grãos de milho armazenados durante doze meses nas temperaturas de 5 °C, 15 °C, 25 °C e 35 °C com 14% de umidade

Condições de armazenamento	Rendimento extração (%)		Valor b*		Valor L*		Teor residual de proteínas (%)		Teor residual de lipídios (%)	
Inicial	59,07	±0,31a	6,27	±1,46b	96,26	±0,49b	0,23	±0,03b	0,61	±0,08a
5°C	62,88	±1,25a	6,55	±0,40b	97,47	±0,52a	0,27	±0,08b	0,63	±0,03a
15°C	66,94	±0,71a	5,98	±0,69b	97,34	±0,90a	0,32	±0,00b	0,62	±0,04a
25°C	63,36	±2,32a	6,00	±0,44b	96,82	±0,25ab	0,29	±0,06b	0,60	±0,04a
35°C	45,99	±6,58b	10,67	±0,87a	92,44	±0,27c	0,74	±0,01a	0,40	±0,04b

* Médias aritméticas simples ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

Fonte: Adaptado de Paraginski et al. (2014).

Durante o armazenamento, alterações podem ocorrer na morfologia dos grânulos de amido. Em trabalho realizado com grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas (Figura 2.8), no amido extraído dos grãos armazenados nas temperaturas de 5 °C se observa perfurações nos grânulos, resultadas da atividade enzimática, pois com temperatura baixa as enzimas são mantidas inativadas durante o armazenamento

e ativadas no processo de extração, devido à temperatura elevada (50 °C), assim, provoca as alterações na estrutura.

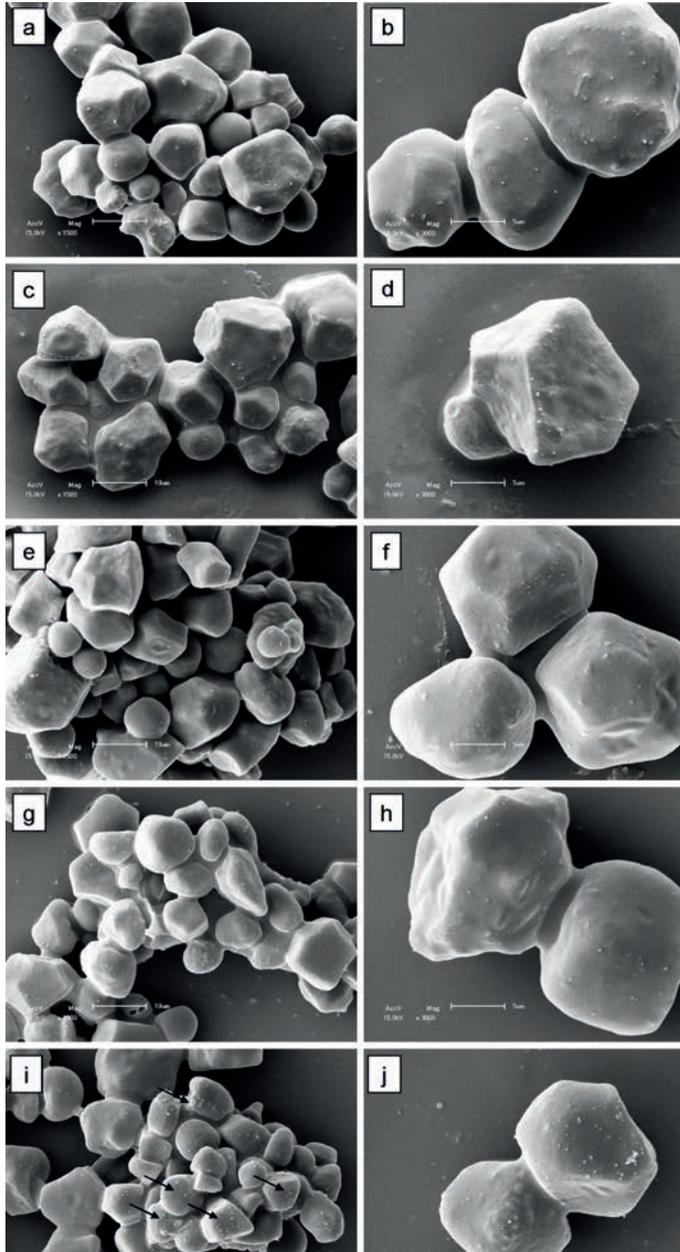


Figura 2.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM) de amido isolado de grãos de milho armazenados durante 12 meses nas temperaturas: inicial (a e b), 5 °C (c e d), 15 °C (e e f), 25 °C (g e h) e 35 °C (i e j)

Fonte: Adaptado de Paraginski *et al.* (2014).

