



Jornadas de LÚPULO e CERVEJA

Novas oportunidades de negócio

Livro de atas

Bragança, 13-14-15 de julho 2015

editores

Manuel Ângelo Rodrigues · Jorge Sá Morais · João Paulo Miranda de Castro

organização



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Centro de Investigação de Montanha



Título: Jornadas de lúpulo e cerveja: novas oportunidades de negócio.
Livro de atas

Editores: Manuel Ângelo Rodrigues (CIMO/IPB9)
Jorge Sá Morais (ESA/IPB)
João Paulo Miranda de Castro (CIMO/IPB)

Organização: Instituto Politécnico de Bragança
ISBN: 978-972-745-202-6
Handle: <http://hdl.handle.net/10198/11625>
Edição: Instituto Politécnico de Bragança – Dezembro de 2015

Design da capa: Serviços de Imagem do IPB
Contacto: jpmc@ipb.pt

Apoios:



Conteúdo:

<u>O LÚPULO: DA CULTURA AO EXTRATO. TÉCNICA CULTURAL TRADICIONAL</u>	<u>1</u>
<u>O LÚPULO: CULTIVARES E EXTRATO</u>	<u>11</u>
<u>PRODUÇÃO E TECNOLOGIA DE CEREAIS: NOTAS BREVES SOBRE O CULTIVO DE CEVADA EM PORTUGAL</u>	<u>23</u>
<u>PRODUÇÃO E TECNOLOGIA DE CEREAIS: PROCESSO DE MALTAGEM DA CEVADA</u>	<u>37</u>
<u>LEVEDURAS E FERMENTAÇÕES: O CASO DA CERVEJA</u>	<u>53</u>
<u>A CULTURA DO LÚPULO EM BRAGANÇA. ASPETOS AGRONÓMICOS INOVADORES E POTENCIAL E EXPANSÃO</u>	<u>63</u>
<u>OBTENÇÃO DE PLANTAS DE <i>HUMULUS LUPULUS</i> L. RESISTENTES A VÍRUS</u>	<u>71</u>
<u>MACROZONAGEM DA APTIDÃO DO SOLO PARA A CULTURA DO LÚPULO NO DISTRITO DE BRAGANÇA</u>	<u>83</u>
<u>UM FUTURO PARA A PRODUÇÃO DE LÚPULO EM PORTUGAL</u>	<u>99</u>
<u>LÚPULO: APLICACIÓN INDUSTRIAL DE LA TECNOLOGÍA DE GASES COMPRIMIDOS.</u>	<u>101</u>

Produção e tecnologia de cereais: processo de maltagem da cevada

Vítor Manuel Ramalheira Martins¹, M Ângelo Rodrigues¹

¹Centro de Investigação de Montanha – Instituto Politécnico de Bragança

Resumo

O processo de maltagem da cevada consiste na germinação e secagem controlada do cereal, tendo como principal objetivo a obtenção de um produto com atividade enzimática, coloração e estabilidade adequadas. É possível obter maltes com características bastante distintas, no que se refere à sua cor e atividade enzimática, o que também possibilita a obtenção de cervejas com diferentes características. Com este trabalho pretende-se descrever o processo de maltagem da cevada, abordando numa fase inicial a estrutura e composição química do grão de cevada. Serão também descritas as principais modificações químicas que ocorrem ao nível dos principais componentes químicos do grão de cevada.

Palavras-chave: cevada; maltagem; amido; β -glucanas; proteínas; atividade enzimática

Estrutura e composição química do grão de cevada: uma visão geral

A cevada é o principal cereal utilizado a nível mundial para o processo de maltagem, podendo-se utilizar as cevadas dísticas ou as cevadas hexásticas para a produção de malte (Gupta *et al.*, 2010). Na Europa, as cevadas dísticas são bastante utilizadas na indústria cervejeira, dado produzirem malte com maior conteúdo de amido e menor quantidade de proteína (Palmer, 2006). Este facto permite obter mais extracto a partir do malte, para além de evitar alguns problemas de turbidez na produção da cerveja. No entanto, nos Estados Unidos existe tradição na utilização de cevadas hexásticas para a produção de malte. Apesar da sua menor riqueza em amido, o malte obtido é caracterizado pelos seus elevados níveis de enzimas, tornando-o adequado para a produção de cervejas que incluem adjuntos no seu fabrico, como sucede no caso de algumas cervejas norte-americanas.

O grão de cevada é formado por uma cariopse revestida por uma casca (Figura 1) que desempenha uma importante função protetora desde a colheita (Olkku *et al.*, 1995) até ao processo de maltagem (Meredith *et al.*, 1962).

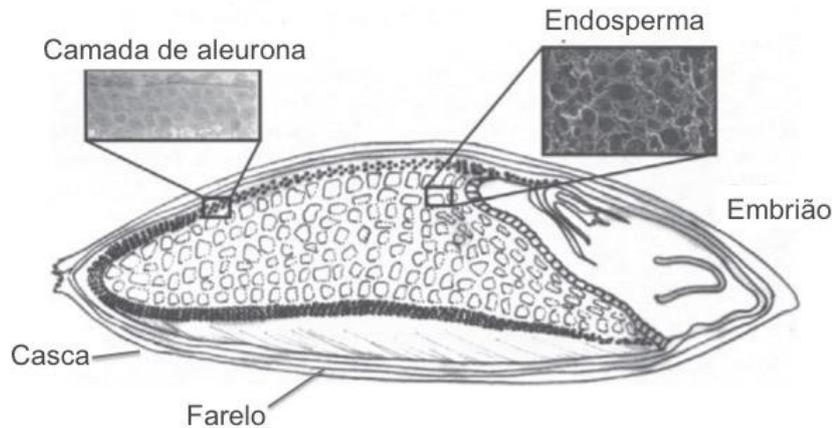


Figura 1. Estrutura geral de um grão de cevada (Adaptado de Fox, 2010).

