

Ecofisiologia da aveia branca

GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO, CLAUDIO HIDEO MARTINS DA COSTA,
JAYME FERRARI NETO

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, *Campus* de Botucatu, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, SP. E-mail: gsacastro@fca.unesp.br; chmcosta@fca.unesp.br; jfneto@fca.unesp.br

RESUMO

Dentre os vários cereais de inverno existentes, o cultivo da aveia branca vem se firmando como uma importante alternativa de exploração agrícola, servindo como alternativa para produção de forragem, grãos, para a alimentação animal e humana e palhada para o Sistema Plantio Direto, esta por sua vez com inúmeros benefícios agrícolas como a supressão de plantas daninhas, controle de nematóides e ciclagem de nutrientes. Neste contexto, o conhecimento da ecofisiologia da aveia branca é de extrema importância devido à sua grande adaptabilidade e seus múltiplos propósitos, que fazem dela uma espécie de extrema importância para a sustentabilidade de diversos sistemas de produção agrícola. Tal conhecimento é necessário para maximizar seus benefícios e obter lucratividade com a cultura, evitando os riscos em épocas críticas e potencializando a produção com o estímulo do desenvolvimento nas épocas de desenvolvimento dos seus componentes produtivos.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., fatores climáticos, fenologia.

ABSTRACT

Ecophysiology of oats

Among the several existing winter cereals, the cultivation of oats has been establishing itself as an important alternative to farm, serving as an alternative to forage production, grain, feed and food, and straw for no-tillage system, which has many agricultural benefits, like the removal of weeds, the possibility to control of nematodes, nutrient cycling and so on. In this context, knowledge of the ecophysiology of oats is extremely important because of its great adaptability and its multiple purposes, making it a kind of extreme importance to the sustainability of different agricultural production systems. Such knowledge is necessary to maximize your benefits and get profit with the culture, avoiding the risks in critical times and enhancing the production with the encouragement of development of its productive components.

Keywords: *Avena sativa* L., ecological factor, phenology.

INTRODUÇÃO

A ecofisiologia vegetal preocupa-se com a “fisiologia da planta à medida que é afetada pelas influências externas flutuantes”. Procurando explicar os mecanismos básicos e as interações existentes no interior do sistema “planta – ambiente”, já que, toda e qualquer produção vegetal que vise a máxima produtividade econômica, fundamenta-se na perfeita integração dos três fatores. a) planta, b) ambiente, c) manejo.

Apesar da aveia-branca (*Avena sativa* L.) ser cultivada em várias regiões do mundo, devido a sua alta adaptabilidade, quando se visa rentabilidade é importante cultivá-la em

regiões edafoclimaticamente aptas, pois é uma cultura bastante influenciada pelas condições ambientais.

Dessa forma, é importante que antes de se tratar especificamente dos fatores ecológicos envolvidos na fisiologia da cultura da aveia-branca, se conheça todo o desenvolvimento da planta para definir as fases mais vulneráveis do ciclo da cultura aos fatores adversos do ambiente.

A cultura apresenta sensibilidade às condições climáticas. Quando estas são satisfatórias, a cultura é produtiva, caso contrário podem ocorrer frustrações de safras, que serão proporcionais à duração e intensidade das condições adversas.

Atualmente, novas áreas do Brasil vêm merecendo atenção para a implantação da cultura da aveia-branca e o conhecimento da ecofisiologia da planta pode contribuir para a identificação de áreas promissoras para a cultura, visto que a expansão para novas fronteiras agrícolas, como o Centro-Oeste e Nordeste brasileiro.

Dentre os vários cereais de inverno existentes, o cultivo da aveia branca vem se firmando como uma importante alternativa de exploração agrícola. A cultura da aveia já desempenha grande papel nos sistemas de produção da região Sul do Brasil, caracterizando-se como uma das alternativas para a utilização das pastagens no período de inverno, com o objetivo de produção de forragem, grãos ou simplesmente para cobertura morta em sistemas de plantio direto (CBPA, 2006; TERRA-LOPES *et al.*, 2009). Já nas áreas de expansão, o objetivo da produção da aveia é como alternativa para formação de palhada e produção de grãos em sistema plantio direto (SPD) viabilizando a inclusão de novos sistemas de produção agrícola na região dos cerrados.