O amido isolado dos grãos armazenados em temperatura alta (35 °C) apresentou um maior teor residual de proteínas, o que pode ser observado onde a superfície dos

grânulos é recoberta por corpos proteicos, indicando que cuidados com temperaturas de armazenamento devem ser tomados durante o processo.

As pragas podem afetar a qualidade dos grãos e do amido de milho durante o armazenamento, ou mesmo antes da industrialização. Dentre as principais pragas, tem-se insetos, fungos, ácaros, pássaros e roedores. Assim, para garantir um produto de boa qualidade deve-se adotar um Manejo Integrado de Pragas (MIP), de forma a garantir um produto de boa qualidade aos consumidores. O armazenamento incorreto, além do ataque de pragas, está sujeito ao desenvolvimento de grãos com diferentes defeitos, como fermentados, ardidos, mofados, germinados, carunchados, e de acordo com os padrões de comercialização nacional, determinados pela Instrução Normativa n. 60, de 22 de dezembro de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a presença de defeitos reduz o valor comercial do produto, deixando muitas vezes de ser utilizados, devido à baixa qualidade (BRASIL, 2011).

Devido à grande importância dos grãos de milho para produção de amido, estes precisam ser limpos, secos e armazenados ao longo do ano para permitirem a utilização industrial. Vários fatores podem resultar na formação de grãos com defeitos, que muitas vezes são impossibilitados de serem comercializados, ou os valores pagos por esses grãos são muito baixos, necessitando assim uma alternativa para comercialização, que pode ser a extração de amido. Em trabalho realizado por Glória et al. (2002), os autores avaliaram a qualidade de amido extraído de grãos de milho Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3 de acordo com Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento de 1976, e encontraram diferenças na pureza e propriedades do amido isolado, porém não avaliaram as alterações provocadas pelos defeitos isoladamente, de acordo com a nova Instrução Normativa, de 2011.

Neste contexto, a elevada utilização de amido de milho na indústria alimentícia, e a busca de alternativas para grãos de milho com defeitos, em trabalho realizado foram avaliadas propriedades físico-químicas, de cristalinidade, de pasta, térmicas e morfológicas do amido extraído dos grãos de milho sem defeitos, e com os diferentes defeitos determinados pela IN MAPA n. 60/2011 (quebrados, fermentados, ardidos, mofados, carunchados, germinados, e chochos e imaturos).

Na Figura 2.9 é apresentado um comparativo das propriedades viscoamilográficas dos grãos moídos (Figura 2.9 A) e do amido extraído (Figura 2.9 B), onde observa-se que existe uma grande variação nas propriedades, principalmente nos grãos, e estas reduzem após a extração do amido, indicando sim que durante o processo de armazenamento inadequado existe complexação de compostos que podem afetar a qualidade final dos carboidratos presentes nos grãos.

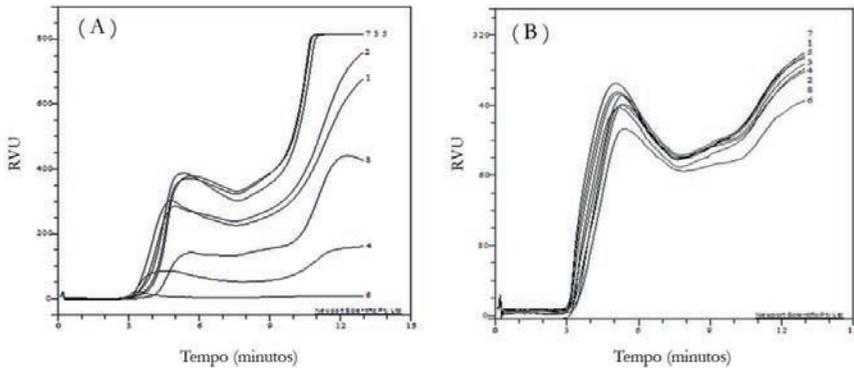


Figura 2.9 Parâmetros viscoamilográficos dos grãos (A) e do amido extraído (B) de grãos sem defeitos (1), e de grãos quebrados (2), fermentados (3), ardidos (4), mofados (5), germinados (6), carunchados (7) e chochos e imaturos (8).