Tipicamente, a casca representa cerca de 10-12% do peso seco total do grão de cevada (Palmer, 2006), no entanto este valor pode chegar até aos 25%, dependendo de factores como a variedade de cevada cultivada e as condições climáticas durante o crescimento da planta (Evers *et al.*, 1999). A casca é composta por β -glucanas, celulose, lenhina e pentosanas que se encontram presentes como componentes das paredes celulares (Lewis & Young, 1995). É também possível encontrar na sua composição compostos fenólicos e substâncias minerais (Briggs, 1978).

A cariopse é constituída por farelo, camada de aleurona, endosperma e embrião (Figura 2). O farelo pode representar 2-3% do peso seco total do grão (Palmer, 2006) e é formado por camadas de células com características distintas, tais como o pericarpo e testa, que desempenham uma função protetora. O pericarpo é uma estrutura semipermeável composta por várias camadas de células comprimidas que, à exceção da ausência de lenhina, tem uma composição química bastante semelhante à da casca (Munck, 1981). A testa é composta por celulose, compostos fenólicos e pigmentos de origem lipídica (Hockett, 2000; Palmer, 2006).

A camada de aleurona representa 4-5% do peso seco total do grão e é composta por células com paredes celulares espessas (cerca de 3 μ m), formadas principalmente por pentosanas (60%) e β -glucanas (30 %) (Palmer, 2006). Do ponto de vista botânico, a camada de aleurona é o revestimento do endosperma (Hoseney, 1991). É uma região do grão de cevada rica em ácido fítico, lípidos e proteínas (Palmer, 2006).

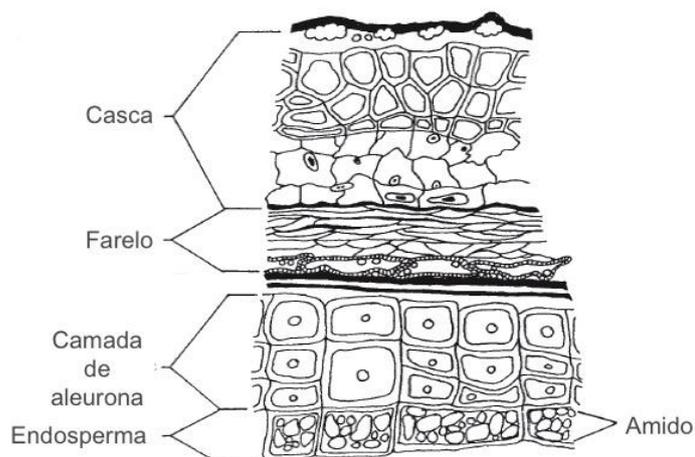


Figura 2. Estrutura detalhada de um grão de cevada (Adaptado de Jadhav *et al.*, 1998).

O embrião representa cerca de 2-3% do peso seco total do grão de cevada (Palmer, 2006), sendo constituído por cerca de 7% de celulose, 14-17% de lípidos, 5-10% de matéria inorgânica, 34% de proteína, 5-10% de rafinose e 14-15% de sacarose (Briggs, 1978). Apesar de apenas contribuir para cerca de 2-3% do peso seco total do grão, o embrião desempenha um papel crucial no processo de maltagem. Durante a maltagem, o embrião produz ácido giberélico que irá induzir as células da camada de aleurona a produzir enzimas, tais como α -amilases, dextrinases limite, *endo*-glucanases, *endo*-proteases e xilanases (Palmer, 1989), que irão degradar alguns componentes do endosperma. Apesar da camada de aleurona ser o principal tecido produtor de enzimas, tem sido proposto que, em determinadas condições, o embrião poderá produzir até cerca de 10% das enzimas do endosperma (Palmer, 2006), particularmente α -amilases.

O endosperma representa a maior porção do grão, constituindo cerca de 77-82% do peso seco total do grão de cevada (Palmer, 2006), e é composto principalmente por amido e por proteínas. Durante o processo de maltagem, alguns dos componentes do endosperma vão ser sujeitos à ação de diversas enzimas sintetizadas na camada de aleurona e embrião, nomeadamente amilases, β -glucanases e proteases. Deste modo, para uma melhor compreensão destes processos, que serão descritos mais adiante, iremos abordar a composição química do endosperma de uma forma mais detalhada.

Composição química do endosperma: uma visão detalhada

O endosperma funciona como uma fonte de nutrientes para o embrião durante a etapa de germinação que faz parte do processo de maltagem. As paredes celulares do

endosperma têm cerca de 2 μm de espessura e são compostas por β -glucanas (70%), pentosanas (20%) e proteínas (5%) (Palmer, 2006). No interior destas células encontramos principalmente grânulos de amido envoltos por uma matriz proteica (Hoseney, 1991).