Descrição e desenvolvimento da espécie

Cronquist (1988) classificou botanicamente a aveia branca como uma planta da divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida e subclasse Commelinidae, da ordem das Cyperales, família das Poaceae (ou Graminaceae) e tribo Avenae. Sendo descrita como a espécie *Avena sativa* L.

O número de espécies é muito grande e sua classificação é realizada a partir do nível de ploidia (diplóide, tetraplóide ou hexaplóide), sendo todas poliplóides com número cromossômico básico igual a sete (O'MARA, 1961).

Em relação às características botânicas, a aveia apresenta um sistema radicular fibroso e fasciculado, com raízes seminais e adventícias. Os colmos são eretos, cilíndricos e compostos de uma série de nós e entrenós. Os nós são sólidos, ao passo que os entrenós são cheios, quando verdes e ocos quando maduros. A inflorescência é uma panícula piramidal, terminal e aberta, apresentando espiguetas contendo de um a três grãos (BONNETT, 1961).

As estruturas anatômicas da aveia têm sido ricamente detalhadas e publicadas por vários cientistas em décadas passadas. A anatomia, ou seja, a estrutura do tecido dos órgãos das plântulas e da planta madura de aveia foi exaustivamente descrita e ilustrada por Bonnet (1961) e Marshall & Sorrells (1992). Já as características ecofisiológicas da cultura, por não serem amplamente estudadas, são estimadas de acordo com outras culturas com alto grau de parentesco, como a cevada, o centeio e, principalmente, o trigo.

A germinação da aveia-branca ocorre entre 4 e 31°C, situando-se de 20 a 25°C a faixa ideal de temperatura, mas em alguns casos a temperatura na superfície do solo pode exceder isso em áreas quentes, reduzindo o estande final (PENNING de VRIES *et al.*, 1989). Em regiões tropicais não é fácil obter a população de plantas desejada, pois, devido à alta temperatura do ar, o solo seca rapidamente e, ainda, pode alcançar temperaturas muito

elevadas que atingem os primeiros centímetros do subsolo, sendo bem superior à temperatura máxima tolerada pela semente para germinar, que é 31 °C.

O sistema radicular em aveia compreende as raízes seminais e adventícias (também conhecidas como nodais ou coroa). As três a quatro raízes seminais se desenvolvem da raiz primordial presente no embrião da semente plantada e as raízes adventícias originam-se da base dos nós da haste principal e perfilhos que formam a coroa. Nesta e em outras gramíneas anuais, a posição da coroa é determinada pela elongação do primeiro entrenó da haste abaixo do coleótilo, o mesocótilo, elevando o meristema apical da profundidade de onde a semente foi plantada para logo abaixo da superfície do solo que fica nessa posição desde enquanto a folha e o primórdio de espiguetas estão sendo iniciados até que o alongamento dos entrenós comece (CASTRO & KLUGE, 1999). As raízes adventícias constituem a maior parte do sistema radicular (pelo menos 95% do peso de raízes), de acordo com Brouwer (1986) são produzidas continuamente por toda parte inicial do ciclo de vida até a antese. Já o número de raízes seminais produzidas é pequeno e embora estejam presentes desde a germinação elas continuam funcionais pela maior parte do ciclo de vida.

O crescimento das raízes é restrito a uma zona de aproximadamente 10 mm acima da ponta da raiz, sendo a taxa de alongamento variável de 0,5 a 3,0 cm dia⁻¹ na raiz primária ou nas nodais, sendo que a relação raiz/parte aérea pode ser superior sob condições de baixa temperatura, ocorrendo o contrário sob temperaturas maiores (EVANS *et al.*, 1980).

A função das raízes de aveia não é restrita à absorção de água e nutrientes, pois sabe-se que este órgão, em gramíneas, podem também reduzir o nitrato, embora a maior parte dessa redução ocorra nas folhas expostas à luz. As raízes podem ainda sintetizar aminoácidos e agir como fonte de hormônios de crescimento para a parte aérea, como as citocininas (EVANS *et al.*, 1980).

