

Adaptação de cultivares de Inverno de colza às condições ecológicas de Trás-os-Montes

Isabel Alexandra de Queirós Morais Ferreira

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia*

Orientado por

Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Bragança

**À memória
do meu pai**

Agradecimentos

Ao entregar este trabalho, cumpre-me agradecer àqueles que de alguma forma contribuíram para a sua realização.

Em primeiro lugar, ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Ângelo Rodrigues, pela orientação, disponibilidade, incentivo, apoio e amizade, dedicados ao longo deste trabalho.

À Professora Doutora Margarida Arrobas, responsável pelo laboratório de solos da E.S.A.B., por ter facilitado e colaborado na realização de amostras de solos e plantas.

Ao Eng. Técnico José Rocha, pela permanente disponibilidade e pelo incansável apoio nos trabalhos de campo. Merecem também agradecimento a Sra. Eng. Ana Pinto e a Técnica Rita Diz pelo apoio nas análises laboratoriais.

À memória do meu pai, pois embora tenha tido o seu apoio no início desta caminhada, infelizmente não pôde assistir à sua conclusão.

À minha mãe, e à minha irmã, a infindável compreensão e as palavras amigas e de incentivo que me têm dirigido ao longo de toda a minha vida e também pela imensurável felicidade que é tê-las como família.

Ao Miguel, pelo amor, carinho e amizade que sempre demonstrou nos bons e maus momentos.

À minha família, em especial ao tio Álvaro e à tia Clemência, pelo incentivo e apoio dado ao longo destes anos.

E a todos aqueles que, apesar de não serem referenciados, duma forma ou doutra, contribuíram para que este trabalho se tornasse possível.

A todos, um sincero obrigado.

Índice

<i>Resumo</i>	1
<i>Abstract</i>	3
<i>1. A cultura da colza</i>	5
1.1. Aspectos botânicos	5
1.2. Ciclo cultural	6
1.3. Importância e distribuição mundial da colza.....	7
1.4. Adaptação agro-ecológica da colza.....	9
1.5. Técnica cultural	10
1.5.1. Preparação do terreno	11
1.5.2. Sementeira	11
1.5.3. Fertilização	12
1.5.4. Protecção fitossanitária.....	13
1.5.5. Material vegetal	14
1.5.6. Colheita.....	15
1.6. Custos da cultura da colza	15
1.7. Biodiesel.....	16
<i>2. Material e métodos</i>	19
2.1. Ensaio de campo	19
2.1.1. Localização	19
2.1.2. Clima	19
2.1.3. Solo.....	21
2.1.4. Delineamento experimental	21
2.1.5. Técnica cultural	22
2.1.6. Determinações e técnicas analíticas	22
2.2. Ensaio de germinação.....	23
<i>3. Resultados e discussão</i>	25
3.1. Ensaio de campo	25
3.1.1. Evolução do estado fenológico das plantas.....	25
3.1.2. Nitratos nos pecíolos e valores de clorofila SPAD	28
3.1.3. Produção de semente	30
3.2. Ensaios de germinação	32
<i>4. Conclusões</i>	38
<i>5. Referências Bibliográficas</i>	39

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Evolução da produção mundial de colza nos últimos 20 anos.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. Importância relativa (%) da colza em várias regiões do globo em 2007</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3. Produção total anual nos nove maiores produtores mundiais de colza em 2007</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4. Produtividade da colza em vários países do mundo no ano de 2007</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Valores médios da temperatura mínima e temperatura máxima da Estação Meteorológica de Bragança para o período 1951-1980.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6. Valores médios da precipitação da Estação Meteorológica de Bragança para o período 1951-1980.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7. Valores médios da temperatura máxima e temperatura mínima registados da Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolónia durante o ensaio de campo.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8. Valores médios da precipitação registados da Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolónia durante o ensaio de campo.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9. Evolução da fenologia da planta ao longo da estação de crescimento de acordo com a escala proposta por Mendham e Salisbury (1995), em função da soma de temperaturas calculada a partir de uma temperatura basal de 5°C.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar Lucia em função da profundidade de sementeira.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar Recital em função da profundidade de sementeira.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 12. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar Nelson em função da profundidade de sementeira.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar NK Ready em função da profundidade de sementeira.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR46W10 em função da profundidade de sementeira.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 15. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR46W14 em função da profundidade de sementeira.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 16. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR46W31 em função da profundidade de sementeira.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR45D01 em função da profundidade de sementeira.</i>	<i>35</i>

Índice de Quadros

<i>Quadro 1. Nitratos nos pecíolos em função da dose de azoto aplicado ($\text{g NO}_3 \text{ kg}^{-1} \text{MS}$)</i>	28
<i>Quadro 2. Intensidade da cor verde nas folhas determinada com o medidor SPAD-502 em 1 de Março de 2008, imediatamente antes da adubação de cobertura.</i>	29
<i>Quadro 3. Intensidade da cor verde nas folhas determinada com o medidor SPAD-502 em 1 de Abril de 2008, um mês após a adubação de cobertura.</i>	30
<i>Quadro 4. Produção de semente de quatro variedades de colza em função da dose de azoto aplicado</i>	31
<i>Quadro 5. Percentagem de emergência em função da profundidade de sementeira.....</i>	36
<i>Quadro 6. Número de dias até se atingirem 50% de emergências. Considera-se como data de emergência o dia em que se atingem 50% de plantas germinadas relativamente ao total de sementes utilizadas no ensaio.....</i>	37

Resumo

A colza está a ser introduzida em Portugal para produção de biocombustíveis e, atendendo ao facto de poder ser cultivada no período Outono/Inverno, poderá apresentar vantagens comparativas relativamente ao Girassol, cultivado em ciclo de Primavera/Verão, devido ao melhor aproveitamento dos recursos hídricos, que são o principal factor limitante ao seu cultivo em sequeiro. Apesar da importância desta cultura noutros países com condições ecológicas "semelhantes" às nossas, esta cultura só agora está a ser introduzida no país para fins comerciais. Contudo, as empresas de produção de biocombustíveis estão a difundir a cultura sobretudo no Sul do país, onde as áreas potenciais de cultivo são mais atractivas. Trás-os-Montes pode, assim, ficar excluído do circuito de produção desta espécie.

Com este trabalho pretende-se estudar a viabilidade desta cultura em Trás-os-Montes e divulgar adequadamente os resultados como forma de acelerar o seu cultivo também nesta região.

Neste trabalho reportam-se resultados de um ensaio com colza onde se incluíram quatro cultivares (Lucia, Recital, Nelson e NK Ready) e três esquemas de fertilização azotada (fundo+cobertura) diferentes ($0+50 \text{ kg N ha}^{-1}$; $25+75 \text{ kg N ha}^{-1}$; e $50+100 \text{ kg N ha}^{-1}$). Procedeu-se também, durante a estação de crescimento, à determinação da intensidade da cor verde das plantas através do medidor SPAD-502. Foi ainda testada a tolerância à profundidade de sementeira de mais quatro cultivares híbridas (PR46W10, PR46W14, PR46W31 e PR45D01) num ensaio de germinação em vasos.

O ensaio de campo decorreu em Bragança, na Quinta de Sta Apolónia, na estação de crescimento de 2007/08. A sementeira foi efectuada a 12 de Outubro. Durante a estação de crescimento foi monitorizado o estado nutritivo das plantas, registados os momentos chave da fenologia da planta e avaliada a produção de semente.

O teor de nitratos nos pecíolos e os valores de clorofila SPAD nos limbos (determinados com o aparelho portátil SPAD-502) variaram significativamente com a dose de azoto e também com as cultivares. Apesar de apresentarem diferenças morfológicas evidentes, não ocorreram diferenças significativas na produção de semente entre cultivares nem entre esquemas de fertilização azotada. A produção média ultrapassou os 3000 kg ha^{-1} de semente. Aparentemente podem ser obtidas produções elevadas com doses moderadas de azoto. A estação de crescimento caracterizou-se por

um período inicial (Outubro-Novembro) particularmente seco e um Inverno frio. Contudo, a cultura pareceu bem adaptada ao clima local, tendo atingido nas condições de ensaio produções médias que seria impensável obter com o girassol (a cultura oleaginosa que normalmente ocupa as áreas de sequeiro em Portugal juntamente com cereais de inverno). Os resultados confirmam todo o potencial da colza para ser incluída nas rotações de sequeiro, pelo menos do Norte do país.

Abstract

Oilseed rape is being introduced in Portugal for biofuels production. Considering that it can be grown during autumn/winter, this may have comparative advantages relatively to sunflower which is grown in the summer. A winter growing cycle allows for a better utilization of water resources, which are the main limiting factor for its cultivation in rainfed conditions. Despite the importance of this species in other countries with "similar" ecological conditions, oilseed rape is just only now being introduced in Portugal for commercial purposes. However, companies that produce biofuels are spreading the crop in the south, where the potential areas for cultivation are more attractive. Trás-os-Montes can, thus, be excluded from oilseed rape production.

This work aims to study the feasibility of this crop in Trás-os-Montes and adequately disclose the results as a way to speed up its cultivation in this region.

This work report the results of a field trial which included four oilseed rape cultivars (Lucia, Recital, Nelson and NK Ready) and three different rates of nitrogen fertilization (basal + topdressing) ($0 + 50 \text{ kg N ha}^{-1}$, $25 + 75 \text{ kg N ha}^{-1}$, and $50 + 100 \text{ kg N ha}^{-1}$). During the growing season the greenness of the leaves was determined by using a SPAD-502 chlorophyll meter. A germination trial was also carried out to test four different sowing depths which included also four new cultivars: PR46W10, PR46W14, PR46W31 and PR45D01.

The field experiment was carried out at Quinta de Sta Apolónia in Bragança in the growing season of 2007/08. The crop was sown on October 12. During the growing season the nutritional status of plants was monitored by measuring petiole nitrate concentration. The key steps of the phenological development were also recorded as well as the seed yield.

Petiole nitrate concentration and SPAD readings varied significantly with the nitrogen rate and cultivars. Despite the clear morphological differences, there were no significant differences in seed production neither among cultivars nor among nitrogen rates. The average production was over $3000 \text{ kg seed ha}^{-1}$ in all plots. It seems that high yields can be obtained with moderate nitrogen rates. The growing season was characterized by an initial period (October-November) particularly cold and dry. However, the crop was well adapted to local climate and reached yields that would be unthinkable to get with sunflower (the oilseed crop that normally occupies the rainfed

areas in Portugal in rotation with winter cereals). The results showed that oilseed rape has a great potential to be included in rainfed rotations, at least in the north of the country.

1. A cultura da colza

1.1. Aspectos botânicos

Dentro do género *Brassica* existem duas espécies que não desenvolvem raiz tuberosa e são habitualmente cultivadas como oleaginosas. *Brassica napus* L. var. *oleífera* Megtz, pertencente à família *Cruciferae*, terá resultado do cruzamento entre *Brassica oleracea*, à qual pertencem muitas variedades de couve, e *Brassica rapa*, espécie mais antiga que engloba também os nabos, couves chinesas e outras hortaliças orientais (Kimber e McGregor, 1995). *Brassica napus* L. é a colza de cultivo mais generalizada, incluindo Europa e Canadá. Dentro desta espécie são cultivadas variedades de Inverno e de Primavera. São também cultivadas como oleaginosas cultivares da espécie *Brassica rapa* L., sobretudo nas regiões Oeste do Canadá. É uma espécie particularmente tolerante ao frio, atingindo taxas de crescimento elevadas sob baixas temperaturas. Aproximadamente 50 % das variedades de colza cultivadas na parte Oeste do Canadá são da espécie *B. rapa*, onde se incluem variedades de semente castanha e as variedades de semente amarela, estas com maior teor em óleo e proteína e menor conteúdo em taninos (Kimber e McGregor, 1995).