O amido é o componente mais abundante do endosperma e do grão de cevada, representando cerca de 60% da massa total do grão (Fox, 2010). O amido é formado por amilose e amilopectina, que são polímeros de D-glucose, presentes em proporções distintas, dependendo da origem botânica do cereal. Na cevada, a proporção de amilose e amilopectina é cerca de 1:3 (Palmer, 1983). Na molécula de amilose os resíduos de D-glucose estão ligados principalmente por ligações glicosídicas α -(1,4), o que lhe confere uma forma essencialmente linear, enquanto na amilopectina surgem também ligações α -(1,6) que contribuem para a estrutura mais ramificada da molécula (Figura 3) (Bamforth, 2003).

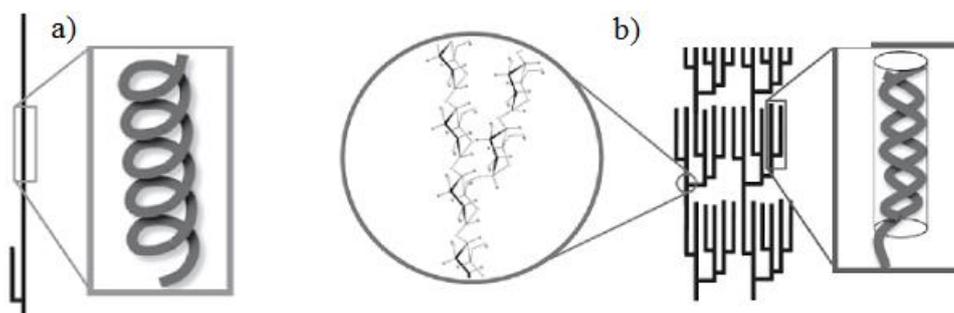


Figura 3. Representação esquemática das principais moléculas constituintes do amido: a) amilose e b) amilopectina (Adaptado de Ross, 2012).

O amido encontra-se armazenado nas células do endosperma sob a forma de grânulos (Figura 4) que diferem no seu tamanho e na proporção de amilose e amilopectina. Podem ser identificados dois tipos de grânulos de amido na cevada: grânulos do tipo A, que possuem maior dimensão, e grânulos do tipo B, que são mais pequenos. Os grânulos do tipo A contêm cerca de 70 a 80% de amilopectina, enquanto os grânulos do tipo B têm entre 20 a 60% de amilopectina (Evers *et al.*, 1999).

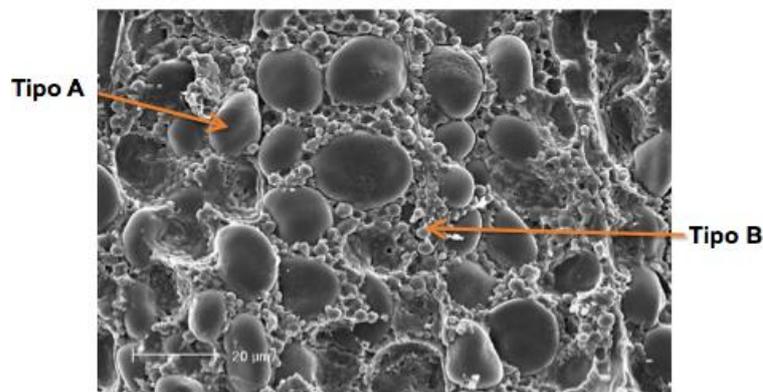


Figura 4. Organização do amido em grânulos do tipo A e grânulos do tipo B (Adaptado de MacGregor & Matsuo, 1982).

Como foi referido, os grânulos de amido encontram-se envolvidos por uma matriz proteica que é uma importante fonte de azoto para o embrião, durante a etapa de germinação (Fox, 2010). Esta matriz proteica é fundamentalmente composta por proteínas de reserva, nomeadamente hordeínas e glutelinas. As hordeínas são as principais proteínas de reserva, contribuindo com cerca de 40-50% da proteína total do grão (Fox, 2010). As hordeínas são solúveis em soluções aquosas etanólicas, por exemplo a 60-70%, enquanto as glutelinas são insolúveis em água, soluções salinas e etanólicas, podendo-se, no entanto, solubilizar em soluções ácidas ou alcalinas diluídas (Koehler & Wieser, 1996). No entanto, vários estudos têm vindo a mostrar que algumas frações de glutelinas são insolúveis em soluções ácidas diluídas e que a sua estrutura primária é destruída quando se realizam extrações com soluções alcalinas fortes. Deste modo, tornou-se relativamente frequente a utilização de solventes contendo misturas de álcoois (propanol a 50%), agentes redutores (Reagente de Cleland) ou agentes desagregantes (ureia).

As hordeínas têm sido bastante estudadas, podendo ser classificadas de acordo com vários critérios, tais como a sua mobilidade electroforética (Tatham & Shewry, 1995), o seu peso molecular (Wieser, 1994) e de acordo com o seu peso molecular e conteúdo em enxofre (Shewry & Tatham, 1990). Vários estudos demonstraram a importância destas proteínas ao nível da dureza do grão de cevada (Brennan *et al.*, 1998), quantidade de extracto (Skerritt & Janes, 1992; Janes & Skerritt, 1993), espuma e turbidez da cerveja (Sheehan & Skerritt, 1997; Robinson *et al.*, 2007).