Plantas individuais irão desenvolver um número variável de hastes, dependendo das condições de crescimento que a planta está submetida, sendo que a primeira haste, a haste principal, irá produzir um número de perfilhos. Perfilhos primários originam-se nas axilas das folhas mais baixas e velhas da haste principal na sua base. A formação de afilhos é um processo de desenvolvimento de gemas a partir da terceira folha expandida, e após deste estágio, a cada folha expandida pode corresponder a emissão de um novo afilho (MASLE, 2005). Eles variam em idade e, conseqüentemente, a hierarquia em tamanho, onde o número de folhas, e outros órgãos, é estabelecido. O afilhamento é fundamental na determinação da produtividade de grãos em aveia, pois afeta o componente da produção número de panículas por área (DAVIDSON & CHEVALIER, 1990). O desenvolvimento de gemas laterais é iniciado em época e taxa dependentes da profundidade de semeadura e da temperatura. Alterações nas condições ambientais demonstram ter pequeno efeito sobre a iniciação das gemas dos perfilhos, mas tem efeito marcante no seu crescimento subseqüente (KLEPPER *et al.*, 1982).

Não são todos os perfilhos produzidos que irão sobreviver e em geral, perfilhos mais velhos e maiores são mais aptos à sobreviver que perfilhos mais novos e menores. Isso porque conseguem interceptar maior radiação solar, aumentando sua eficiência fotossintética. Porém, em alguns casos, os perfilhos mais novos podem ajudar na produção de fotoassimilados para o enchimento de grãos dos perfilhos mais velhos. A sobrevivência de afilhos é determinada pela sua taxa de desenvolvimento em relação ao colmo principal. Assim, o período de tempo compreendido entre a emissão de duas folhas sucessivas deve ser similar no colmo principal e nos afilhos (sincronismo de desenvolvimento) para que essas estruturas possam sobreviver e produzir grãos (MASLE, 1985).

Os afilhos são formados até a diferenciação da espiguetas terminal, no ponto de crescimento (PETR *et al.*, 1988), estando a planta com cerca de sete folhas completamente expandidas. Após, inicia-se a senescência dos afilhos não produtivos (LONGNECKER *et al.*, 1993).

Durante o crescimento inicial o perfilho é inteiramente dependente da parte aérea que o supre de carboidratos e nutrientes; e só se tornam independentes após desenvolverem três folhas maduras, quando as raízes nodais se formam na base. O perfilhamento, em gramíneas anuais, é favorecido por alta intensidade luminosa e nutrição adequada e a taxa de perfilhamento é máxima a 25 °C (CASTRO & KLUGE, 1999). Porém, as pesquisas indicam que o fator preponderante para a formação e desenvolvimento dos perfilhos é a adequada nutrição com nitrogênio (N). Isso porque o N exerce forte influência no crescimento e no desenvolvimento de plantas de aveia em estádios iniciais (MUNDSTOCK & BREDEMEIER, 2001). Assim, a aplicação de adubo nitrogenado representa uma prática cultural indispensável nessa cultura, objetivando alcançar elevadas produtividades. Para Blackshaw *et al.* (2004), o uso estratégico de nutrientes, ao favorecer a cultura, também poderá estimular a supressão do crescimento das plantas daninhas.

A recomendação para a aplicação de N em cobertura tem relação com o processo de afilhamento, afetando a emissão e a sobrevivência de afilhos. A alta disponibilidade de N, no início do desenvolvimento, pode estimular a maior emissão dessas estruturas (LONGNECKER *et al.*, 1993), enquanto que a aplicação de N, antes da expansão dos entrenós, incrementa a sobrevivência dos afilhos já emitidos (SHAH *et al.*, 1994). O efeito da maior disponibilidade de N sobre a sobrevivência dos afilhos se dá pela manutenção do sincronismo de desenvolvimento entre o colmo principal e os afilhos (MASLE, 1985). Segundo Harry (1976), a planta, em condições de estresse hídrico, disponibiliza suas reservas para manutenção do perfilho principal em detrimento dos perfilhos secundários, que podem morrer. Deve-se salientar ainda que a quantidade de panículas é determinada desde o início do perfilhamento até o estágio de elongação do colmo (CHRISTIANSEN *et al.*, 1989).

As folhas se dispõem alternas e em duas filas ao longo do colmo. Cada folha tem duas partes: a bainha, que é a parte inferior que envolve o entre-nó e o limbo, que é a parte superior (WHELCH, 1995). A taxa na qual novas folhas se formam, emergem e se desdobram, bem como o tamanho e o formato dos limbos maduros, depende da temperatura, da intensidade luminosa, do comprimento do dia sob os quais a planta se desenvolve (CASTRO & KLUGE, 1999). Com condições de luz e temperatura constantes, Friend *et al.* (1962) trabalhando com o trigo, outra gramínea anual, encontraram uma máxima área foliar a 20 °C e luminosidade entre 10000 e 19000 lux, sendo que estes valores devem estar próximos para a cultura da aveia branca.