As plantas apresentam sistema radicular aprumado, típico das dicotiledóneas. Os caules podem atingir 1,4 a 1,8 m de altura. A ramificação depende de aspectos genéticos, da densidade de sementeira e das condições ambientais de desenvolvimento das plantas. A tonalidade verde das plantas varia em função das cultivares, desde tons verde-azulados, verde-escuro e verde-arroxeados (Baier *et al.*, 1988). As flores são hermafroditas, de coloração amarela, com quatro pétalas e quatro sépalas, dispendo-se em cachos simples na extremidade do caule principal e em cada uma das ramificações. A auto-fecundação predomina numa dada população, podendo a fecundação cruzada, anemófila e entemófila, atingir 30% das flores. O período de floração prolonga-se normalmente por mais de três semanas (Lourenço e Palma, 2006). Os frutos são silíquas, que tendem a ser deiscentes, e possuem normalmente 14 a 15 sementes de calibre muito reduzido, geralmente com diâmetro inferior a 2 mm e peso menor do que 6 mg (Lourenço e Palma, 2006).

1.2. Ciclo cultural

As fases de desenvolvimento da cultura são, de acordo com Lourenço e Palma (2006), as seguintes:

Sementeira/emergência – Este período pode ter a duração de 10 a 20 dias e decorre nos meses de Outubro e Novembro;

Emergência/roseta – Considera-se o curto período da fase cotiledonar, desde a emergência até ao aparecimento da primeira folha verdadeira, e decorre entre Outubro e Novembro;

Roseta/início do crescimento do caule – Começa com o desenvolvimento da primeira folha verdadeira e termina com o aparecimento do primeiro entrenó. Durante este período (Outubro a finais de Janeiro) formam-se seis ou mais folhas verdadeiras e verifica-se um grande desenvolvimento do sistema radicular;

Início do crescimento do caule/início da floração – Vai desde o surgimento do primeiro entrenó visível até à abertura da primeira flor. Esta fase começa 3 a 4 meses após a sementeira;

Início da floração/fim da floração – Esta fase pode observar-se 15 a 20 dias após o início do desenvolvimento do caule e processa-se escalonadamente de baixo para cima, podendo durar 30 a 40 dias. Como as plantas são de crescimento indeterminado, a fase de floração e o desenvolvimento das silíquas ocorre em simultâneo. O período de floração tende a ser mais longo nas variedades mais precoces, por ocorrer sob temperaturas mais baixas;

Fim da floração/maturação – Corresponde às fases finais de enchimento do grão e à maturação fisiológica das sementes. Este período ocorre desde o fim de Abril ao início de Junho.

De acordo com Lourenço e Palma (2006) em Portugal deverão ser cultivadas variedades de Primavera, pelo menos a Sul. A duração do ciclo entre a sementeira e a maturação com variedades de Primavera no Alentejo será da ordem dos 190 a 214 dias dependendo das variedades. As variedades de Inverno comportam-se como muito tardias e portanto têm menor possibilidade de escapar à carência hídrica na Primavera, pois a fase de floração ocorre mais tarde.

1.3. Importância e distribuição mundial da colza

A figura 1 mostra a evolução da produção mundial de colza nos últimos 20 anos. Verifica-se que a produção tem aumentado de forma consistente. Nas duas últimas décadas a produção mundial passou de 20 milhões de toneladas para valores próximos dos 50 milhões, o que representa um acréscimo médio aproximado de 1,5 milhões de toneladas por ano. A melhoria das qualidades alimentares do óleo de colza e dos bagaços, com redução do ácido erúico e do teor de glucosinolatos estão na base do acréscimo da importância desta cultura à escala global. Por outro lado, a política energética dos países desenvolvidas e a importância desta espécie na produção de biodiesel fazem antever a manutenção da tendência de crescimento para os próximos anos.

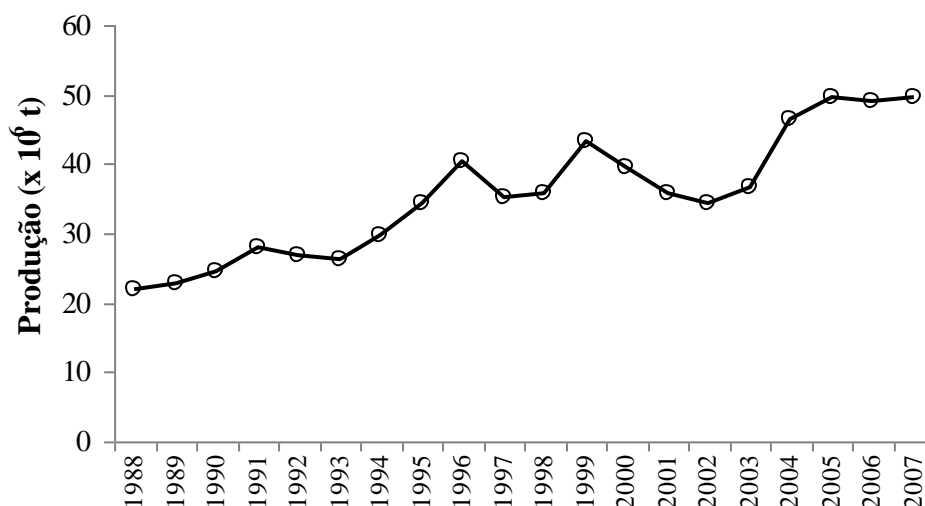


Figura 1. Evolução da produção mundial de colza nos últimos 20 anos (www.fao.org).

A colza é uma importante planta oleaginosa cultivada em todo o mundo, com destaque para União Europeia, Canadá, Estados Unidos da América, Austrália, China e Índia. A figura 2 destaca a importância do bloco europeu, América do Norte e Ásia na produção actual de colza.

Na figura 3 são apresentados os países maiores produtores de colza em 2007. A China liderou o *ranking* com uma produção próxima de 12 milhões de toneladas, seguida de Canadá e Índia. A Alemanha é o maior produtor europeu, seguida de França e Ucrânia. A Austrália, na Oceânia, é também um produtor importante.

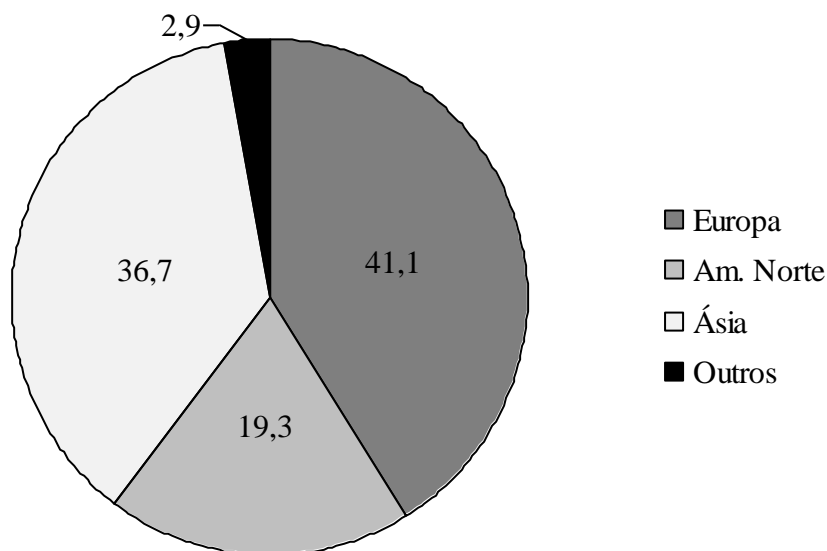


Figura 2. Importância relativa (%) da colza em várias regiões do globo em 2007 (www.fao.org).

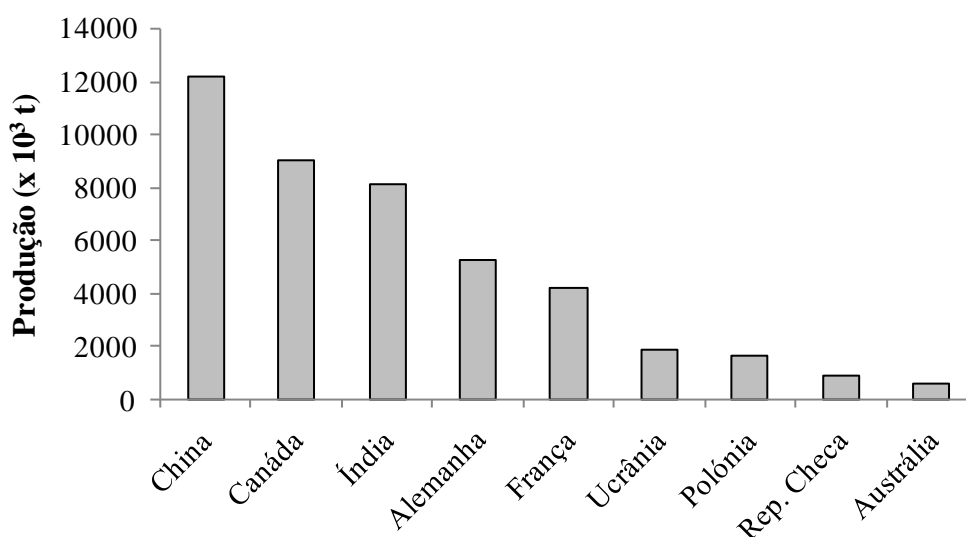


Figura 3. Produção total anual nos nove maiores produtores mundiais de colza em 2007 (www.fao.org).

A produtividade da colza é muito variável em função da localização geográfica em que é cultivada. Na figura 4 foi incluída a produtividade média de alguns países onde se encontram excelentes condições ecológicas para o seu cultivo, dos grandes produtores mundiais de colza e ainda dos países mais próximos de Portugal, Espanha e Marrocos concretamente. Os dados são referentes ao ano agrícola de 2007. No Centro/Norte da Europa, em países como Alemanha, Bélgica e Dinamarca a produtividade média aproximou-se de 3500 kg/ha. Nos grandes produtores mundiais

como China, Índia e Canadá a produtividade situou-se próxima de 1500 kg/ha. Em Espanha, a habitual referência para Portugal, por se suporem condições ecológicas de cultivo comparáveis, a produção média ronda os 1500 kg/ha. A Sul, em Marrocos, a produtividade da colza encontrou-se próxima de 1000 kg de semente por hectare.

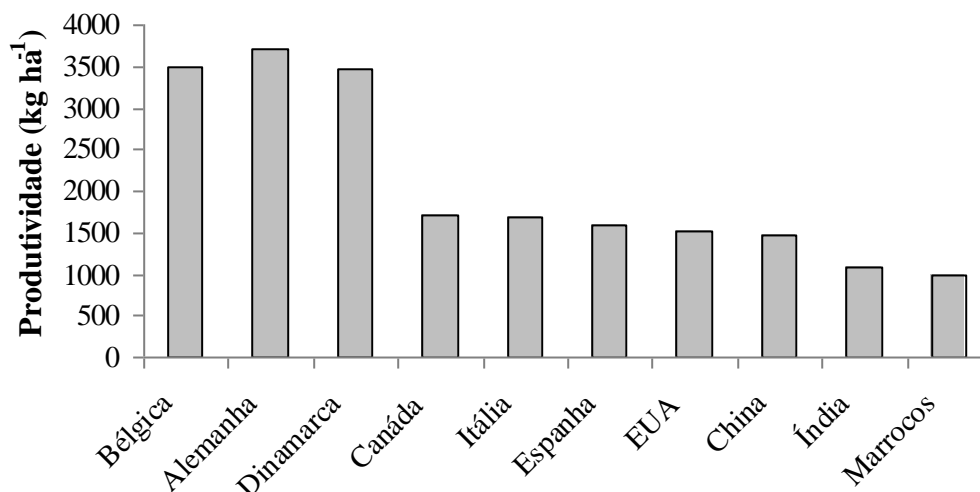


Figura 4. Produtividade da colza em vários países do mundo no ano de 2007 (www.fao.org).

1.4. Adaptação agro-ecológica da colza

A colza é uma espécie de clima temperado, cultivada em latitudes acima de 30°. Nestas regiões o clima caracteriza-se pela ocorrência de baixas temperaturas no Inverno e elevada luminosidade no Verão, com grande variação anual da temperatura e do fotoperíodo (Baier *et al.*, 1988).