Fonte: Adaptado de Paraginski *et al.* (2019).

No mesmo trabalho, foram avaliadas as características morfológicas dos grânulos de amido (Figura 2.10), e nestes percebe-se que existe uma grande variação na qualidade de cada defeito, oriundos do processo de formação completa dos carboidratos ainda na lavoura, adversidades climáticas, ou mesmo alterações que ocorrem durante a armazenagem destes.

2.7 CARBOIDRATOS NÃO AMILÁCEOS

Os grãos de milho quando separados por partes estruturais apresentam diferentes frações, e cada uma apresenta diferentes percentuais de fibras: endosperma (0%), gérmen (12%), pericarpo (54%) e ponta (7%). As camadas de células que compõem o pericarpo são constituídas de polissacarídeos do tipo hemicelulose (67%) e celulose (23%), embora também contenham lignina (0,1%), e, na ponta, a composição é essencialmente de material lignocelulósico.

Estes carboidratos não amiláceos presentes em grãos de milho auxiliam no sistema digestório e protegem os intestinos, além de promover a saciedade, ajudando quem está em dietas para emagrecimento. Obtidas a partir do pericarpo, as fibras de milho são utilizadas na produção de muitos alimentos, como *grits* para flocos de milho, grãos para cerveja e salgadinhos e farinha de milho para alimentos para bebês e para cozinhar.

Dentre estes carboidratos, apresentaremos a seguir os principais.

2.7.1 HEMICELULOSE

As hemiceluloses compõem um grupo de polissacarídeos que, diferentemente da celulose, são compostos por grupos heterogêneos de açúcares pentose e hexose, que incluem xilose, manose, glicose e galactose na cadeia principal e arabinose, galactose,

glicose e ácido glucurônico nas cadeias laterais. Este grupo inclui ainda xilanos, glucuronoxilanos, arabinoxilanos, glucomananos, xiloglucanos e β -glucanas. Compostos que possuem por característica comum uma espinha dorsal composta por ligações β -(1-4) contínuas e várias unidades ramificadas, sendo as β -glucanas a exceção de cadeias lineares com ligações β -(1-4) e β -(1-3). No milho as hemiceluloses mais abundantes são as arabinoxilanas e as β -glucanas.

2.7.1.1 Arabinoxilanas

As arabinoxilanas correspondem de 90% a 95% do total das hemiceluloses encontradas nos grãos de milho, e são também conhecidas por heteroxilanos (OOMIYA; IMAZOTO, 1982). Possuem uma estrutura β -(1-4) xilana, e em sua forma mais simples as unidades β xilopiranosil da estrutura são ramificadas com unidades α -arabinofuranose em suas posições O-2 e/ou O-3.

Como em outros cereais as arabinoxilanas do milho são encontradas em duas frações diferentes: 1) na parede celular do endosperma e 2) no farelo. De acordo com a origem (localização no grão) estas hemiceluloses apresentam variações nas estruturas químicas e composição, especialmente na razão arabinose/xilose e da ramificação. Em estudos realizados por Yadav *et al.* (2007a, 2007b) verifica-se que a arabinoxilana do endosperma contém menos ácido ferúlico que o encontrado no farelo de milho.

Devido à capacidade de reticulação por pontes de ácido di- e/ou triferúlico (SAULNIER; THIBAUT, 1999), além de associações com proteínas (SAULNIER *et al.*, 1995) e possivelmente com lignina (LAPIERRE *et al.*, 2001) as arabinoxilanas em grãos de milho possuem limitada solubilidade em água. Porém, após uma extração alcalina os arabinoxilanos de milho são solúveis em água (HOOPER, 1942; WOLF *et al.*, 1953; ANTRIM; HARRIS, 1977; SUGAWARA *et al.*, 1994; SAULNIER *et al.*, 1995). A fim de deslignificar e facilitar a extração alcalina de arabinoxilano o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) tem sido usado ((HROMA 'DKOVA'; EBRINGEROVA', 1995; ROSE *et al.*, 2010; DONER; HICKS, 1997).