O alongamento do caule, seguido da iniciação floral geralmente causa a cessação do perfilhamento, sendo que a máxima densidade de perfilhos é atingida nessa época e depende do nível de radiação solar ocorrido e do cultivar (WELCH, 1995).

A estrutura floral da aveia, assim como a de todas as gramíneas, é considerada altamente especializada. Na aveia, mais precisamente, as inflorescências são compostas, constituídas por uma série de ramos floridos, chamados de espiguetas que estão sempre arranjadas na forma de panícula suportada pelo colmo da aveia. Cada espiguetas tem uma ou diversas flores individuais, florinhas. A florinha contém a parte feminina – um ovário superior – e a parte masculina – os estames – sendo estes em número de três ou múltiplo de três. A florinha é fechada com duas brácteas ou escamas protetoras, externamente pela lema e internamente pela palea. Na base de cada espiguetas estão escamas as adicionais ou glumas,

que podem variar em tamanho e forma. Após a fecundação, o ovário único se desenvolve em uma cariopse, compreendendo um embrião e um endosperma, o órgão guarda energia principalmente na forma de amido para a germinação da semente. O maior tamanho das cariopses nos cereais conduziu ao cultivo e dominância deles na agricultura mundial como culturas alimentares tanto para os humanos como para os animais (WELCH, 1995).

A diferenciação floral e o início do florescimento ocorrem sob o aumento do comprimento do dia, da radiação incidente e da temperatura. No florescimento a haste ou colmo, que carrega as folhas e a inflorescência, está ereta. A haste consiste de uma série de tubos cilíndricos ocos, ocorrendo geralmente entre quatro e sete (perfilhos), juntando-se nos nós onde a haste é sólida. Os entrenós aumentam em comprimento da base da haste para o pedúnculo abaixo da inflorescência. As posições dos nós estão marcadas externamente por uma zona estreita de cor escura que rodeia a haste imediatamente acima dele (CASTRO & KLUGE, 1999).

Vários eventos ocorrem desde a época da abertura das flores até que a semente atinja a maturidade, o primeiro é a polinização e em seguida ocorre a fertilização, que é o evento mais significativo da vida da planta. A taxa de desenvolvimento das inflorescências é rápida em altas intensidades luminosas, dias longos e sob altas temperaturas sendo grande o número de espiguetas formadas quando a intensidade luminosa é alta; entretanto, altas densidades de plantas podem reduzir esse número, assim como em condições de denso perfilhamento (WELCH, 1995).

O número de grãos formados nas espiguetas é dependente do nível de luz entre a iniciação floral e a antese, e o desenvolvimento do pólen é particularmente sensível ao estresse hídrico e altas temperaturas, no estágio de meiose. O número de grãos por panícula é estabelecido na antese, após o período de iniciação floral (LARCHER, 2000).

O núcleo do endosperma é formado após a fertilização e sua taxa de desenvolvimento depende da temperatura. Oito a dez dias após a polinização iniciam-se a formação das paredes do endosperma. Quando a semente chega a metade do seu tamanho final iniciam-se uma série de sucessões de divisões celulares, e a partir daí tornam-se visíveis o coleóptilo, a plúmula, a raiz principal e outras estruturas. Nesse período, de cerca de 2 semanas, dependendo da temperatura e da incidência de estresse hídrico, a massa do grão aumenta quase linearmente e é seguida por um crescimento assintótico, quando se aproxima da maturidade do grão. Nesta fase, o conteúdo de água da semente cai de forma lenta e depois reduz rapidamente (FULCHER, 1986).

O impacto das limitações de fotossíntese, translocação e armazenamento varia, naturalmente, entre cultivares e condições ambientais e, em especial, com a seqüência da ocorrência dessas condições durante o desenvolvimento das inflorescências e, por conseguinte, a posterior granação. Estes são processos dependentes da temperatura e da quantidade de água disponível.