A temperatura do solo condiciona a germinação das sementes. Para que a emergência ocorra em condições satisfatórias, a temperatura do solo deve ser superior a 6 °C. Para temperaturas superiores a 10-12 °C a emergência é rápida, podendo ocorrer ao fim de 6 a 10 dias. Na fase cotiledonar a colza é sensível ao frio, não suportando temperaturas inferiores a 2 a 3 °C negativos. Na fase de roseta, desde o aparecimento da primeira folha verdadeira até ao início do alongamento do caule, suporta temperaturas negativas da ordem dos -8 °C nas variedades de Primavera e dos -15 °C nas variedades de Inverno. Na floração a cultura adapta-se à ocorrência de geadas tardias devido a apresentar floração escalonada. Na floração, temperaturas elevadas podem provocar abortamento floral. A viabilidade do pólen é favorecida para temperaturas na ordem dos

10 a 25 °C (Lourenço e Palma, 2006). Temperaturas elevadas, associadas a baixa disponibilidade de água no solo, nas fases de floração e formação do grão originam um fim de ciclo muito rápido com penalização na produção final. A seca é um dos maiores factores ambientais que limitam o crescimento e a produtividade das culturas (Norouzi *et al.*, 2008).

As brisas suaves são favoráveis, pois parte da polinização cruzada pode ser considerada anemófila. Por outro lado, a colza é sensível à acama fisiológica. Ventos fortes podem contribuir para acentuar o fenómeno. Uma planta acamada restringe a entrada de luz, reduzindo a fotossíntese, e origina um ambiente mais húmido no interior da canópia, propiciando o desenvolvimento de doenças criptogâmicas. A colheita fica também dificultada numa seara acamada (Lourenço e Palma, 2006).

Os solos não são normalmente um factor limitante ao cultivo da colza. É uma espécie tolerante à salinidade (até 8 a 12 dSm⁻¹). A gama de pH adequada ao cultivo da colza pode variar de solos ácidos (pH 5,5) a solos alcalinos (pH 8). Note-se, contudo, que o efeito benéfico dos solos em clima mediterrânico se deve sobretudo à sua capacidade de armazenamento de água (Lourenço e Palma, 2006).

Segundo Norouzi *et al.* (2008), as necessidades em água aumentam com a idade da planta, atingindo valores máximos próximo da floração. Ao longo do processo de maturação das sementes as necessidades de água vão progressivamente diminuindo. É importante que o solo tenha humidade adequada na época de sementeira, para se obter uma emergência rápida e homogénea.

O reduzido tamanho da semente e a sua elevada necessidade em água na fase de embebição exigem solos com teor de humidade adequado no momento da sementeira. Assim, passada a fase de emergência, a floração é o período mais crítico em que a falta de água mais poderá afectar negativamente o desenvolvimento da cultura e a produção de grão (Norouzi *et al.*, 2008).

1.5. Técnica cultural

Não há muita diferença entre os cereais de Inverno e esta cultura no que respeita à técnica cultural. No entanto, a operação da sementeira é muito mais delicada devido

ao menor calibre da semente não podendo, por isso, ser utilizado um qualquer semeador de cereais.

1.5.1. Preparação do terreno

O número de operações necessárias para a preparação do terreno dependerá do tipo de solo, do grau de infestação, da quantidade de resíduos deixados pela cultura anterior e do estado de humidade do mesmo. Devido ao pequeno tamanho da semente deve fazer-se uma boa preparação do solo, criando bastante terra fina, o que facilitará o contacto das partículas de solo com a semente favorecendo a transferência de humidade necessária a uma germinação uniforme. Contudo, os objectivos referidos devem ser conseguidos com o menor número possível de passagens de alfaias para reduzir custos. Uma escarificação e uma gradagem deverão ser suficientes para deixar a camada superficial pronta para receber as sementes. Segundo Lourenço e Palma (2006) a sementeira directa poderá também ser considerada, mas neste caso, a percentagem de sucesso na emergência será menor. Poderá haver necessidade de se ajustar a quantidade de semente a utilizar na unidade de área.

1.5.2. Sementeira

A data de sementeira é um factor primordial, deverá efectuar-se em Outubro, para que as plantas rapidamente façam uma cobertura completa na entrelinha garantindo a utilização mais eficiente da energia solar, melhor controlo de infestantes e da erosão. O atraso na data de sementeira tem como consequência uma diminuição significativa na produção de grão particularmente nas variedades de ciclo mais longo (Anon., 1995).

Na sementeira poderá utilizar-se um semeador de linhas que permita ser regulado para distribuir sementes de reduzido calibre ou um semeador de sementeira directa. Deve-se, no entanto, ter cuidado com a profundidade de sementeira, que deverá ser no máximo de 1cm (Guerrero, 1992). A distância entre linhas poderá ser idêntica à dos cereais (18-25 cm). A densidade de sementeira é difícil de regular, devido à dimensão da semente e paralelamente ao reduzido peso de semente a aplicar por hectare. O povoamento a atingir em sequeiro poderá variar de 80 a 100 plantas/m². Para o garantir, recomenda-se o uso de 200 sementes viáveis por m². Se houver possibilidades de regar, esse valor poderá ser inferior. Dependendo do calibre da

semente (que pode variar entre 2,5 a 7,6 g por 1000 sementes), do seu valor cultural e das condições em que a sementeira é efectuada deverão ser usados 5 a 6 kg de semente por hectare.

1.5.3. Fertilização

Sendo a colza uma planta da família das crucíferas, apresenta elevadas exigências em enxofre (Tamas *et al.*, 2009). As extracções deste nutriente, segundo Guerrero (1992), podem variar de 20 a 30 kg/ha. Têm também sido registadas interacções significativas entre aplicações de enxofre e azoto, pelo que serão de preferir os adubos que também veiculem este nutriente. A aplicação de azoto em cobertura deverá fazer-se utilizando um adubo que também forneça enxofre, por exemplo, o sulfato de amónio (20,5% de N na forma amoniacal e 60% de enxofre) ou o sulfonitrato de amónio (26% de N, $\frac{3}{4}$ na forma amoniacal e $\frac{1}{4}$ na forma nítrica, e 37,5% de enxofre). A carência de enxofre produz uma floração deficiente com uma redução importante do rendimento (Fismes *et al.*, 2000).

A colza, e as brássicas em geral, são plantas sensíveis à falta de boro. Atendendo a que a falta de boro no solo ocorre em vastas regiões do globo, é de esperar que este possa também ser um importante factor limitante à cultura. Yang *et al.* (2009) estudaram a aplicação de boro na cultura da colza, tendo registado influência significativa da aplicação de boro na produtividade e na qualidade do óleo.

A colza é uma planta considerada exigente em nutrientes, e de maneira geral requer mais azoto que a maioria das culturas. Deficiência em azoto reduz a produtividade da cultura, enquanto doses excessivas alongam a fase vegetativa, podendo aumentar a susceptibilidade a doenças e pragas e diminuir o teor de óleo das sementes. A resposta ao azoto está relacionada directamente com a disponibilidade de água no solo, ou seja com a precipitação durante o ciclo vegetativo. Lourenço e Palma (2006) referem que o aumento da adubação azotada até determinados limites, estimula o crescimento, a produção do grão e aumenta o teor em proteína do grão. As aplicações de azoto podem retardar a floração, favorecer as ramificações e o número de síliquas. As adubações de cobertura deverão aplicar-se até ao final da fase de roseta (Janeiro/Fevereiro). À sementeira deverão aplicar-se 20 a 30 kg/ha de azoto e em cobertura cerca de 50 kg/ha por aplicação. Aplicações de azoto superiores a 150 kg/ha

deverão ser fraccionadas para evitar a redução do teor em óleo das sementes (Guerrero, 1992). Aplicações tardias têm menor influência na produção e reduzem a eficiência de uso do nutriente.

A cultura da colza é considerada de elevada exigência em azoto, mas é também caracterizada por baixa eficiência de uso do nutriente, definida como o peso de sementes produzidas por unidade de N exportado. Consequentemente, há uma elevada necessidade de gerir a fertilização azotada de forma a melhorar a eficiência de uso do nutriente e reduzir o impacto ambiental associado à perda de azoto (Rathke *et al.*, 2005).

A resposta à fertilização fosfatada é influenciada pelo desenvolvimento radicular da planta, método de aplicação, disponibilidade natural de fósforo no solo, disponibilidade de água e temperatura. Em relação ao potássio, a cultura extrai quantidades elevadas mas apenas uma reduzida fracção é translocado para as sementes. Na colza normalmente aplica-se menos potássio que na maioria das outras culturas. O rendimento da colza também é influenciado pela disponibilidade de micronutrientes (Lourenço e Palma, 2006). Aumentos de produção podem ocorrer pela aplicação de boro (como já se referiu), zinco e/ou cobre. O boro é particularmente importante devido ao seu papel na formação das sementes.

1.5.4. Protecção fitossanitária

A lista de problemas sanitários referenciados para a cultura da colza é extensa, em particular no que concerne a doenças. Contudo, como em Portugal não se tem cultivado colza a nível comercial não sabemos quais poderão ser as mais determinantes. Segundo Lourenço e Palma (2006), *Phoma lingam* pode ser a doença mais importante, à semelhança do que acontece em outros países. Os sintomas do fungo surgem como necroses nas folhas verdadeiras e caules. Outros fungos como *Sclerotinia sclerotiorum* (podridão branca), *Albugo candida* (ferrugem branca), *Alternaria brassicae* (alternariose), *Erysiphe polygoni* (oídio) podem também assumir importância no futuro, se a cultura vier a ganhar expressão. Um período de recorrência de quatro anos, correspondente a uma rotação quadrianual sem culturas susceptíveis às mesmas doenças, deverá ser respeitado para minimizar a incidência de doenças.

Como pragas, Lourenço *et al.* (2000) registaram como importantes os ataques de pássaros e a presença de casos pontuais de afídios. Pelo facto da maturação das

sementes ocorrer relativamente cedo no fim de Primavera não é expectável que os afídios venham a ser um problema de difícil solução, já que os ataques mais decisivos desta praga tendem a ocorrer mais tarde no Verão. Já os pássaros poderão ser um problema real, dada a sua apetência por estas sementes, sobretudo enquanto em Portugal não forem cultivadas áreas que diluam o seu efeito. Pelo facto desta cultura não ser cultivada em Portugal faz-se com que não se encontrem fungicidas e insecticidas homologados. Contudo, está homologado óleo de peixe sulfonado para coelhos, lebres, veados, etc.

A sementeira de Outono faz prever um controlo de infestantes difícil, apesar da sementeira em compassos apertados. Desde a sementeira até se atingir a cobertura do solo há uma elevada oportunidade para o surgimento de espécies infestantes. Dado o ciclo cultural da colza é de esperar que surjam espécies anuais de Inverno dos géneros *Lolium*, *Poa*, *Phalaris*, *Anthemis*, *Capsela*, *Lamium*, *Sinapis*, *Raphanus*, etc. Apesar da cultura não ser ainda cultivada em Portugal para fins comerciais estão já homologadas duas substâncias herbicidas: trifluralina, que é um herbicida de acção residual que pode ser aplicado durante a preparação do solo e que controla as gramíneas anuais e algumas dicotiledóneas; e cicloxidime, herbicida pós-emergência que normalmente só controla gramíneas (Anon., 2008).

1.5.5. Material vegetal

As variedades de colza diferenciam-se em função da duração do ciclo e das horas de frio necessárias à floração. Podem agrupar-se em variedades de Inverno e variedades de Primavera. As variedades de Inverno requerem bastante frio durante o período vegetativo para assegurar uma boa floração. Recomenda-se que a sementeira se realize cedo no Outono, sobretudo na região Norte acima de Coimbra. Nesta situação a colheita deverá ocorrer entre finais de Junho e princípios de Julho (Anon., 2006). As variedades de Primavera apresentam ciclo mais curto e necessitam menos de frio para a indução da floração. Nas latitudes mais altas da Europa e do Canadá são semeadas na Primavera. Em Portugal, sobretudo no Sul, deverão ser semeadas no Outono. A Sul a colheita poderá ser feita mais cedo, entre meados de Maio a início de Junho (Anon., 2006). A Norte a sementeira deverá ser realizada até 15 de Outubro, para cultivares de

ciclo médio a longo (variedades de Inverno) e até fim de Novembro (no Sul) variedades de Primavera de ciclo médio a curto (Anon., 2006).