Mesmo após a extração alcalina, alguns ácidos ferúlicos ainda permanecem esterificados aos arabinoxilanos de milho solubilizados (CARVAJAL-MILLAN *et al.*, 2007; YADAV *et al.*, 2007a, 2007b). Estes arabinoxilanos de milho contendo ácidos ferúlicos podem formar géis por meio de peroxidase ou lacase que catalisam a reticulação oxidativa (NG *et al.*, 1997a, 1997b; CARVAJAL-MILLAN *et al.*, 2007), impactando nas propriedades de gelificação. Além disso os arabinoxilanos do milho têm bom potencial para ser utilizado como agente de encapsulamento e carreador para as indústrias de alimentos e medicamentos (CARVAJAL-MILLAN *et al.*, 2007).

2.7.1.2 β -glucanas

Outra importante hemicelulose encontrada no milho e seus derivados é a β -glucana. As β -glucanas do milho são homopolissacarídeos lineares de unidades D-glucopiranosil conectadas por meio de uma mistura de ligações β -(1-4) e β -(1-3),

com blocos de (1-4) unidades ligadas (segmentos oligoméricos semelhantes à celulose) separados por ligações (1-3). A maioria dos oligômeros são trímeros e tetrâmeros; no entanto, a celobiose e os oligômeros celulósicos mais longos do que os tetrâmeros também estão presentes em proporções menores (LAZARIDOU *et al.*, 2004; LAZARIDOU; BILIADERIS, 2007; YOSHIDA *et al.*, 2014).

A presença de ligações β -(1-3) cria dobras estruturais nas β -glucanas. Esta conformação assimétrica não apenas evita o alinhamento intermolecular extenso de cadeias em microfibrilas de celulose, mas também permite que β -glucano forme matrizes semelhantes a gel solúveis em água que reforçam as microfibrilas celulósicas na parede (BURTON; FINCHER, 2009).

Os grãos de milho contêm teores de β -glucanas que variam de 0,8% a 1,7% (base em peso) (Tabela 11.1) (EL-KHOURY *et al.*, 2012). De acordo com estudos realizados por Yoshida *et al.* (2014) 94% da molécula do β -glucano deste cereal é composta de segmentos de celotrímero e celotetrâmero, numa razão de 2,60. O restante da molécula contém pequenas quantidades de segmentos de celobiose (0,3%) e quatro resíduos consecutivos de glicose ligada a 4-O (5,4%). Estes teores são considerados baixos quando comparados a outros cereais como aveia e cevada.

2.7.2 CELULOSE

A celulose é o principal polissacarídeo estrutural encontrado nas plantas. Os teores encontrados em milho amarelo, segundo Jaworski *et al.* (2015), ficam em torno de 1,7% em grãos, 5,8% em DDGS de milho e 10,1% no farelo de milho. Como em outros cereais, a celulose está principalmente presente na porção do farelo.

Este polissacarídeo é constituído por cadeias lineares de D-glicose unidas por ligações β -(1-4). O grau de polimerização pode chegar a 10 mil unidades de glicose (ASPINALL, 1982). As ligações β -(1-4) entre as unidades de glicose mantêm a cadeia em um arranjo de fita plana que é mantida por ligações de hidrogênio intramoleculares.

Esta conformação permite que as cadeias de celulose se alinhem próximas umas das outras e formem numerosas ligações de hidrogênio intermoleculares entre os grupos hidroxila nas posições C3 dos resíduos de glicose vizinhos. Devido a essas interações únicas, as cadeias podem se empilhar para formar microfibrilas maiores (WANG *et al.*, 2012), que em grãos de cereais foram postuladas como associadas a outras frações de carboidratos (NSP) e não carboidratos (lignina) que permitem a formação da estrutura rígida e forte da parede celular, conforme discutido abaixo. Este agrupamento único e parcialmente cristalino devido às ligações intermoleculares e intramoleculares prejudica a funcionalidade da celulose e restringe seu uso na indústria alimentícia (HARRIS; SMITH, 2006).

A estrutura nativa da celulose pode ser física ou quimicamente modificada, produzindo ingredientes funcionais como géis celulósicos com alta capacidade de hidratação e alta viscosidade.