Processos fisiológicos que controlam a produção

Fotossíntese

A fotossíntese em aveia-branca é regida pelo ciclo de Calvin e, consequentemente o ponto de compensação de CO₂ é alto, ao redor de 50 ppm. Para a maioria das gramíneas anuais, a relação entre fotossíntese líquida e temperatura mostra uma ampla faixa ótima, variando de 10 a 25 °C, com altas taxas de fotossíntese mantidas a temperaturas inferiores a essa faixa, mas com uma drástica redução em condições mais quentes. A respiração no escuro

aumenta com o incremento da temperatura na faixa de 15 a 35 °C e a fotorrespiração na faixa entre 24 a 35 °C (EVANS, 1970).

A taxa fotossintética foliar, em determinado ambiente, pode variar em mais que o dobro, dependendo da demanda por assimilados da planta. A taxa fotossintética da folha bandeira pode reduzir de modo acentuado com a retirada da espiga adjacente, aumentando novamente, quando drenos alternativos, como novos perfilhos aumentam a demanda por assimilados. A taxa fotossintética da folha bandeira cai de um alto nível, à época da emergência da espiga, até uma taxa bem menor, cerca de uma semana após a antese, quando o alongamento do caule e o perfilhamento já diminuíram. Nesta fase o crescimento do grão de pólen ainda não começou. Com o crescimento posterior dos grãos, a taxa fotossintética da folha bandeira volta a aumentar (CASTRO & KLUGE, 1999).

Em geral, cerca de 90% de carboidratos nos grãos são derivados da fixação de CO₂ posterior à antese. A produção de grãos pode, portanto, ser relacionada com a duração e taxa de fotossíntese após a antese. No entanto, a fotossíntese antes da antese e, em particular, durante a fase de formação das espigas, pode influenciar profundamente a produtividade, pelos seus efeitos sobre os componentes da capacidade de armazenamento (CASTRO & KLUGE, 1999).

A relação entre radiação incidente e fotossíntese líquida depende do IAF, mas, também, da distribuição arquitetônica das folhas no dossel. As folhas superiores no dossel, por receberem maior incidência luminosa, apresentam uma maior contribuição para a fotossíntese total da planta (EVANS, 1970).

Translocação e reserva

A capacidade de armazenamento da cultura de aveia-branca depende do número de espiguetas, número de grãos por espiguetas e do tamanho individual do grão. Os componentes da produção citados são determinados sequencialmente durante o desenvolvimento da cultura, sendo o número de espiguetas bem antes da antese, o número de grãos por volta da antese e o tamanho entre a antese e a maturidade. O nível de radiação tem um efeito pronunciado sobre o número máximo de perfilhos, mas um grande número de perfilhos produz espiguetas férteis. O nível de radiação, bem como o estado nutricional do solo, a temperatura e o fotoperíodo durante o desenvolvimento da inflorescência, influenciam o número de espiguetas, enquanto a fixação dos grãos é particularmente influenciada pela intensidade luminosa e suprimento de água, logo antes da antese e em semanas subsequentes (CASTRO & KLUGE, 1999).

A relação fonte/dreno tem sido considerada a principal determinante da produção de grãos. Como fontes são considerados todos os tecidos fotossinteticamente ativos, representados pelo produto dos seguintes fatores: área fotossinteticamente ativa na emergência da espiguetas; duração da atividade dos tecidos fotossintetizantes após a emergência da espiguetas, e eficiência fotossintética dos tecidos. Como drenos são considerados as espiguetas e os grãos, cuja atividade é determinada pelo número de espiguetas e número de grãos por espiguetas.

Fatores que afetam a produtividade

População

A população de plantas, em função de alguns fatores (potencial genético, radiação solar, disponibilidade de água e nutrientes, incidência de pragas, doenças e plantas daninhas), pode implicar no desempenho da cultura da aveia destinada para a produção de grãos (ABREU *et al.*, 2004; 2005). Em etapas precoces de desenvolvimento altas populações de

plantas favorecem a rápida cobertura do solo e a redução da infestação por plantas daninhas. Em pesquisa realizada com trigo, por meio de uma ampla faixa de ambientes, o aumento da densidade de semeadura de 100 para 200 plantas m^{-2} diminuiu pela metade a matéria seca das plantas daninhas e reduziu a perda de produtividade de grãos do trigo de 23% para 17% (Lemerle *et al.*, 2004).

A densidade recomendada para semeadura de aveia é de 200 a 300 sementes viáveis por m^2 , com espaçamento de 0,17 a 0,20 m, onde a expressão de potencial de afilhamento está diretamente relacionada com o manejo desta espécie (FERREIRA & AQUILA, 2005).