1.5.6. Colheita

A colheita é considerada a etapa mais crítica da cultura da colza, devido à maturação escalonada das sementes. A maturação ocorre de baixo para cima na haste principal, seguindo-se da mesma forma nos ramos secundários. Adicionalmente as silíquas são deiscentes, abrindo à medida que vão ficando maduras, o que origina perdas pela queda das sementes que podem ser significativas. A colheita deve ser feita logo que a cor do grão muda de um tom avermelhado para escuro ou enegrecido nas silíquas do terço médio do caule (Lourenço e Palma, 2006). É aconselhável que a colheita se realize até às onze horas da manhã, uma vez que as silíquas se apresentam menos desidratadas até essa hora, reduzindo-se a perda de grão. Na colheita utiliza-se uma ceifeira debulhadora que deve ser ajustada ao tipo de palha e ao tamanho da semente. Na prática seguem-se as recomendações do manual do utilizador da marca. A colza deve ser seguida de um cereal de inverno na rotação. Devido à perda de semente é de esperar infestação com colza no ano seguinte. Por ser uma espécie de folha larga, torna-se mais fácil o seu controlo enquanto infestante numa seara de gramíneas (Lourenço e Palma, 2006).

Devido à deiscência a colheita tem de ser efectuada quando as sementes ainda apresentam teores de humidade que não permitem a conservação. A secagem é obrigatória. A secagem pode ser feita ao ar livre, sobre lonas, quando as áreas semeadas são pequenas, ou em secadores industriais quando aumentam as áreas semeadas (Lourenço e Palma, 2006).

1.6. Custos da cultura da colza

Os custos associados ao cultivo da colza são variáveis em função da técnica cultural, designadamente se se efectua em sequeiro ou em regadio, e a aspectos particulares de cada exploração. Lourenço e Palma (2006) estimam que os custos se situam em 300 €/ha em condições de sequeiro, sendo que o contributo da fertilização representa menos de um terço. Quando a colza for cultivada em regadio não haverá

necessidade de aplicar mais de 1000 m³ de água por ha. Os encargos relativos à rega serão variáveis dependendo do custo da água, podendo atingir cerca de 50 €/ha, incluindo o preço da energia.

1.7. Biodiesel

A substituição dos derivados do petróleo, pelo menos parcialmente, por biocombustíveis líquidos (biodiesel no gasóleo e bioetanol na gasolina) parece ser uma opção inadiável: primeiro porque o preço do crude não cessa de aumentar no mercado internacional, e segundo, porque cada vez mais se valoriza socialmente a redução das emissões de dióxido de carbono (Rathke e Diepenbrock, 2004).

Segundo Mansinho e Fontes (s.d) a satisfação da procura futura de biocombustíveis líquidos em Portugal poderá ser obtida com base em três cenários alternativos: importação directa de biocombustíveis, importação da matéria-prima para uma produção nacional de bioetanol e biodiesel, e produção de biodiesel e bioetanol a partir de matéria-prima nacional.

No entanto nenhuma destas soluções é viável a não ser que a taxa de imposto dos produtos petrolíferos, que actualmente tem uma incidência de 100%, seja reduzida na proporção da incorporação dos biocombustíveis. A quebra da receita fiscal será, assim, um custo, ao qual se contrapõe o benefício que corresponde ao impacto ambiental positivo associado à redução das emissões de dióxido de carbono (Mansinho e Fontes, s.d).

Nos dias actuais a procura por combustíveis renováveis tem aumentado muito, desta forma o biodiesel surge como alternativa em relação ao petróleo e seus derivados, já que a sua produção é mais barata e a emissão de poluentes diminui muito (Conceição *et al.*, 2005).

Segundo Marijn *et al.* (2009), a energia produzida a partir do investimento em biocombustível necessita também ter em conta os impactos ambientais sobre o solo, água, as alterações climáticas e os serviços ecossistémicos. A abordagem regionalizada é necessária para avaliar a custos ambientais da produção de biocombustíveis em larga escala.

Dentro das fontes renováveis de energia proveniente de culturas agrícolas, a colza é dominante na Alemanha. A utilização eficaz de energia na agricultura é importante para a produção sustentável, para otimizar a rentabilidade económica, para a preservação das reservas dos combustíveis fósseis e para a redução da poluição atmosférica (Rathke e Diepenbrock, 2004).

O Decreto-Lei n.º 66/2006 de 22 de Março, dá conta da “Estratégia da União Europeia de, até ao ano 2020, substituir 20% dos combustíveis derivados do petróleo usados no transporte rodoviário por biocombustíveis ou combustíveis alternativos”. Espera-se por isso um crescimento exponencial das culturas bioenergéticas que, no caso português, serão ao nível da colza.

O cultivo da colza, com o objectivo de produzir biodiesel e farinhas para alimentação animal será uma alternativa viável às culturas de sequeiro feitas em muitas zonas do país, pelo que as explorações agrícolas poderão ganhar um novo alento, enquanto os produtores obterão rendimentos sustentados e com garantias de futuro (Lourenço e Palma, 2006).

O aumento das necessidades de biodiesel pode vir a superar as previsões uma vez que o crescente aumento do petróleo leva a que o preço de produção de óleo de bioenergéticas seja um negócio lucrativo, com preços concorrenciais; é necessário ter em conta as reservas energéticas, que no caso do petróleo rondam os 45 anos, pelo que urge encontrar alternativas; o aumento do consumo de energia será exponencial nas próximas décadas; a União Europeia importa respectivamente 89 e 81% do petróleo e gás que consome; e é urgente encontrar soluções para evitar o aquecimento global, cujo motivo principal reside no uso de combustíveis fósseis (Conceição *et al.*, 2005).

O biodiesel para além de permitir dinamizar o espaço rural e gerar emprego no sector agrícola, contribui para a redução do efeito de estufa, uma vez que os combustíveis são isentos de enxofre e biodegradáveis.

Em Portugal, a procura pelos combustíveis líquidos deverá aumentar, pois na União Europeia, passou a ser obrigatória a sua utilização, em mistura com os combustíveis fósseis, visando alcançar maior independência relativamente a estes e dar cumprimento aos acordos do protocolo de Quioto (Lourenço e Palma, 2006).

O girassol é a oleaginosa tradicional, mas sendo Portugal um país deficitário em produtos alimentares, há grande procura do seu grão para essa finalidade, tornando-se

importante encontrar culturas alternativas que produzam matéria-prima a baixo custos e que possam ser cultivadas em terrenos marginais. Enquanto estas não surgem, a cultura da colza, não tradicional em Portugal, e com menos procura para fins alimentares do que o girassol pode, ser uma alternativa interessante para a produção de biodiesel pois o seu óleo é dos melhores para esta finalidade (índice de iodo <120) (Lourenço e Palma, 2006).

Assim, pode aumentar substancialmente a procura desta matéria-prima já que também, por outro lado, em termos de rendimento energético, por tonelada de biodiesel produzido, o balanço parece não ser negativo. Bellido (2003) refere o valor de 2,75. Relativamente à energia necessária para produzir uma tonelada de biodiesel, 52% foram atribuídos à cultura, 44% à indústria de transformação e 4% ao transporte. Segundo Michelena (2002) o rendimento industrial que se pode obter na semente é 39% de óleo, 55% de bagaço e 2% de resíduos.

2. Material e métodos

2.1. Ensaio de campo

2.1.1. Localização

O ensaio de campo localizou-se na Quinta de Sta Apolónia em Bragança (41° 48' N; 6° 44' W), numa folha sujeita a uma rotação octoanual de regadio do tipo C/I₄-P₄, em que C representa um cereal de verão, o milho, cultivado para silagem, I representa uma cultura intercalar de Inverno, habitualmente um ferrejo de gramíneas, também para silagem e P representa uma pastagem semeada de 4 anos. A colza foi semeada no Outono sobre o restolho de milho, interrompendo a rotação após o terceiro ano de cultivo de milho.

2.1.2. Clima

O clima da região é do tipo Mediterrânico, com alguma influência do regime atlântico. A estação quente é curta, estendendo-se o período frio ao Inverno e grande parte do Outono e Primavera. Os registos da temperatura do ar e da precipitação correspondentes à normal climatológica de 1951-1980 são apresentados nas figuras 5 e 6. A precipitação concentra-se no Outono e Inverno, período em que as temperaturas médias mensais são bastante baixas. No Verão regista-se aumento significativo de temperatura mas reduz-se drasticamente a precipitação.

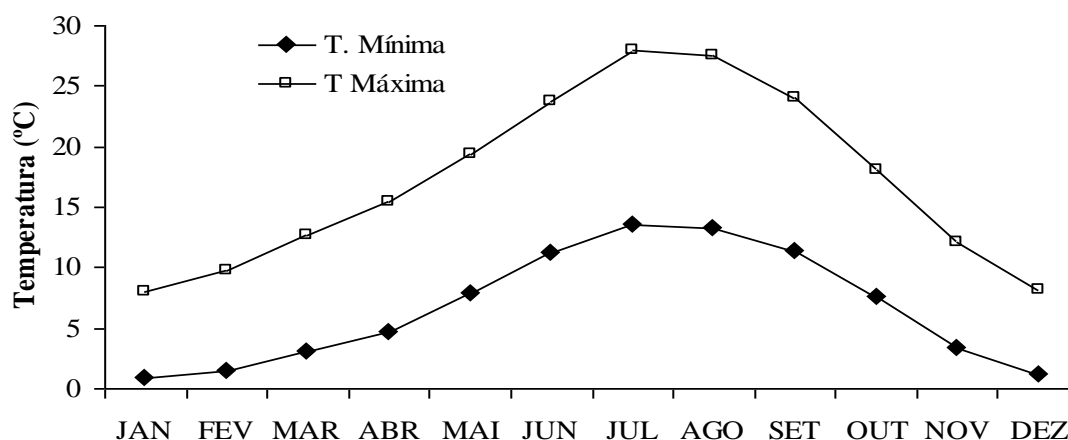


Figura 5. Valores médios da temperatura mínima e temperatura máxima da Estação Meteorológica de Bragança para o período 1951-1980.

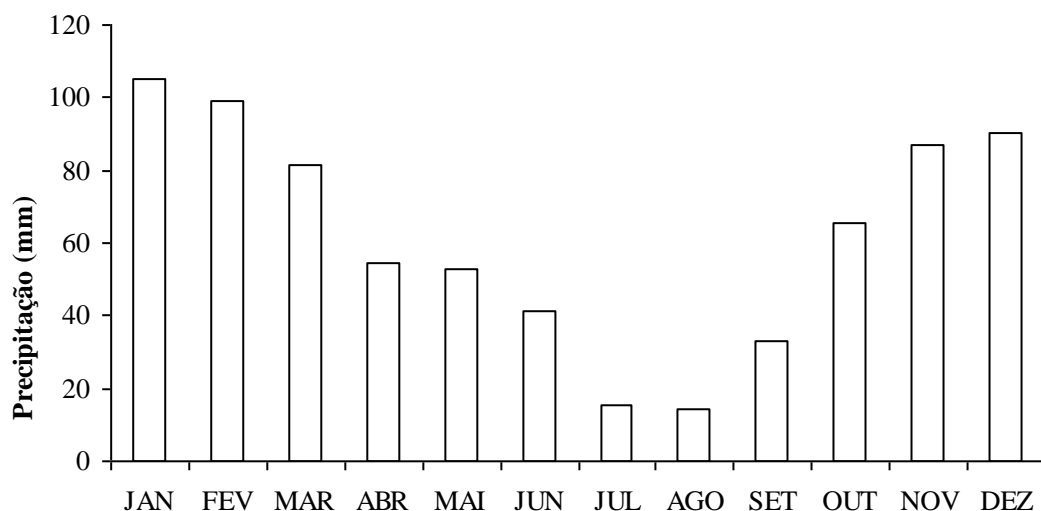


Figura 6. Valores médios da precipitação da Estação Meteorológica de Bragança para o período 1951-1980.