Os grânulos de amido, bem como a matriz proteica que os envolve, encontram-se no interior das células do endosperma cujas paredes são constituídas por diversos polissacarídeos não amiláceos, tais como as β -glucanas (cerca de 70%) e as

arabinosilanas (cerca de 15%). Do ponto de vista estrutural, as β -glucanas são um polímero linear formado por resíduos de D-glucose ligados entre si por ligações glicosídicas β -(1,3) e β -(1,4). As arabinosilanas consistem em cadeias formadas por resíduos de D-xilose ligados por ligações glicosídicas β -(1,3), onde se ligam resíduos de L-arabinose. As paredes celulares funcionam como uma barreira física que limita o acesso das enzimas aos grânulos de amido e à matriz proteica que os rodeia. Para além disso, quando as paredes celulares não são convenientemente hidrolisadas durante o processo de maltagem, podem surgir problemas de viscosidade e de turbidez na cerveja, que poderão tornar a produção mais demorada e dispendiosa (Izydorczyk & MacGregor, 2000; Jin *et al.*, 2004).

O processo de maltagem

O processo de maltagem pode ser descrito, de uma forma bastante sucinta, como consistindo na germinação e secagem controladas do grão de cevada (Figura 5). No entanto, a maltagem é um processo bastante mais complexo.

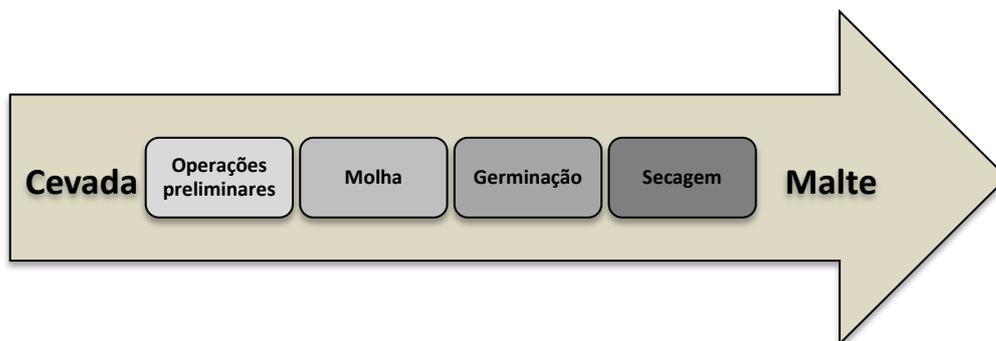


Figura 5. Esquema do processo de maltagem ilustrando as etapas da transformação da cevada em malte.

A maltagem propriamente dita inicia-se com a cevada limpa, classificada e com um teor de humidade de cerca de 11-12%. Deste modo, é necessária a realização de uma série de operações preliminares, tais como limpeza, classificação e secagem. Caso o teor de humidade da cevada após a colheita seja superior a 11-12% é conveniente a sua prévia secagem. A secagem da cevada deve ser realizada utilizando ar a temperatura inferior a 50-60 °C, para evitar a perda do potencial germinativo do grão. A limpeza tem como finalidade eliminar todo o tipo de material estranho que possa estar misturado com os grãos de cevada. Podem ser outro(s) tipo(s) de grãos de cereal, material vegetal diverso, pedras, poeiras, etc...Os equipamentos utilizados para a limpeza do grão de cevada

baseiam-se nas diferenças de tamanho, forma e densidade entre o grão de cevada e os materiais estranhos que se pretendem remover. Entre os vários equipamentos utilizados para a limpeza do grão de cereal podemos referir as mesas de gravidade, os peneiros e os separadores de discos. Também é frequente a utilização de separadores magnéticos para a remoção de materiais metálicos que eventualmente possam ter ficado na massa de cereal colhido no campo. Outra operação preliminar que é realizada antes da maltagem propriamente dita é a calibração. A calibração tem por objectivo a separação dos grãos de cevada de acordo com o seu tamanho para garantir que a massa de grãos de cevada que vão ser submetidos ao processo de maltagem é uniforme no que diz respeito ao seu tamanho. Deste modo, poderão ser evitadas situações de germinação do grão de cevada antes, ou depois do pretendido, garantindo um comportamento mais homogéneo dos grãos ao longo de todo o processo de maltagem

A etapa de molha tem por objectivo principal o aumento do teor de humidade do grão de cevada até cerca de 40-46% (CMBTC, 2012a). O aumento do teor de humidade do grão de cevada é crucial, uma vez que vai possibilitar o início da germinação do embrião e a correspondente produção de ácido giberélico, o transporte e ação do ácido giberélico na camada de aleurona e a hidratação do endosperma até valores que facilitam a sua modificação enzimática. Simultaneamente, a molha também permite uma limpeza adicional do grão de cevada. A etapa de molha começou por realizar-se através de uma única imersão do grão de cevada durante um determinado período de tempo. Atualmente, a molha é realizada mediante a alternância de períodos de imersão com períodos de repouso do grão (Figura 6), durante um período que pode chegar até 48 horas. É frequente a utilização de 3 períodos de imersão alternados com 3 períodos de repouso. Os períodos de repouso têm como objectivo a remoção do dióxido de carbono produzido durante o processo de respiração do grão de cevada e a sua substituição por ar e, conseqüentemente, oxigénio. Durante a etapa de molha a água começa a entrar no grão de cevada a partir do embrião, começando, de seguida, a hidratação da camada de aleurona e, posteriormente, a lenta hidratação do endosperma.