2.7.3 LIGNINA

A lignina é um composto polifenólico complexo originado de três precursores de monolignol: álcoois p-cumaril, coniferil e sinopílico, e que, junto com as arabinxilanas, β -glucanas, celulose e pectina, está entre os principais componentes das paredes celulares secundárias das plantas vasculares (KNUDSEN, 1997; MOTTIAR *et al.*, 2016). Está fortemente reticulada com outros componentes da parede celular, conferindo resistência mecânica aos tecidos vegetais e rigidez às paredes celulares (RUBIN, 2008). O grão de milho integral contém 1,1% de lignina (peso base), o que é inferior ao observado em outros cereais (KNUDSEN, 1997).

Além de conferir resistência mecânica, a lignina do milho desempenha papel fundamental na organização de redes de polissacarídeos, impactando significativamente as propriedades funcionais de farelo de milho (LAPIERRE *et al.*, 2001).

2.8 TENDÊNCIAS DE UTILIZAÇÃO DE CARBOIDRATOS DE MILHO

O milho é um dos grãos mais estudados pelos órgãos de pesquisa, sendo que vários trabalhos já foram publicados em periódicos nacionais e internacionais, desde a produção no campo, com o desenvolvimento de cultivares específicas, e de técnicas de manejo, com adubação, tratos culturais e épocas de plantio, e também na área de pós-colheita, sobre secagem e armazenamento de grãos, onde técnicas adequadas já foram desenvolvidas e identificadas, porém ainda falta um pouco de difusão destas para os produtores utilizarem estas em suas unidades de produção.

A maior parte dos grupos de pesquisa localizados no mundo que trabalham com grãos de milho busca o desenvolvimento de novos produtos que apresentem melhor qualidade nutricional e sejam de grande aceitação dos consumidores. Pesquisas com modificação física, químicas e biológicas foram realizadas com amido para melhoria de suas propriedades físico-químicas, de pasta, morfológicas, térmicas e de cristalinidade, porém ainda faltam informações sobre os efeitos dessas modificações nas propriedades, principalmente após o desenvolvimento de novas cultivares, com diferentes teores de amilose, que podem resultar na obtenção de amido com propriedades diferentes.

Portanto, existem muitos trabalhos e linhas de pesquisa com grãos de milho e derivados que obtiveram bons resultados, porém, ainda existem dúvidas quanto a alguns processamentos utilizados, e novas pesquisas necessitam ser realizadas para agregar valor a estes produtos, e atender a necessidade e exigência dos consumidores.

Muito têm-se aprendido nos últimos sobre a estrutura do amido e das fibras e suas importantes funções. O amido de milho já é bastante usado e possui propriedades funcionais atrativas e de ampla aplicação. Os polissacarídeos não amiláceos encontrados na fibra de milho, especialmente oriundo da moagem úmida, são um produto de baixo valor, mas têm constituintes com potencial de valor agregado. O arabinoxilanos, principal componente, é funcionalmente pobre em seu estado reticulado nativo, porém quando solubilizado em álcali tem propriedades interessantes e potencialmente

úteis de fermentabilidade lenta no cólon para fornecer uma fibra dietética tolerável que estende a fermentação até o intestino distal.

REFERÊNCIAS

- ASPINALL, G. O. *The polysaccharides*. Academic Press, New York, 1982.
- BILIADERIS, Costas G. The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, v. 69, n. 1, p. 60-78, 1991.
- BURTON, Rachel A.; FINCHER, Geoffrey B. (1, 3; 1, 4)- β -D-Glucans in cell walls of the Poaceae, lower plants, and fungi: a tale of two linkages. *Molecular plant*, v. 2, n. 5, p. 873-882, 2009.
- CARVAJAL-MILLAN, Elizabeth *et al.* Maize bran gum: extraction, characterization and functional properties. *Carbohydrate Polymers*, v. 69, n. 2, p. 280-285, 2007.
- CARVAJAL-MILLAN, Elizabeth *et al.* Storage stability of laccase induced arabinoxylan gels. *Carbohydrate Polymers*, v. 59, n. 2, p. 181-188, 2005.
- CEREDA, M. P. *Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas: propiedades gerais do amido*. Campinas: Fundação Cargill, 2001. v. 1.
- CORRADINI, E. *et al.* Comparative studies of corn thermoplastic starches with different amylose content. *Polímeros*, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.
- DEBET, Martine R.; GIDLEY, Michael J. Three classes of starch granule swelling: influence of surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*, v. 64, n. 3, p. 452-465, 2006.
- DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Leila Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. *Ciência Rural*, v. 39, p. 945-954, 2009.
- DONER, Landis W.; HICKS, Kevin B. Isolation of hemicellulose from corn fiber by alkaline hydrogen peroxide extraction. *Cereal Chemistry*, v. 74, n. 2, p. 176-181, 1997.
- ELIASSON, Ann-Charlotte (ed.). *Starch in food: structure, function and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004.
- FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. *Propriedades gerais do amido*. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. 221 p.
- GEORGET, Dominique MR *et al.* Thermal characterisation of oxidatively cross-linked American corn bran hemicellulose. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 79, n. 3, p. 481-483, 1999.
- HAMAKER, Bruce R.; TUNCIL, Yunus E.; SHEN, Xinyu. Carbohydrates of the Kernel. In: SERNA-SALDIVAR, Sergio O. *Corn: chemistry and technology*. 3. ed. AACC International Press, 2019. p. 305-318.