Os valores da temperatura do ar e da precipitação registados durante o período correspondente ao ensaio de campo são apresentados na figura 7 e 8. As figuras mostram que a estação de crescimento se caracterizou por um inverno seco e muito frio (foram atingidas temperaturas negativas de $-9,8^{\circ}\text{C}$ e $-9,2^{\circ}\text{C}$ nos meses de Novembro e Dezembro respectivamente). Verifica-se também que Abril foi o mês em que a precipitação foi mais elevada, 136,2 mm. Junho foi o mês com temperatura máxima superior ($30,8^{\circ}\text{C}$), de entre os meses em que a cultura esteve em campo.

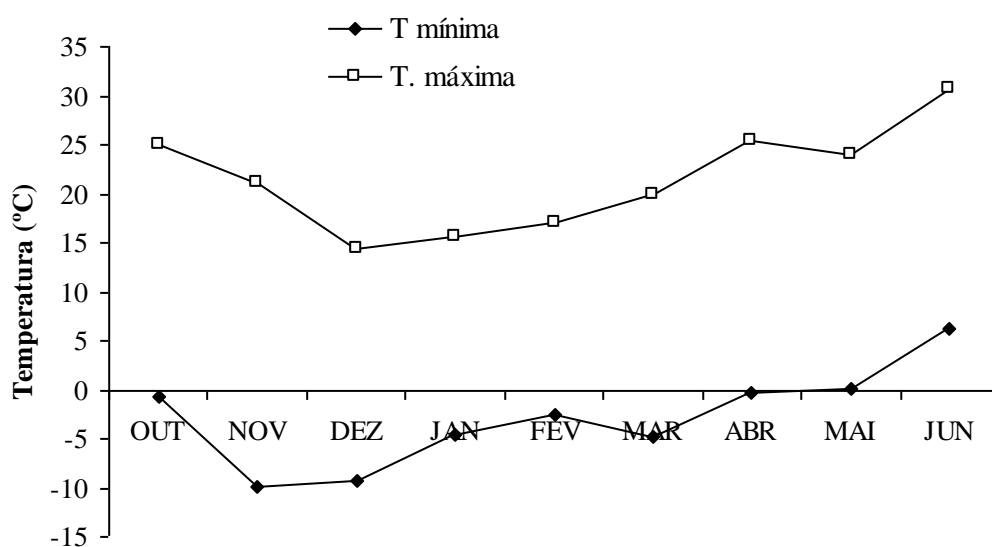


Figura 7. Valores médios da temperatura máxima e temperatura mínima registados da Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolónia durante o ensaio de campo.

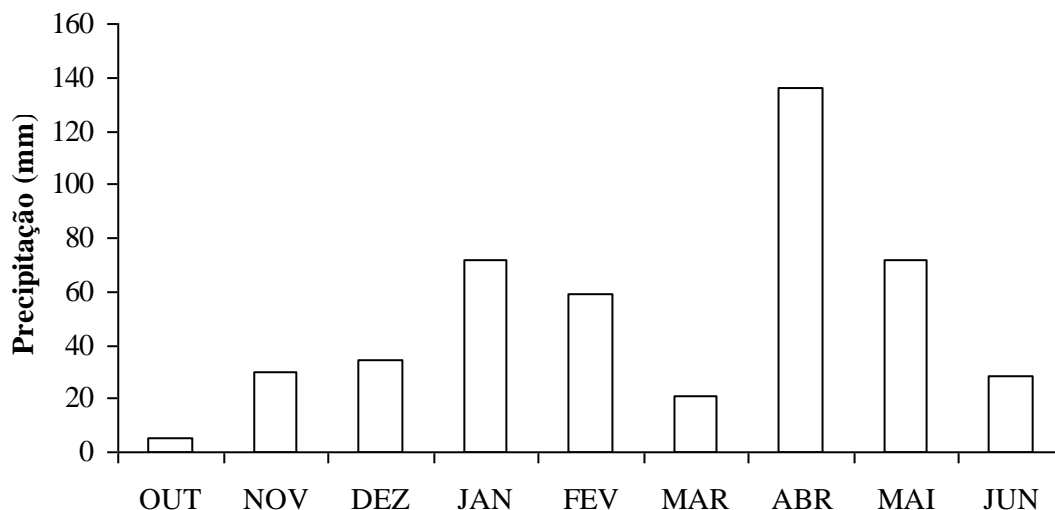


Figura 8. Valores médios da precipitação registados da Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolónia durante o ensaio de campo.

2.1.3. Solo

O solo da folha onde decorreu o ensaio está classificado como Cambissolo êutrico (Rodrigues, 2005). Apresenta textura franca; os teores de areia, limo e argila são 66%, 18% e 16%, respectivamente. Apresenta-se côncavo, com ligeira depressão central e declives nas laterais inferiores a 1%. A drenagem interna é lenta. A análise de terra efectuada antes da instalação da cultura revelou um solo com: 1,6 % de matéria orgânica; pH (H₂O) de 6,8; fósforo em P₂O₅ (Egner-Rhiem) de 13 mg kg⁻¹; potássio em K₂O (Egner-Rhiem) de 196 mg kg⁻¹; azoto Kjeldahl de 1,6 g kg⁻¹; e boro extraível (Azometina-H) de 1,4 mg kg⁻¹.

2.1.4. Delineamento experimental

O ensaio de campo foi organizado num delineamento experimental em *split-plot*. Constituíram-se 3 blocos, de acordo com o declive do terreno. Com o *main-plot* incluíram-se as cultivares, quatro no total (Lucia, Recital, Nelson, NR Ready). As diferentes doses de azoto foram incluídas no delineamento como *sub-plots*. Foram usadas as modalidades de fertilização azotada de: 0 + 50 kg N ha⁻¹ (fundo + cobertura); 25 + 75 kg N ha⁻¹; e 50 + 100 kg N ha⁻¹. No total constituíram-se 36 unidades experimentais resultantes de três blocos (repetições), quatro cultivares e três doses de azoto.

2.1.5. Técnica cultural

A preparação do solo iniciou-se com uma escarificação, efectuada sobre o restolho do milho. Seguiu-se uma mobilização com charrua de aivecas. A preparação da cama para a semente concluiu-se com outra escarificação.

A delimitação dos talões experimentais foi feita após a preparação do solo. Foi aplicado fósforo à razão de 60 kg ha⁻¹ (P₂O₅), de acordo com a recomendação de fertilização. Foi também distribuído nesta fase o adubo azotado previsto no delineamento experimental para aplicação em fundo. Foi feita uma distribuição manual a lanço nos talhões correspondentes. Os fertilizantes aplicados em fundo foram incorporados com uma escarificação. A fertilização de cobertura prevista no delineamento experimental foi aplicada nos talhões correspondentes de forma manual, a 1 de Março de 2008.

A sementeira foi feita manualmente, no dia 12 de Outubro de 2007. A escarificação que permitiu a incorporação dos fertilizantes de fundo deixou pequenos sulcos abertos que foram utilizados para colocar a semente. A semente de cada cultivar foi colocada nos talhões respectivos de forma manual, simulando uma sementeira em linhas. Foi utilizada uma densidade de sementeira de 10 kg ha⁻¹. Após a distribuição da semente fez-se a incorporação por processo manual utilizando uma enxada.

Na data de 6 de Março de 2008 fez-se o controle de infestantes com sacha.

A 13 de Março e a 2 de Abril de 2008 efectuou-se um tratamento sanitário com um fungicida à base de ditiocarbamato, após ter sido detectada a presença de *Sleroctinia* ssp.

Durante a instalação do ensaio fez-se um acompanhamento da evolução fenológica da cultura através de registos periódicos usando a escala de Mendham e Salisbury (1995) e apoiada em fotografia digital.

2.1.6. Determinações e técnicas analíticas

Durante a estação de crescimento procedeu-se à determinação da intensidade da cor verde das plantas através do medidor SPAD-502. Nesta experiência a intensidade da cor verde pode dever-se a aspectos genéticos (cultivares) e às diferentes doses de azoto, revelando-se como um indicador do estado nutritivo azotado. As medições SPAD foram

efectuadas a 1 de Março e a 1 de Abril de 2008, isto é imediatamente antes e um mês após a aplicação da fertilização de cobertura.

Na data de 1 Março de 2008 procedeu-se à colheita de folhas para determinação do teor de nitratos nos pecíolos. Tal como a intensidade da cor verde das folhas também o teor de nitratos pode ser devido a aspectos genéticos (cultivares com maior ou menor propensão para acumular nitratos nos pecíolos), mas será sobretudo devido aos diferentes níveis de adubação azotada, constituindo-se o teor de nitratos nos pecíolos como um indicador do estado nutritivo azotado. As folhas foram colhidas pela base com um *x-ato*, tendo sido separados limbos de pecíolos.

Os pecíolos foram colocados a secar em estufa regulada a 65 °C. Posteriormente procedeu-se à moenda num moinho Cyclotec. A tomas de 1,00 g de matéria adicionaram-se 50 ml de água destilada, tendo-se de seguida procedido a agitação durante uma hora. Os extractos foram filtrados em papel de filtro Watman 42. A concentração dos nitratos nos pecíolos foi determinada com um reflectómetro RQFlex, que utiliza tiras de teste Reflectoquant, calibradas na gama 5 a 225 mg NO₃⁻/L.

A 21 de Junho de 2008 procedeu-se à colheita. Com uma estrutura metálica quadrada de 1 m² isolou-se uma amostra por talhão de forma aleatória. As plantas foram cortadas para sacos de plástico com perfurações, tendo-se concluído a secagem expondo as plantas ao ar durante duas semanas. De seguida procedeu-se à separação das sementes das silíquas com malhos de madeira e fez-se a limpeza das sementes com crivos e correntes de ar. As amostras secas e limpas foram posteriormente pesadas.

Como componente da produção determinou-se ainda o peso de mil sementes, após contagem das sementes e pesagem das amostras.

2.2. Ensaio de germinação

No dia 16 de Abril de 2007, semearam-se em pequenos vasos, 120 sementes de cada variedade (Lucia, Recital, Nelson, NK Ready, PR46W10, PR46W14, PR46W31 e PR45D01), divididas por 4 vasos, com diferentes profundidades de sementeira (1cm, 4cm, 8cm, 12cm), contendo cada vaso 30 sementes. Obtiveram-se no total 96 vasos, resultantes de oito cultivares, quatro profundidades de sementeira e 3 repetições. Colocou-se substracto em cada vaso até à profundidade desejada, prefazendo-se o total

com terra. Imediatamente após a sementeira os vasos foram regados para assegurar a embebição completa das sementes.

Durante o ensaio de germinação fez-se um acompanhamento diário da contagem das emergências por vaso. Devido à grande densidade de sementes por vaso e para facilitar a contagem, as jovens plântulas iam sendo arrancadas após ter sido registada a sua emergência.

3. Resultados e discussão

3.1. Ensaio de campo

3.1.1. Evolução do estado fenológico das plantas

A figura 9 mostra a evolução da fenologia da colza desde a sementeira até à maturação das sementes. Esta figura representa o desenvolvimento fenológico médio da cultivar Lúcia. Registaram-se diferenças bem distintas entre cultivares em várias fases do ciclo cultural. A cultivar Lucia, por exemplo, iniciou a floração mais cedo, a 28 de Março, enquanto NK ready, Nelson e Recital iniciaram a floração aproximadamente a 10 de Abril. A maturação das sementes também foi atingida em diferentes datas, dependendo das cultivares, sendo Nelson a mais precoce (28 de Maio), seguindo-se NK Ready (5 de Junho) e finalmente Lucia e Recital (17 de Junho). A cultivar Lucia manteve-se em floração por um período mais longo.