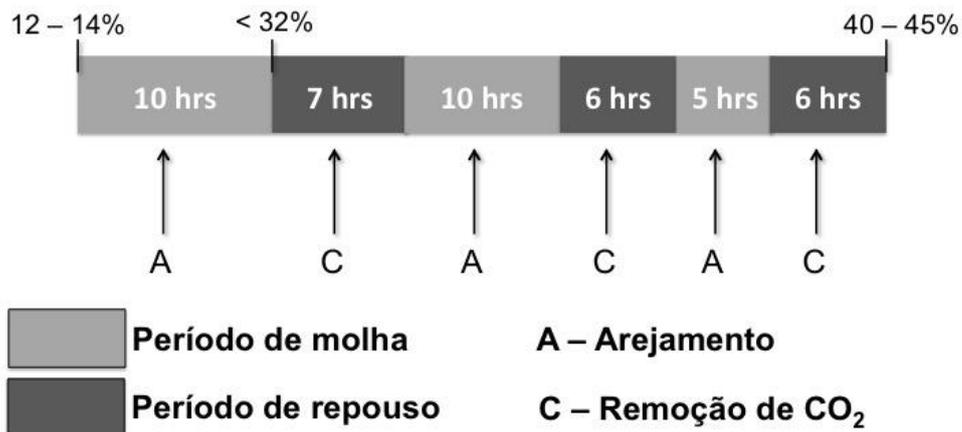


Figura 6. Esquema da etapa de molha para uma tina de fundo plano (Adaptado de GBS, 2015).

Podem ser utilizados alguns aditivos durante a etapa de molha: hidróxidos de cálcio e sódio (0,05 até 0,1%), para favorecer a extração de compostos fenólicos; formaldeído (0,05 a 0,1%), para controlo de microorganismos; peróxido de hidrogénio (0,1 a 1,0%), para auxiliar a oxigenação, entre outros (Palmer, 2006). A temperatura durante a etapa de molha deve ser rigorosamente controlada, devendo situar-se entre os 12-20 °C. Frequentemente, utilizam-se temperaturas de 16 °C, o que parece favorecer as modificações iniciais do grão durante a etapa de germinação, tornando-as mais rápidas e homogéneas (Palmer, 2006). A etapa de molha é realizada em tinas de molha, que podem ter fundo plano ou fundo cónico (Figura 7).



Figura 7. Tinas de molha de a) fundo cónico e de b) fundo plano (Adaptado de CMBTC, 2012b).

A etapa seguinte no processo de maltagem é a germinação, que tem como objectivo a produção equilibrada de enzimas com a mínima perda de extracto. Durante a germinação ocorrem importantes transformações físicas no grão de cevada, nomeadamente o crescimento da radícula e da plúmula (Figura 8).

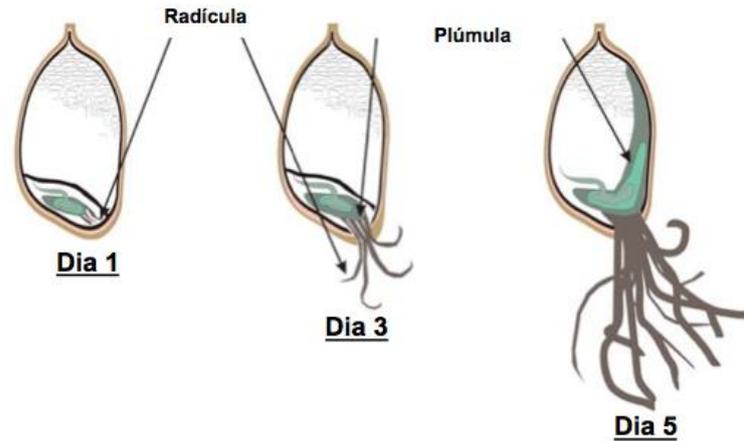


Figura 8. Crescimento da plúmula e radícula ao longo da etapa de germinação do grão de cevada (Adaptado de Daltraining, 2015).

Para além das transformações já descritas, no interior do grão os açúcares do embrião são utilizados para a produção de hormonas vegetais, como o ácido giberélico, que estimulam a produção de enzimas pelo embrião e pela camada de aleurona. As enzimas produzidas são transportadas até ao endosperma, onde irão atuar sobre as paredes celulares, os grânulos de amido e a matriz proteica que os envolve.

Entre as enzimas produzidas, é importante destacar as amilases, as β -glucanases e as proteases. As amilases atuam ao nível do principal constituinte do endosperma, o amido (Figura 9).

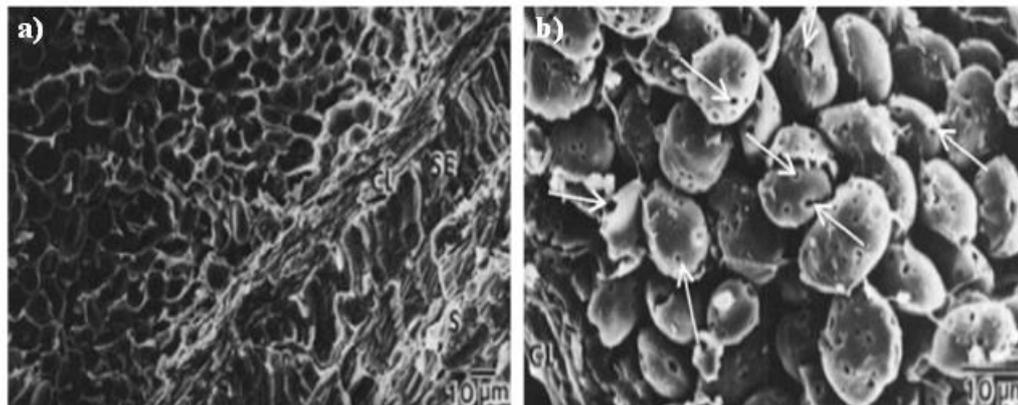


Figura 9. Grânulos de amido **a)** antes e **b)** após a ação das amilases (Adaptado de MacGregor & Matsuo, 1982).