HARRIS, Philip J.; SMITH, Bronwen G. Plant cell walls and cell-wall polysaccharides: structures, properties and uses in food products. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 41, p. 129-143, 2006.

HOOVER, Ratnajothi. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

HOSENEY, R. Carl *et al.* *Principles of cereal science and technology*. American Association of Cereal Chemists (AACC), 1994.

IMBERTY, Anne *et al.* Recent advances in knowledge of starch structure. *Starch-Stärke*, v. 43, n. 10, p. 375-384, 1991.

JANE, J. L. *et al.* Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

JAWORSKI, N. W. *et al.* Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *Journal of Animal Science*, v. 93, n. 3, p. 1103-1113, 2015.

JOBLING, Steve. Improving starch for food and industrial applications. *Current opinion in plant biology*, v. 7, n. 2, p. 210-218, 2004.

KARIM, A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry*, v. 71, n. 1, p. 9-36, 2000.

KNUDSEN, Knud Erik Bach. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology*, v. 67, n. 4, p. 319-338, 1997.

KUAKPETOON, Daris; WANG, Ya-Jane. Internal structure and physicochemical properties of corn starches as revealed by chemical surface gelatinization. *Carbohydrate Research*, v. 342, n. 15, p. 2253-2263, 2007.

LAJOLO, Franco Maria; MENEZES, Elizabete Wenzel de. *Carboidratos en alimentos regionales iberoamericanos*. São Paulo: Edusp, 2006. 646 p.

LAPIERRE, Catherine *et al.* The phenolic fraction of maize bran: evidence for lignin-heteroxylan association. *Phytochemistry*, v. 57, n. 5, p. 765-772, 2001.

LAZARIDOU, Athina *et al.* A comparative study on structure-function relations of mixed-linkage (1→3), (1→4) linear β -D-glucans. *Food Hydrocolloids*, v. 18, n. 5, p. 837-855, 2004.

LAZARIDOU, Athina; BILIADERIS, C. G. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science*, v. 46, n. 2, p. 101-118, 2007.

LEACH HARRY, W.; MCCOWEN, L. D.; CHOCH, J. Thomas. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry*, v. 36, p. 534-544, 1959.

MALUMBA, Paul *et al.* Comparative study of the effect of drying temperatures and heat-moisture treatment on the physicochemical and functional properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, v. 79, n. 3, p. 633-641, 2010.

MALUMBA, Paul *et al.* Influence of drying temperature on functional properties of wet-milled starch granules. *Carbohydrate Polymers*, v. 75, n. 2, p. 299-306, 2009.

MOTTIAR, Yaseen *et al.* Designer lignins: harnessing the plasticity of lignification. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 37, p. 190-200, 2016.

NG, Annie; GREENSHIELDS, Rod N.; WALDRON, Keith W. Oxidative cross-linking of corn bran hemicellulose: formation of ferulic acid dehydrodimers. *Carbohydrate Research*, v. 303, n. 4, p. 459-462, 1997a.

NG, K.-Y. *et al.* Thermal properties of starch from 62 exotic maize (*Zea mays* L.) lines grown in two locations. *Cereal Chemistry*, v. 74, n. 6, p. 837-841, 1997b.