Aumento significativo da biomassa acumulada ocorreu a partir de Fevereiro, coincidindo com o alongamento do caule. Durante a fase de roseta as plantas terão acumulado frio em quantidades adequadas à indução da floração. A partir de Fevereiro, com o aumento do integral térmico, iniciou-se o desenvolvimento do caule e o ritmo de crescimento das plantas acelerou significativamente. A partir de Fevereiro os estados fenológicos propostos por Mendham e Salisbury (1995) para o desenvolvimento da colza sucederam-se a ritmo mais elevado se comparados com a fase de roseta, caracterizada por um ritmo de crescimento muito lento.

Assim, o ciclo cultural da colza evidenciou uma fase muito lenta durante o estabelecimento da roseta, aumentando o ritmo de crescimento com o alongamento do caule. É de realçar o longo período de floração, sempre superior a dois meses. Floração muito escalonada pode ser muito benéfica na adaptabilidade das plantas a períodos de stress ambiental induzindo elevada plasticidade na produção final. Apesar da floração escalonada a maturação das sementes surgiu bastante concentrada em cada cultivar, talvez devida a características genética das próprias cultivares ou pelo facto de a partir do fim de Maio as condições de crescimento da planta se degradarem muito (redução da

disponibilidade de água e aumento da temperatura) forçando o fim de ciclo, com concentração da maturação das silíquas.

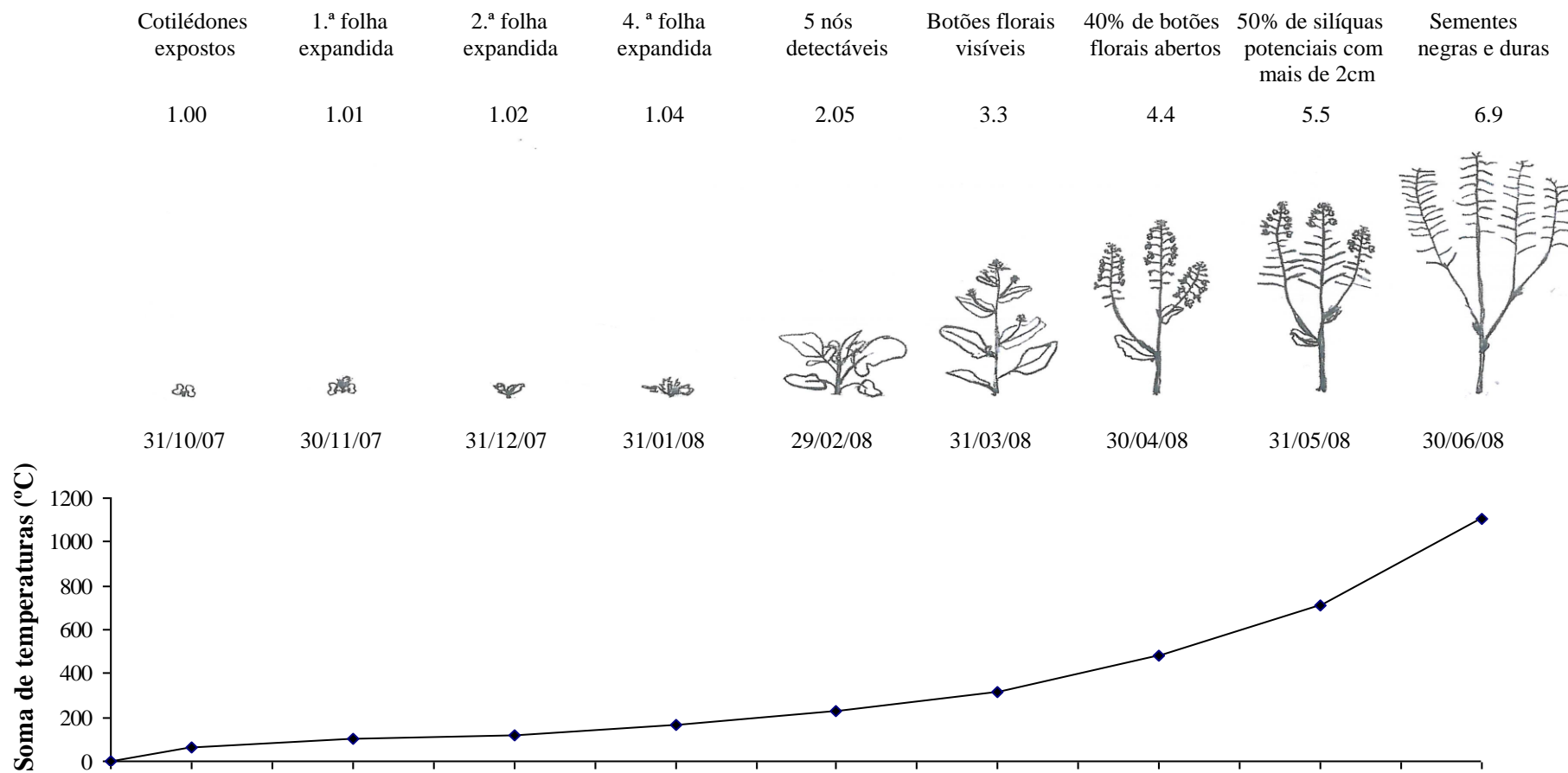


Figura 9. Evolução da fenologia da planta ao longo da estação de crescimento de acordo com a escala proposta por Mendham e Salisbury (1995), em função da soma de temperaturas calculada a partir de uma temperatura basal de 5°C.

3.1.2. Nitratos nos pecíolos e valores de clorofila SPAD

O teor de nitratos nos pecíolos variou de forma significativa entre cultivares e a dose de azoto (quadro 1). Recital apresentou as concentrações de nitratos nos pecíolos significativamente mais elevadas (48,4 g NO₃ kg⁻¹MS) enquanto NK Ready apresentou as concentrações significativamente mais baixas (14,7 g NO₃ kg⁻¹MS). As diferenças na concentração de nitratos nos pecíolos entre doses de azoto tiveram também expressão estatística. A concentração dos nitratos nos pecíolos foi mais baixa na modalidade em que foi aplicada a menor dose de azoto. Contudo, ocorreu alguma incongruência entre a dose intermédia e a dose mais elevada de azoto, com a última a registar menor teor de nitratos nos pecíolos.

Quadro 1. Nitratos nos pecíolos em função da dose de azoto aplicado (g NO₃ kg⁻¹MS)

Cultivar	Dose de azoto (kg ha ⁻¹)			Média
	0 + 50	25 + 75	50 + 100	
	----- g NO ₃ ⁻ kg ⁻¹ -----			
Lúcia	25,3	44,9	35,2	35,1 b
Recital	42,8	69,3	33,2	48,4 a
Nelson	14,6	27,3	28,4	23,4 c
NK Ready	6,3	16,6	21,3	14,7 d
Total	22,3 b	39,5 a	29,5 ab	

Médias com a mesma letra na linha ou na coluna não são diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha < 0.05$).

O teor de nitratos nos pecíolos é o indicador do estado nutritivo frequentemente mais utilizado em espécies que apresentem pecíolos de tamanho adequado para análise (Rodrigues *et al.*, 2005; Scmidhalter, 2008). O indicador pode reflectir diferenças de disponibilidade de azoto no solo, ou diferenças entre espécies ou cultivares com maior ou menor tendência para acumular nitratos nos pecíolos (Scmidhalter, 2008). Podem ser inclusive um bom indicador de eficiência fisiológica de uso de azoto. Neste trabalho surgiu alguma perturbação nos resultados entre as diferentes doses, eventualmente devido a emergências muito irregulares que originaram populações com densidades de plantas muito diferenciadas, o que terá influenciado a disponibilidade de N para cada planta e a concentração nos pecíolos. Foi demonstrado em diversas outras culturas que a densidade de plantas afecta significativamente os indicadores de estado nutritivo azotado (Hageman *et al.*, 1961; Sunderman *et al.*, 1979).

A cultivar Recital parece ter maior propensão genética para acumular nitratos nos tecidos que as restantes cultivares, enquanto NK Ready parece assimilar mais rapidamente o N absorvido. A acumulação de nitratos nos pecíolos pode ser um grande inconveniente em vegetais que se consomem frescos, pois pode aumentar a quantidade de nitratos nas dietas das populações. Embora envolva alguma controvérsia, a comunidade científica considera que a ingestão excessiva de nitratos pode estar relacionada com vários problemas de saúde como cancro gástrico, metehemoglobinemia, etc. (Boink e Speijers, 2001; Santamaria, 2006). No caso da colza pode revelar apenas consumo de luxo, isto é, que a planta pode absorver mais azoto que as suas necessidades metabólicas imediatas, constituindo-se o excesso de azoto como reserva, fenómeno habitualmente designado de consumo de luxo (Santos, 1996).

A tonalidade das folhas, avaliada com o medidor de clorofila SPAD-502, antes da adubação de cobertura mostrou diferenças significativas entre cultivares (quadro 2). Refira-se que a tonalidade das folhas era visível a olho nu e revelou ser característica intrínseca de cada cultivar.

Quadro 2. Intensidade da cor verde nas folhas determinada com o medidor SPAD-502 em 1 de Março de 2008, imediatamente antes da adubação de cobertura.

Cultivar	Dose de azoto (kg ha ⁻¹)			Média
	0	25	50	
	----- Valores SPAD -----			
Lúcia	42.1	44.0	43.6	43.1 c
Recital	50.0	50.9	51.5	50.8 b
Nelson	52.6	52.1	52.3	52.3 a
NK Ready	53.0	53.5	53.6	53.3 a
Total	49.4 a	50.1 a	50.9 a	

Médias com a mesma letra na linha ou na coluna não são diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha < 0.05$).

Após a adubação de cobertura a intensidade da cor verde manteve-se significativamente diferente entre cultivares (quadro 3), apesar das diferenças surgirem agora mais ténues. Contudo os valores mantiveram-se mais elevados na cultivar NK Ready, tal como se tinha registado na amostragem anterior.

Quadro 3. Intensidade da cor verde nas folhas determinada com o medidor SPAD-502 em 1 de Abri de 2008, um mês após a adubação de cobertura.

Cultivar	Dose de azoto (kg ha ⁻¹)			Média
	0 + 50	25 + 75	50 + 100	
----- Valores SPAD -----				
Lúcia	47.9	45.8	49.5	47.7 b
Recital	47.1	46.1	48.1	47.1 b
Nelson	48.4	48.1	50.5	49.0 ab
NK Ready	46.2	51.1	55.7	51.0 a
Total	47.4 b	47.8 b	50.9 a	

Médias com a mesma letra na linha ou na coluna não são diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha < 0.05$).

A adubação azotada de cobertura induziu diferenças significativas na tonalidade das folhas. Com as maiores doses de azoto obtiveram-se valores SPAD mais elevados, traduzidos numa tonalidade mais verde das folhas. O medidor de clorofila SPAD tem sido usado em muitas culturas como indicador do estado nutritivo azotado com sucesso amplamente positivo (Piekielek e Fox, 1992; Westcott e Wraith, 1995; Rodrigues *et al.*, 2004).

3.1.3. Produção de semente

A produção não registou diferenças significativas entre cultivares nem entre diferentes doses de azoto (quadro 4). A produção atingiu o valor médio de 3100 kg ha⁻¹, se contabilizados em conjunto os resultados de todas as cultivares e de todas as modalidades de fertilização azotada. A cultivar NK Ready atingiu produção média total (incluídas todas as doses de azoto) mais elevada que as restantes cultivares, em particular que a cultivar Lucia. Contudo, a elevada variabilidade experimental introduzida pela heterogeneidade da população produtiva não permitiu o registo de diferenças significativas.