Entre estas enzimas, encontramos as α - e β -amilases que atuam ao nível das ligações glicosídicas α -(1,4) que ligam os resíduos de D-glucose que compõem o amido. A α -amilase atua ao acaso no interior das moléculas de amilose e amilopectina,

produzindo dextrinas, enquanto a β -amilase atua a partir do extremo não redutor das cadeias, libertando moléculas de maltose (Hoseney, 1991).

Para além das amilases, existem outras enzimas, como as proteases, que também atuam ao nível dos componentes do endosperma, neste caso sobre a matriz proteica. As proteases desempenham um papel importante durante a etapa de germinação, verificando-se um forte aumento na atividade proteolítica a partir do 3º dia de germinação (Bathy, 1969; Wrobel & Jones, 1992). O aumento da atividade proteolítica resulta da ação conjunta de dois tipos de enzimas: as *endo*-proteases fornecem polipeptídeos solúveis que serão hidrolisados pelas *exo*-proteases a aminoácidos simples (Wrobel & Jones, 1992), que são utilizados pelo embrião. A ação das proteases durante a maltagem também parece influenciar algumas características da cerveja, tais como a sua turbidez, que é reduzida devido à ação destas enzimas.

A ação das enzimas já referidas não seria possível sem as β -glucanases, que desempenham um papel fundamental durante o processo de maltagem, e em particular durante a etapa de germinação. Estas enzimas são as responsáveis pela degradação das β -glucanas presentes nas paredes das células do endosperma (Figura 10).

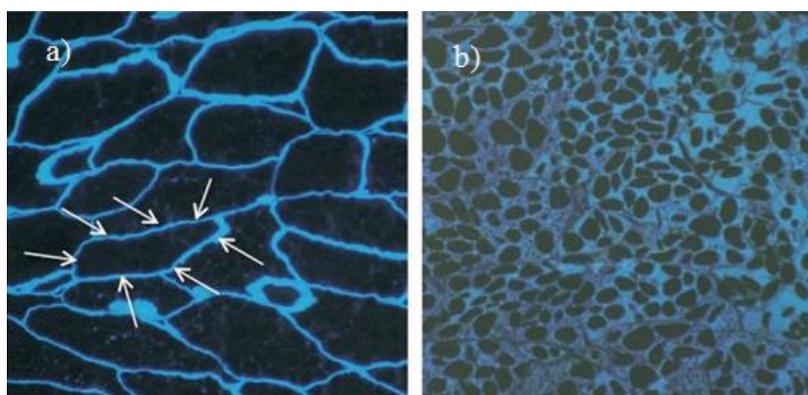


Figura 10. Células do endosperma a) antes e b) após a etapa de germinação, evidenciando a ação das β -glucanases (Adaptado de CMBTC, 2012a)

A sua ação vai permitir o acesso das restantes enzimas, tais como amilases e proteases, aos componentes que se encontram no interior das células do endosperma. Para além disso, a presença de componentes não degradados das paredes celulares, como as β -glucanas, pode conduzir a problemas de viscosidade e turbidez, que poderão implicar perdas de tempo e maiores custos de produção (Izydorczyk e MacGregor, 2000; Jin *et al.*, 2004).

A etapa de germinação é realizada em caixas ou tanques de germinação (Figura 11), a uma temperatura de cerca de 14-20 °C e mantendo o grão com um teor de humidade de cerca de 45% (CMBTC, 2012b).



Figura 11. Equipamentos utilizados para a realização da etapa de germinação: a) caixas e b) tanques (Adaptado de Maltibérica, 2009 e GBS, 2015)

Os locais onde é realizada a germinação possuem um pavimento perfurado para permitir a circulação de ar através dos grãos de cevada. A circulação de ar permite o controlo da temperatura e humidade durante a germinação, para além de possibilitar a remoção do dióxido de carbono formado devido à respiração do grão e o fornecimento de oxigénio para a realização do mesmo processo. Os equipamentos utilizados também dispõem de dispositivos mecânicos para revolverem periodicamente o grão e, deste modo, contribuírem para a homogeneização do perfil de humidade e temperatura ao longo da germinação.

A etapa final do processo de maltagem é a secagem e tem como principal objectivo parar a germinação do grão de cevada, através da redução do seu teor de humidade desde cerca 43% até 5%. Para além disso, a secagem inativa microrganismos, o que, em conjunto com a redução do teor de humidade, permite fornecer um produto estável do ponto de vista da sua conservação. As enzimas sintetizadas na etapa de germinação são sensíveis a elevadas temperaturas quando o teor de humidade do grão é elevado. Deste modo, na fase inicial da secagem deve utilizar-se ar a uma temperatura próxima de 50 °C (Figura 12). Durante esta fase (Fase 1 da Figura 12), o ar utilizado para a secagem deve ter uma humidade relativa de 100%, ou bastante próxima deste valor. O teor de humidade do grão é reduzido, a uma velocidade constante, desde o seu valor inicial até cerca de 20%.