OATES, Christopher G. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends in Food Science & Technology*, v. 8, n. 11, p. 375-382, 1997.

OOMIYA, M., IMAZOTO, S. Corn seed hemicellulose. In: INGLETT, G. E. (Ed.). *Maize: recent progress in chemistry and technology*. New York: Academic Press, 1982. p. 19-32.

PARAGINSKI, Ricardo Tadeu *et al.* Characteristics of starch isolated from maize as a function of grain storage temperature. *Carbohydrate Polymers*, v. 102, p. 88-94, 2014.

PARAGINSKI, Ricardo Tadeu *et al.* Physicochemical, pasting, crystallinity, and morphological properties of starches isolated from maize kernels exhibiting different types of defects. *Food Chemistry*, v. 274, p. 330-336, 2019.

PARKER, Roger; RING, Stephen G. Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*, v. 34, n. 1, p. 1-17, 2001.

PERONI, Fernanda Helena Gonçalves. *Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas*. Orientadora: Célia Maria Landi Franco. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/88414>.

RUBIN, Edward M. Genomics of cellulosic biofuels. *Nature*, v. 454, n. 7206, p. 841-845, 2008.

SALMAN, Hayfa; COPELAND, Les. Effect of storage on fat acidity and pasting characteristics of wheat flour. *Cereal Chemistry*, v. 84, n. 6, p. 600-606, 2007.

SETIAWAN, Stephen *et al.* Effects of drying conditions of corn kernels and storage at an elevated humidity on starch structures and properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, n. 23, p. 12260-12267, 2010.

SINGH, Narpinder *et al.* Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003.

SODHI, Navdeep Singh *et al.* Changes in physico-chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 27, n. 5, p. 387-400, 2003.

TESTER, Richard F.; KARKALAS, John; QI, Xin. Starch: composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, v. 39, n. 2, p. 151-165, 2004.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. *Starches: practical guides for the food industry*. Minnesota: Eagan Press Handbook Series, 1999. 94 p.

VAN DER MAAREL, Marc J.E.C. *et al.* Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. *Journal of Biotechnology*, v. 94, n. 2, p. 137-155, 2002.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, Jan A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch. *Carbohydrate polymers*, v. 58, n. 3, p. 245-266, 2004.

WANG, Hui; GURAU, Gabriela; ROGERS, Robin D. Ionic liquid processing of cellulose. *Chemical Society Reviews*, v. 41, n. 4, p. 1519-1537, 2012.

WEBER, Fernanda Hart; COLLARES-QUEIROZ, Fernanda Paula; CHANG, Yoon Kil. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. *Food Science and Technology*, v. 29, p. 748-753, 2009.

XIE, Sherry X.; LIU, Qiang; CUI, Steve W. *Starch modification and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.

YADAV, Madhav P. *et al.* Corn fiber gum: A potential gum arabic replacer for beverage flavor emulsification. *Food Hydrocolloids*, v. 21, n. 7, p. 1022-1030, 2007a.

YADAV, Madhav P. *et al.* Molecular characteristics of corn fiber gum and their influence on CFG emulsifying properties. *Cereal Chemistry*, v. 84, n. 2, p. 175-180, 2007b.

YOSHIDA, Cristiana M. P. *et al.* Chitosan biobased and intelligent films: Monitoring pH variations. *LWT-food science and technology*, v. 55, n. 1, p. 83-89, 2014.

YOU, S. *et al.* Separation and characterization of barley starch polymers by a flow field-flow fractionation technique in combination with multiangle light scattering and differential refractive index detection. *Cereal Chemistry*, v. 79, n. 5, p. 624-630, 2002.

ZHONG, Fang *et al.* The effect of rice variety and starch isolation method on the pasting and rheological properties of rice starch pastes. *Food Hydrocolloids*, v. 23, n. 2, p. 406-414, 2009.

ZOBEL, H. F. Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch-Stärke*, v. 40, n. 1, p. 1-7, 1988.

Esta obra, assinada por 37 talentosos autores com as mais diversas expertises na área de ciência e tecnologia de pós-colheita e industrialização do milho, foi pensada para servir de leitura geral e, principalmente, de fonte para consultas pontuais de pesquisadores, estudantes e pessoas interessadas no tema, além de oferecer uma ampla perspectiva sobre o milho, desde os componentes menores (bioativos e minerais) até as macromoléculas.