O aumento da dose de azoto não originou diferenças significativas entre cultivares. O esquema de fertilização 0+50 kg N ha⁻¹ permitiu que as plantas manifestassem todo o potencial produtivo nas condições de ensaio. Também Scmidhalter (2008) registou uma fraca resposta à adubação azotada pela colza. Nos estudos de Scmidhalter (2008), a aplicação de azoto aumentou significativamente a

produção de semente apenas relativamente à testemunha. Os tratamentos fertilizantes com 50, 100 e 150 kg N ha⁻¹, não originaram diferenças de produção entre si, apesar da concentração de azoto nas plantas ter aumentado. Atendendo a que a colza é considerada uma espécie de elevada necessidade em azoto (Rathke *et al.*, 2005; Rathke *et al.*, 2006), a falta de resposta evidente ao fertilizante pode ter-se devido à elevada disponibilidade natural do nutriente no solo (parâmetro não determinado). Em conformidade com esta teoria, Sieling e Christen (1997) verificaram que a resposta ao azoto dependeu do precedente cultural. No presente estudo, o precedente cultural foi milho silagem, cultura de elevadas exigências em azoto não sendo expectável que deixe elevada fertilidade residual no solo. Contudo, devido a problemas no sistema de rega as produções obtidas foram baixas, o que pode ter limitado a absorção de azoto pela cultura.

Quadro 4. Produção de semente de quatro variedades de colza em função da dose de azoto aplicado

Cultivar	Dose de azoto			Média
	0 + 50	25 + 75	50 + 100	
	----- kg há ⁻¹ -----			
Lúcia	2417,1	3572,1	2576,3	2855,2
Recital	3589,7	1749,2	3498,9	2945,9
Nelson	3194,4	3278,4	2637,4	3036,7
NK Ready	3795,0	3869,6	3117,7	3594,4
Total	3249,3	3117,3	2957,6	

Médias com a mesma letra na linha ou na coluna não são diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha < 0.05$).

Rathke *et al.* (2004) verificaram que embora uma quantidade substancial de azoto tenha sido fornecida pela mineralização dos resíduos das culturas anteriores e da matéria orgânica do solo, a adição de azoto mineral foi um pré-requisito essencial para se obter elevada produtividade na cultura da colza, estando o resultado em consonância com o facto de a colza ser considerada uma planta de elevadas necessidades em azoto. Também Ozer (2002) observou diferenças significativas no crescimento e produção da colza com o aumento da dose de azoto. Tendo ensaiado doses de azoto a variar entre 0 e 240 kg N ha⁻¹, Ozer (2002) registou aumentos significativos na produção até 160 kg N ha⁻¹.

A colza apresenta reduzida eficiência de uso do azoto. Fismes *et al.* (2000) registaram percentagens de recuperação do azoto aplicado pela cultura a variar entre 36 e 53%. Por outro lado, a adubação azotada apresenta normalmente forte interacção com outros factores de crescimento, como a rega, densidade de sementeira e outros factores agro-ecológicos (Rood e Major, 1984). Talvez o fim de ciclo muito abrupto, com as fases de formação e crescimento do grão muito curtas devido à falta de água e aumento de temperatura, tenha reduzido a eficiência de uso do azoto e limitando a resposta da cultura à fertilização azotada. Esta teoria é também suportada no facto do azoto promover o crescimento vegetativo e atrasar a senescência das plantas, como verificaram Leleu *et al.* (2000) em estudos com a cultura da colza. Assim, as plantas com maiores disponibilidades de azoto estariam mais atrasadas na translocação dos fotoassimilados para as sementes, tendo este processo sido afectado com o fim abrupto da estação de crescimento. Assim, a falta de resposta ao azoto pode ter sido devida à disponibilidade natural de azoto no solo e/ou a um fim de ciclo abrupto que terá reduzido a eficiência fisiológica de uso do azoto. Estudos posteriores nas condições deste ensaio devem ter este aspecto em consideração.

3.2. Ensaio de germinação

O sucesso da emergência é determinante no estabelecimento de uma população produtiva que maximize a produção de semente. Neste trabalho estudou-se a tolerância à profundidade de sementeira de 8 cultivares de colza. Tendo em conta que em Trás-os-Montes os solos apresentam com frequência algum declive e elementos grosseiros pode ser difícil assegurar homogeneidade na profundidade de sementeira devido à trepidação dos semeadores. Por outro lado a informação é importante, pois há que avaliar a possibilidade de se efectuar sementeira a lança, dado as explorações normalmente não se encontrarem equipadas com semeadores adequados. Em acréscimo, o regime de pequena propriedade não permite amortizar equipamentos mais sofisticados, de forma que a possibilidade de se efectuar sementeira a lança deve estar em aberto.

As figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 mostram a evolução da emergência ao longo do tempo em função da profundidade de sementeira. A experiência decorreu nas estufas da Escola Superior Agrária de Bragança, sem controlo de temperatura ambiente, mas em que esta não seria factor limitante à emergência.

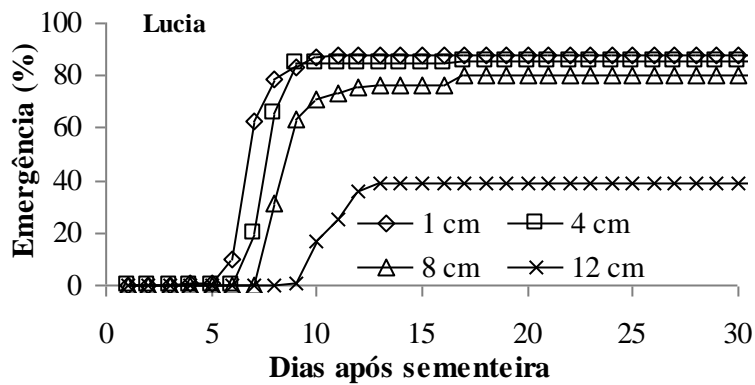


Figura 10. Variação da porcentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar Lucia em função da profundidade de sementeira.

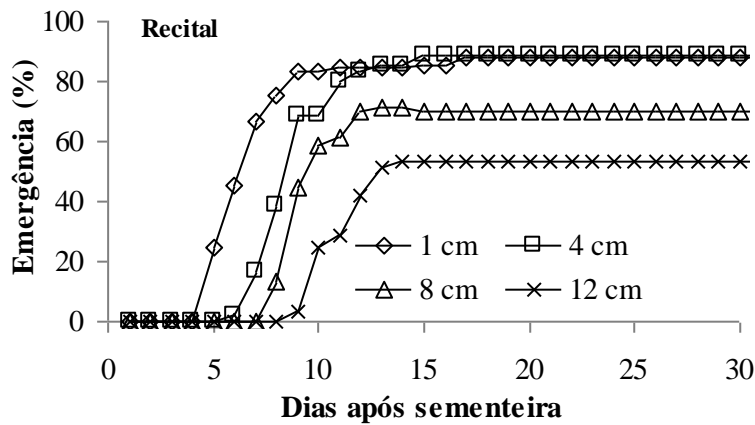


Figura 11. Variação da porcentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar Recital em função da profundidade de sementeira.

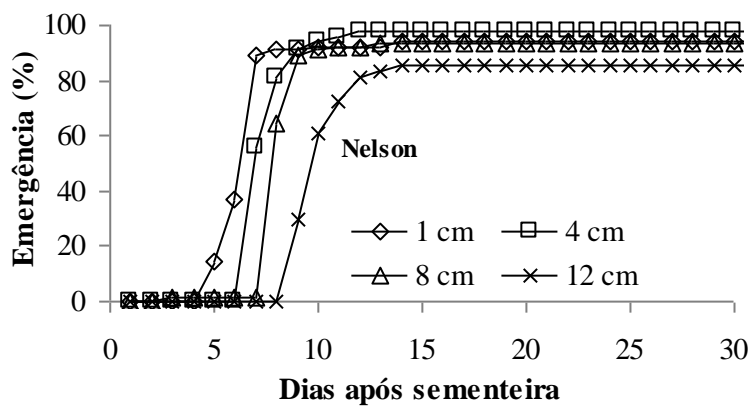


Figura 12. Variação da porcentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar Nelson em função da profundidade de sementeira.

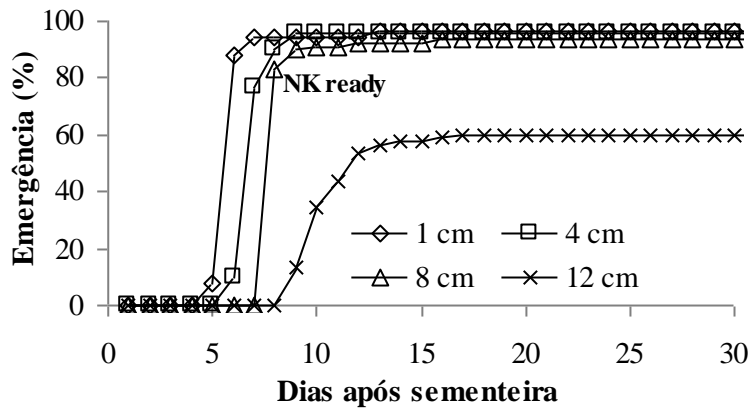


Figura 13. Variação da porcentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar NK Ready em função da profundidade de sementeira.

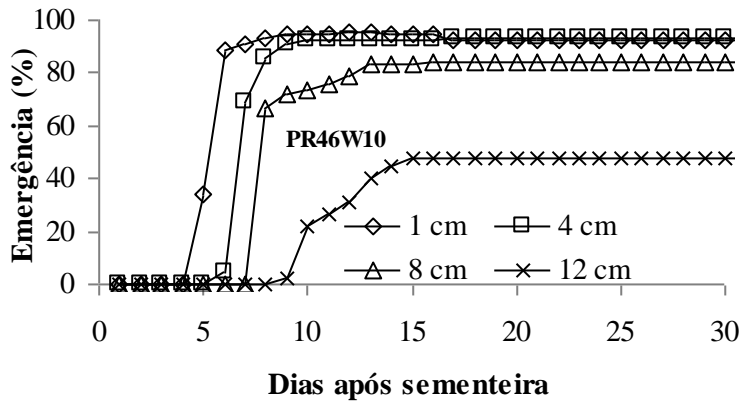


Figura 14. Variação da porcentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR46W10 em função da profundidade de sementeira.

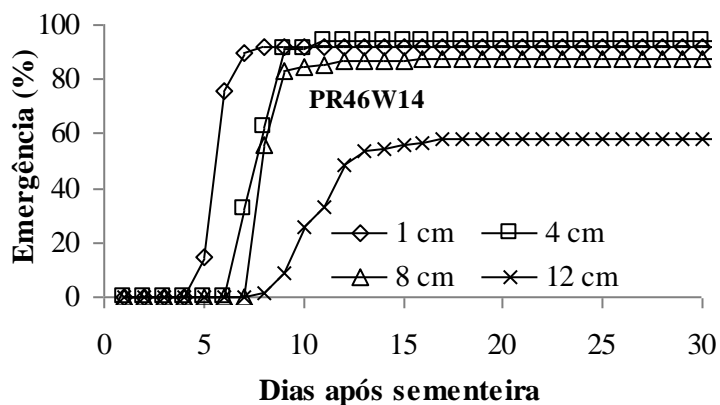


Figura 15. Variação da porcentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR46W14 em função da profundidade de sementeira.

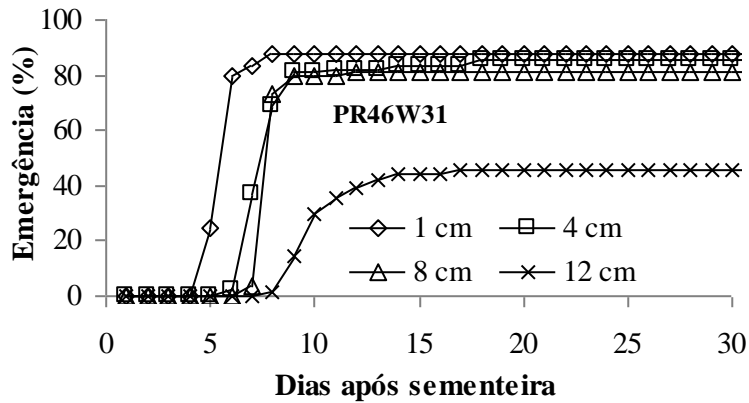


Figura 16. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR46W31 em função da profundidade de sementeira.