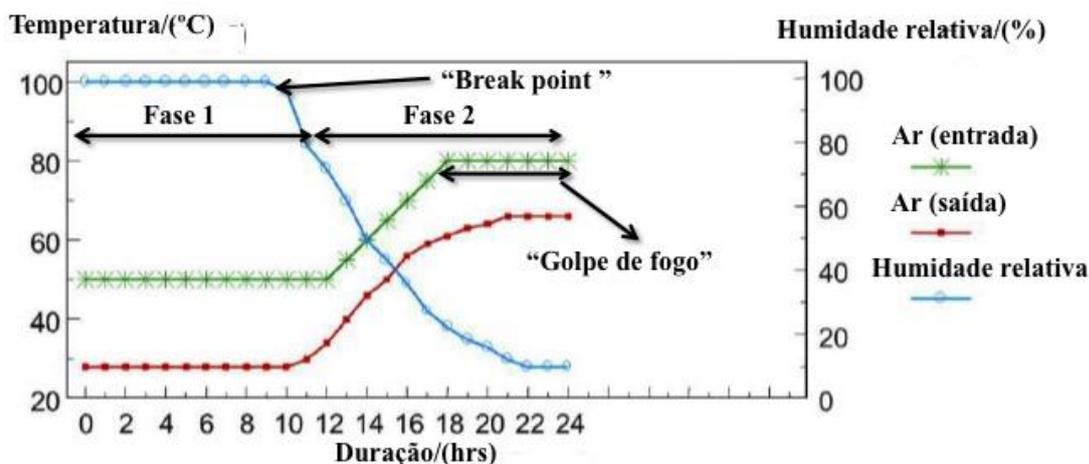


Figura 12. Evolução do teor de humidade e temperatura do ar de entrada, bem como da temperatura de saída do ar ao longo da etapa de secagem (Adaptado de GBS, 2015).

Durante a fase seguinte (Fase 2 da Figura 12), a velocidade de secagem diminui, sendo necessário aumentar a temperatura do ar de entrada para se conseguir reduzir o teor de humidade do grão até valores próximos dos 5%. Na parte final desta fase, mantém-se o valor da temperatura constante durante um determinado período de tempo (é o chamado “golpe de fogo”). O valor da temperatura vai depender do tipo de malte que se pretende obter: cerca de 80-85 °C, para os chamados maltes “pale”, ou cerca de 100 °C para os maltes designados “ale” (CMBTC, 2012b).

Durante a etapa de secagem, o malte vai desenvolvendo uma coloração que se deve à formação de melanoidinas, como resultado das reacções de Maillard que ocorrem entre os produtos de degradação enzimática do amido e proteínas, nomeadamente açúcares redutores e aminoácidos (Palmer, 1989). Durante a etapa de secagem, a atividade enzimática é reduzida de uma forma significativa, havendo mesmo destruição das enzimas mais sensíveis à temperatura. Deste modo, de uma forma geral, quanto mais intensa for a coloração do malte, menor será a sua atividade enzimática (Tabela 1). Nos chamados maltes base, como o Ale e o Lager, é desejável a manutenção de um nível adequado de atividade enzimática. No entanto, existem alguns maltes, designados de maltes especiais, que possuem colorações mais intensas, como o Amber/Brown e o Chocolate, onde a atividade enzimática é totalmente destruída, como resultado das elevadas temperaturas utilizadas na fase final da etapa de secagem. Existem maltes especiais, como é o caso do Light Crystal e do Crystal, que também possuem uma coloração mais intensa do que a dos maltes bases e que não têm actividade enzimática, mas que não foram obtidos com secagem a elevada temperatura. De facto, ao contrário

dos outros maltes referidos, estes maltes especiais são obtidos submetendo o malte a temperaturas de cerca de 75 °C imediatamente após a sua germinação, o que vai contribuir para a inativação das enzimas. Os maltes especiais são utilizados em conjunto com um malte de base, com o objectivo de conferir uma coloração mais intensa à cerveja, para além de sabores característicos.

Tabela 1- Características de diferentes maltes de base e maltes especiais (Adaptado de Palmer, 2006).

	Humidade (%)	Cor °EBC	Actividade enzimática	Temperatura final de secagem °C
Ale	4,0	5,0	sim	100
Lager	4,5	2,0	sim	80
Light Crystal^a	7,0	25-35	não	75
Crystal^a	4,0	100-300	não	75
Amber/Brown^a	2,0	100-140	não	150
Chocolate^a	1,5	900-1100	não	220

Referências

- Bamforth, C.W. 2003. Barley and malt starch in brewing: a general review. *Technical Quarterly-Master Brewers Association of the Americas*, 40, 89-97.
- Bhatty, R.S. 1969. Note on the development of proteolytic enzymes in germinating barley. *Cereal Chemistry*, 47, 74-77.
- Brennan, C.S., Smith, D.B., Harris, N., Shewery, P.R. 1998. The production and characterisation of Hor3 null lines of barley provides new information on the relationship of D hordein to malting performance. *Journal of Cereal Science*, 28, 291-299.
- Briggs, D.E. 1978. *Barley*. Chapman & Hall, 1-38.
- Canadian Malting Barley Technical Center 2012a. Malting canadian barley: chemistry. In: CMBTC (Ed.) - *Canadian Barley Malting and Brewing Technical Guide*, 17-20.
- Canadian Malting Barley Technical Center 2012b. Malting with canadian barley. In: CMBTC (Ed.) - *Canadian Barley Malting and Brewing Technical Guide*, 21-24.
- Daltraining, 2015. Raw materials. Disponível em <http://www.daltraining.eu/PDF/rawmaterials/section1Rawmaterials.pdf> (consulta em julho de 2015).
- Evers, A.D., Blakeney, A.B., O'Brien, L. 1999. Cereal structure and composition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 629-650.
- Fox, G.P. 2010. Chemical composition in barley grains and malt quality. In: Zhang, G., Li, C. (Ed.) - *Genetics and Improvement of Barley Malt Quality*. Springer Berlin Heidelberg, 63-98.