O texto traz ainda informações abrangentes sobre todos os aspectos de química, tecnologia e usos do cereal mais produzido no mundo (em toneladas métricas), e inclui extensa cobertura do desenvolvimento recente científico e tecnológico sobre o tema.

Em 21 capítulos, o livro destaca a importância do milho como matéria-prima para a produção de alimentos e de bioetanol combustível, e o tema emergente de fitoquímicos ou compostos nutracêuticos associados a diferentes tipos de milhos e seu efeito na saúde humana; especialmente na prevenção de doenças crônicas e do câncer, além de seus aspectos sensoriais e genótipos especiais. Discute ainda sobre o uso do milho como fonte de fibra alimentar, cozimento por extrusão de farinhas e amidos de milho, examina o efeito da composição e estrutura do milho na utilização da farinha de milho, na panificação e nos produtos de milho. Além de servir de base científica, essa obra apoia o desenvolvimento tecnológico das indústrias de milho e derivados.

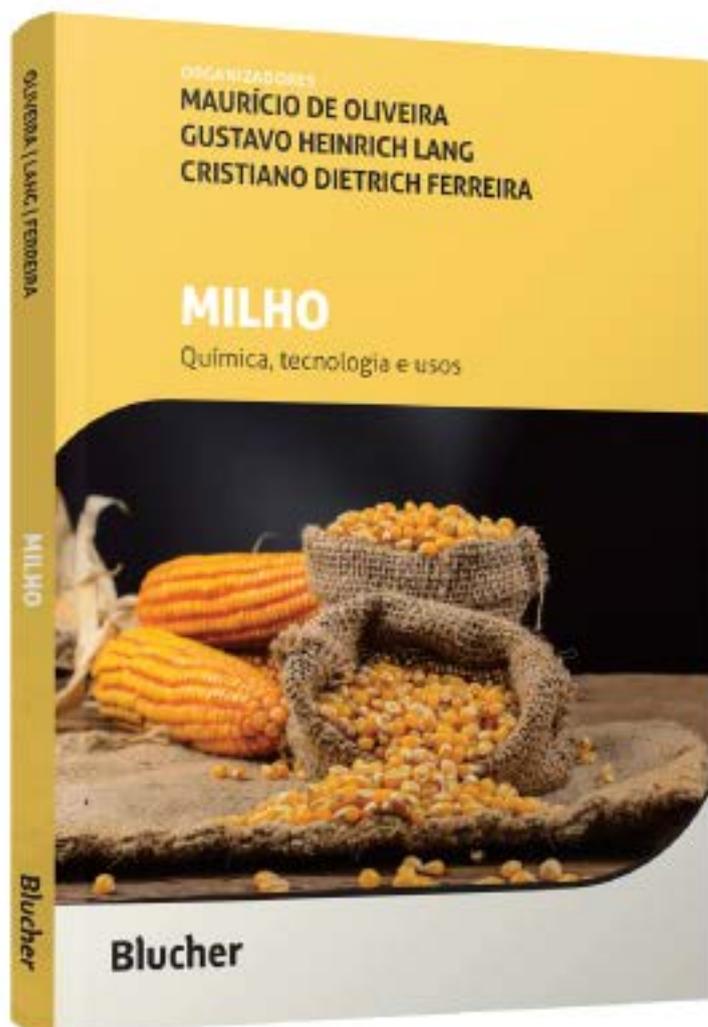
Ancorado em centenas de referências bibliográficas nacionais e internacionais, o livro sintetiza o conhecimento direcionado para a difusão do saber focado em um cereal muito importante para alimentação humana: o milho! A obra abrange amplos aspectos da qualidade do grão, que vão da lavoura ao prato do consumidor. Quando trata do processamento, concentra-se na demanda em cada um dos caminhos possíveis para os grãos de milho, direcionados a aspectos fundamentais, como a saúde do consumidor.

Tomando temas do milho mais intenso em tecnologia, aqui são apresentadas as infinitas oportunidades de uso alimentício, de uso para a produção de bebidas e para o etanol.



www.blucher.com.br

Blucher



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

Milho

Química, tecnologia e usos

Cristiano Dietrich Ferreira,
Gustavo Heinrich Lang, Maurício de Oliveira

ISBN: 9786555064391

Páginas: 432

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2022