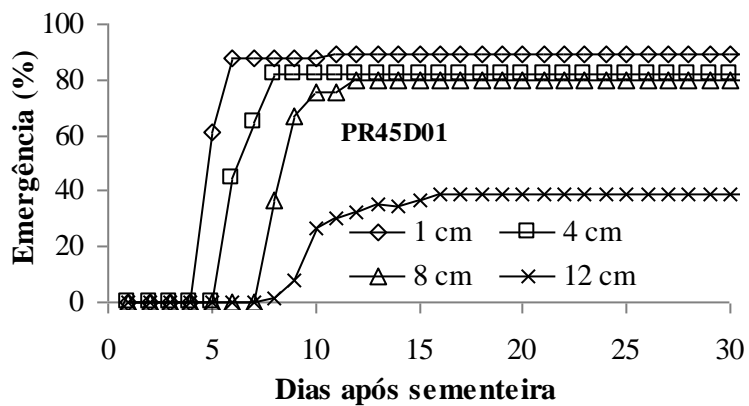


Figura 17. Variação da percentagem de emergência ao longo do tempo da cultivar PR45D01 em função da profundidade de sementeira.

Genericamente até aos 8 cm de profundidade não ocorreram decréscimos significativos na emergência, embora os valores médios tenham sido inferiores aos registados nas sementeiras a 1 e 4 cm de profundidade (figuras 10-15, quadro 5). A 12 cm de profundidade as emergências foram significativamente mais baixas comparativamente com as restantes profundidades. O limite crítico para a profundidade de sementeira na colza parece situar-se próximo dos 8 cm. Por outro lado, enterrar a semente até aos 4 cm parece não ter qualquer inconveniente. As reservas contidas na semente asseguram emergência adequada.

Quadro 5. Percentagem de emergência em função da profundidade de sementeira

Cultivar	Profundidade			
	1 cm	4 cm	8 cm	12 cm
Lúcia	87.7 a	85.6 a	80.0 a	38.9 b
Recital	87.8 a	88.9 a	70.0 ab	53.3b
Nelson	94.4 a	97.8 a	93.3 a	85.6 a
NK Ready	96.7 a	95.6 a	93.3 a	60.0 b
PR46W10	92.2 a	93.3 a	84.4 a	47.8 b
PR46W14	92.2 a	94.4 a	87.8 a	57.8 b
PR46W31	87.8 a	85.6 a	81.1 a	45.6 b
PR45D01	88.9 a	82.2 a	80.0 a	38.9 b

Médias com a mesma letra na linha não são diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha < 0.05$).

A profundidade de sementeira depende de cada espécie e, quando adequada, propicia germinação e emergência de plântulas uniformes. Profundidades de sementeira excessivas podem impedir que a plântula atinja a superfície do solo, por a semente não conter reservas acumuladas em quantidade suficiente. Por outro lado, profundidades reduzidas, predispõem as sementes a variações ambientais, como excesso ou déficit hídrico ou stress térmico, as quais podem dar origem a plântulas pequenas e fracas (Tillmann *et al.* 1994).

A velocidade de emergência e a percentagem de plântulas emergidas, são afectadas pela profundidade da sementeira. Entre os factores que devem ser considerados na definição da profundidade de sementeira, destacam-se o tamanho e a qualidade da semente, a textura e a humidade do solo, e também a temperatura como um factor de elevada importância para a germinação (Tillmann *et al.* 1994).

No quadro 6 pode observar-se o número de dias até se atingir 50 % das sementes germinadas. Semear a 4 cm atrasa aproximadamente dois dias a emergência relativamente a uma profundidade de 1 cm, enquanto semear a 8 cm a emergência sofre um atraso médio de 3 dias relativamente à profundidade de 1 cm. O comportamento das diferentes cultivares relativamente à profundidade de sementeira foi muito semelhante, não parecendo ser decisivas as pequenas diferenças observadas para o estabelecimento da população.

Quadro 6. Número de dias até se atingirem 50% de emergências. Considera-se como data de emergência o dia em que se atingem 50% de plantas germinadas relativamente ao total de sementes utilizadas no ensaio.

Cultivar	Profundidade			
	1 cm	4 cm	8 cm	12 cm
Lúcia	6	8	9	---
Recital	7	9	10	13
Nelson	7	7	8	10
NK Ready	6	7	8	12
PR46W10	6	7	8	---
PR46W14	6	8	8	13
PR46W31	6	8	8	---
PR45D01	5	7	9	---

Médias com a mesma letra na linha não são diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha < 0.05$).

Da análise do quadro 6 é possível observar uma tendência de redução de emergência de plântulas em função do aumento da profundidade de sementeira, fenómeno também observado por Tillmann *et al.* (1994). A 12 cm de profundidade muitas cultivares não atingiram 50% de emergências, valor usado neste trabalho como base do cálculo da data de emergência.

4. Conclusões

Através dos resultados obtidos conclui-se que o teor de nitratos nos pecíolos e os valores de clorofila SPAD nos limbos (determinados com o aparelho portátil SPAD-502) variaram significativamente com a dose de azoto e também com as cultivares.

Apesar de apresentarem diferenças morfológicas evidentes, não ocorreram diferenças significativas na produção de semente entre cultivares nem entre esquemas de fertilização azotada.

O limite crítico para a profundidade de sementeira na colza parece situar-se próximo dos 8 cm.

A produção média ultrapassou os 3000 kg ha⁻¹ de semente em todos os tratamentos. Aparentemente podem ser obtidas produções elevadas com doses moderadas de azoto.

A estação de crescimento caracterizou-se por um período inicial (Outubro-Novembro) particularmente seco e um Inverno frio. Contudo, a cultura pareceu bem adaptada ao clima local, tendo atingido nas condições de ensaio produções médias que seria impensável obter com o girassol (a cultura oleaginosa que normalmente ocupa as áreas de sequeiro em Portugal juntamente com cereais de inverno). Os resultados confirmam todo o potencial das cultivares de inverno de colza para serem incluídas nas rotações de sequeiro, pelo menos do Norte do país.

5. Referências Bibliográficas

- Anon. 1995. Cultura da Colza em Portugal. Ao serviço da Lavoura. N.º 203 p.2. MABC.
- Anon. 2006. A Colza – Manual da cultura. Tagol.
- Anon. 2008. Produtos fitofarmacêuticos – Fertilizantes – Sementes. Agro-Manual Publicações Lda.
- Baier, C.A., Floss, L.E., Aude, M.S. 1988. As Lavouras de Inverno 1 – Aveia, Triticale, Centeio, Alpiste, Colza. Publicações Global Rural.
- Bellido, L.L., 2003. Cultivos Industriales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Boink, A., Speijers, G.J.A. 2001. Health effects of nitrates and nitrites, a review. *Acta Horticulturae*, 563, 29-36.
- Conceição, M.M., Candeia, R.A., Silva, F.C., Bezerra, A.F., Fernandes, V.J., Sousa, A.G. 2005. Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel, *Renewable et Sustainable reviews*.
- Decreto-Lei n.º 66/2006 de 22 de Março. *Diário da Republica n.º 58, série I-A*. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Fismes, J., Vong, P.C., Guckert, A., Frossard, E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *European Journal of Agronomy*, 12, 127-141.
- Guerrero, A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 5.^a Edicion. pp. 497-513.
- Hageman, R.H., Flesher, D., Gitter, A. 1961. Diurnal variation and other light effects influencing the activity of nitrate reductase and nitrogen metabolism in corn. *Crop Science*, 1, 201-201.
- Kimber, D., McGregor, D.I. 1995. The species and their origin, cultivation and world production. pp. 1-7. In: Kimber, D.; McGregor, D.I. (eds.). *Brassica oilseeds. Production and utilization*. Cab international, Wallingford, UK.

- Leleu, O., Vuylsteker, C., Têtua, J.-F., Degrandea, D., Champolivierb, L., Ramboura, S. 2000. Effect of two contrasted N fertilisations on rapeseed growth and nitrate metabolism. *Plant Physiol. Biochem*, 38, 639-645.
- Lourenço, M.E., Palma, P.M. 2006. A cultura da colza: aspectos da técnica cultural. Universidade de Évora.
- Lourenço, M.E., Regato, J.E.D., Ferreira-Dias, S., Vivas, M.J., Riscado, N. 2000. Avaliação de culturas alternativas não alimentares. PAMAF (projecto n.º 1016). Universidade de Évora, Escola Superior Agrária de Beja, Estação Nacional de Melhoramento de plantas, Instituto Superior de Agronomia e Direcção Regional de Agricultura do Alentejo. Évora, 56 p.
- Mansinho, M.I., Fontes, M.A. (s.d.) Culturas energéticas: uma opção de futuro.
- Marijn, V.V., Fayçal, B., Alberto, A. 2009. Pan-European regional-scale modelling of water and N efficiencies of rapeseed cultivation for biodiesel production. *Global change biology*. Oxford, UK : Blackwell Publishing, 15, 24-37.
- Mendham, N.J., Salisbury, P.A. 1995. Physiology: crop development, growth and yield. pp. 11-64. In: Kimber, D.; McGregor, D. I. (eds.). *Brassica oilseeds. Production and utilization*. Cab international, Wallingford, UK.
- Michelena, M.C. 2002. El cultivo de la colza y del girassol. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Norouzi, M., Toorchi, M., Salekdeh, G.H., Mohammadi, S.A., Neyshabouri, M.R., Aharizad, S. 2008. Effect of water deficit on growth, grain yield and osmotic adjustment in rapeseed. *Journal of food, agriculture & environment*, 6, 312-318.
- Ozer, H. 2002. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. *European Journal of Agronomy*, 19, 453-463.
- Piekielek, W.P, Fox, R.H. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*, 84, 59-65.
- Rathke, G.-W., Behrens, T., Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Agric. Ecosys. Environ*, 117, 80-108.

- Rathke, G.-W., Christen, O., Diepenbrock, W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field crops Research*, 94, 103-113.
- Rathke, G.-W., Diepenbrock, W. 2004. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*, 24, 35-44.
- Rodrigues, M.A. 2004. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and pre-sidedress soil N status in the potato crop. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*, 35, 2067-2085.
- Rodrigues, M.A., Coutinho, J., Martins, F., Arrobas, M. 2005. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. *European Journal of Agronomy*, 23, 79-88.
- Rood, S.B., Major, D.J. 1984. Influence of plant density, nitrogen, water supply and pod or leaf removal on growth of oilseed rape. *European Journal of Agronomy*.
- Santamaria, P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of Science and Food Agriculture*, 86, 10-17.
- Santos, J.Q. 1996. Fertilização – Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos. Publicações Europa-América, Mem-Martins.
- Scmidhalter, D.T. 2008. Nitrogen status and biomass determination of oilseed rape by laser-induced chlorophyll fluorescence. *European Journal of Agronomy*, 30, 238-242.
- Sieling, K., Christen, O. 1997. Effect of preceding crop combination and N fertilization on yield of six oil-seed rape cultivars (*Brassica napus* L.). *European Journal of Agronomy*, 7, 301-306.
- Sunderman, H., D., Onken, A.B., Hossner, L.R. 1979. Nitrate concentration of cotton petioles as influenced by cultivar, row spacing, and N application rate. *Agronomy Journal*, 71, 731-737.
- Tamas, N., Gabriella, M.-G., Laszio, R., Zoltan, G. 2009. Nitrogen and Sulfur Content of Canola Grown on a Calcareous Chernozem Soil. *Communications in soil science and plant analysis*, 40, 825-834.

- Tillmann, M.A.A, Piana, Z., Cavariani, C., Minami, K. 1994. Efeito da profundidade de sementeira na emergência de plântulas de tomate. *Scientia Agrícola Piracicaba*, 51, 260-263.
- Westcott, M.P, Wraith, J.M. 1995. Correlations of leaf chlorophyll readings and stem nitrate concentrations in peppermint. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26, 1481-1490.
- Yang, M., Shi, L., Xu, F.S., Wang, Y.H. 2009. Effect of Boron on Dynamic Change of Seed Yield and Quality Formation in Developing Seed of *Brassica napus*. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 785-797.