- GBS (Global Beverage Solutions) 2015. The malting process. Disponível em http://www.gbsinfo.com/siteresources/uploads/1181158_2_malting_process1181158.pdf (consulta em julho de 2015).
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., Gallghar, E. 2010. Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 318-328.
- Hockett, E.A. 2000. Barley. In: Kulp, K., Ponte Jr., J.G. (Ed.) - *Handbook of Cereal Science and Technology*. Marcel Dekker, Inc., 81-126.
- Hoseney, R.C. 1991. *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Editorial Acribia, S.A., 1-30.
- Izydorczyk, M.S., MacGregor, A.W. 2000. Evidence of intermolecular interactions of β -glucans and arabinoxylans. *Carbohydrate Polymers*, 41, 417-420.
- Janes, P. W., Skerritt, J.H. 1993. High performance liquid chromatography of barley proteins: relative quantities of hordeins fractions correlate with malt extract. *Journal of the Institute of Brewing*, 99, 77-84.
- Jin, Y.L., Speers, R.A., Paulson, A.T., Stewart, R.J. 2004. Barley β -glucan and their degradation during malting and brewing. *Technical Quaterly-Master Brewers Association of the Americas*, 41, 231-240.
- Koehler, P., Wieser, H. 1996. Chemistry of cereal grains. In: Lásztity, R. (Ed.) - *Chemistry of Cereal Proteins*, 11-45.
- Lewis, M.J., Young, T.W. 1995. *Brewing*. Chapman & Hall, 233-250.
- MacGregor, A.W., Matsuo, R.R. 1982. Starch degradation in endosperms of barley and wheat kernels during initial stages of germination. *Cereal Chemistry* 59, 210-216.
- Maltibérica, 2009. Manual de boas práticas agrícolas. Disponível em http://agrogestao.com/ficheiros/Maltiberica_Manual_Boas_Praticas_Agricolas_web.pdf (consulta em julho de 2015).
- Meredith, W.O.S., Anderson, J.A., Hudson, L.E. 1962. Evaluation of malting barley. In: Cook, A.H. (Ed.) - *Barley and Malt. Biology, Biochemistry and Technology*. Academic Press, 207-270.
- Munck, L. 1981. Barley for food, feed and industry. In: Pomeranz, Y., Munck, L. (Ed.) - *Cereals: a Renewable Resource, Theory and Practice*. American Association of Cereal Chemists, 427-459.
- Olkku, J., Kotaviita, E., Salmenkallio-Martilla, M., Sweins, H., Home, S. 2005. Conection between structure and quality of barley husk. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 63, 17-22.
- Palmer, G.H. 1983. Malting and mashing. In: *An Introduction to Brewing and Science Technology*. The Institute of Brewing, 10-27.
- Palmer, G.H. 1989. *Cereal Science and Technology*. Aberdeen University Press, 61-242.
- Palmer, G.H. 2006. Barley and malt. In: Priest, F.G., Stewart, G.G. (ed.) - *Handbook of Brewing*. CRC Press, 139-160.
- Robinson, L., Juttner, J. , Milligan, A., Lahnstein, J. , Eglinton, J.K., Evans, D.E. 2007. The identification of a barley haze active protein that influences beer haze stability:

- cloning and characterisation of the barley SE protein as a barley trypsin inhibitor of the chloroform/methanol type. *Journal of Cereal Science*, 45, 343-352.
- Ross, A.S. 2012. Starch in foods. In: Wrolstad, R.E. (Ed.) - *Food Carbohydrate Chemistry*. Wiley-Blackwell, 107-134.
- Sheehan, M.C., Skerritt, J.H. 1997. Identification and characterisation of beer polypeptides derived from barley hordeins. *Journal of the Institute of Brewing*, 107, 297-306.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S. 1990. The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution. *Biochemistry Journal*, 267, 1-12.
- Skerritt, J.H., Janes, P.W. 1992. Disulphide-bonded "gel protein" aggregates in barley: quality-related differences in composition and reductive dissociation. *Journal of Cereal Science*, 16, 219-235.
- Tatham, A.S., Shewry, P.R. 1995. The S-poor prolamins of wheat, barley and rye. *Journal of Cereal Science*, 22, 1-16.
- Wieser, H. 1994. Cereal protein chemistry. In: Feighery, C., O'Farrelly, C. (Ed.) - *Gastrointestinal Immunology and Gluten-Sensitive Disease*. Oak Tree Press, 191-202.
- Wrobel, R., Jones, B.L. 1992. Electrophoretic study of substrate and pH dependence on endoproteolytic enzymes in green malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 98, 471-478.