Almeida *et al.* (2000) consideram que o contínuo melhoramento genético da cultura da aveia tem modificado, significativamente, a arquitetura de planta através de redução na estatura e na área foliar, entre outras características. Essas mudanças podem alterar a resposta dos cultivares à população de plantas e, portanto, serem necessárias recomendações particulares para cada grupo de cultivar. Mundstock & Galli (1994) salientam que a competição de plantas de aveia tem efeitos diretos sobre o crescimento e desenvolvimento e pode afetar o potencial de rendimento da cultura. A redução na população de plantas do cultivar UPF 18 poderia não influenciar, significativamente, o desempenho a campo possibilitando a redução na quantidade de sementes em cultivo comercial. Isso pode representar uma considerável economia em médias e grandes propriedades, considerando que a lavoura de aveia branca oferece rentabilidade inferior às lavouras de verão (ABREU *et al.*, 2004; 2005).

Temperatura

A cultura de aveia branca desenvolve-se melhor quando recebe, na primeira parte do seu ciclo, temperaturas do ar relativamente baixas que não são prejudiciais às plantas, pois há resistência a esta condição meteorológica sendo a aveia, dentre as gramíneas anuais, a que exige temperaturas mais moderadas. Aproximando-se da floração a aveia-branca é prejudicada por baixas temperaturas do ar, não tolerando aquelas inferiores a 2 a 3 °C que podem causar danos às folhas e colmos e, principalmente, esterilidade às flores. As baixas temperaturas são igualmente prejudiciais durante o período de formação dos grãos; geadas podem paralisar o crescimento resultando, na colheita, em grãos enrugados e de baixo peso (Leonard & Martinelli, 2005).

Se por um lado as temperaturas excessivamente baixas são prejudiciais, também as demasiadamente altas não conduzem a boa produção. Plantas sujeitas a períodos de alta temperatura do ar tendem a acelerar o ciclo. Ocorre a paralisação da formação dos grãos quando as plantas são submetidas a temperaturas de 32 °C ou mais, por dois ou mais dias, aliadas a baixa umidade do ar e como consequência ocorre o rápido amadurecimento dos grãos e aumento da esterilidade, levando a baixo rendimento Mundstock (1983), fenômeno este chamado de “golpe de calor”.

No Brasil, principalmente na região sul as temperaturas do ar que ocorrem durante o período em que a cultura se desenvolve não oferecem grande limitação, existindo algumas limitações eventuais por efeitos de temperaturas muito elevadas (BRINHOLI, 1995). Por esse motivo, os trabalhos de melhoramento atualmente tentem a buscar novos cultivares para as regiões mais quentes do Brasil, como o bioma Cerrado.

Umidade do ar

No que se refere à umidade do ar, trata-se de um fator ambiental dos mais importantes para o sucesso da cultura. Alta umidade do ar é desfavorável ao crescimento das plantas e está

relacionada, em geral, com o aparecimento de moléstias que requerem umidade do ar acima de 90% para se desenvolverem bem.

Os meses mais críticos para a cultura neste sentido são setembro, outubro e novembro. De modo geral, considera-se que a umidade relativa do ar abaixo de 70% está associada com boa produtividade. A alta umidade relativa do ar associada a altas temperaturas limita o cultivo de aveia-branca, porque essas condições são extremamente prejudiciais ao desenvolvimento da cultura (BRINHOLI, 1995).

Precipitação

As plantas de aveia-branca não exigem grande quantidade de água durante o ciclo de desenvolvimento. A planta tem requisitos mínimos para o perfeito desenvolvimento e apresenta épocas críticas nas quais o suprimento de água é vital, como a germinação e, em maior quantidade, durante o emborrachamento, a floração e a primeira etapa de formação dos grãos. Na maturação e durante a colheita, a precipitação deve ser mínima.

Em relação à umidade do solo a aveia requer mais umidade que qualquer outro cereal de inverno. Requer entre 400 e 1300 mm de água por ano, sendo que quando cultivada na primavera requer em torno de 600 mm e no inverno aproximadamente 800 mm (LANGER, 1972).

Excessos de precipitação são prejudiciais porque o encharcamento do solo interfere com a aeração das raízes. Interfere ainda nas operações agrícolas e, em especial, no preparo do solo, semeadura e colheita. O excesso de chuvas aliado a alta umidade do ar, ocasiona um mal desenvolvimento da planta e favorece o aparecimento de moléstias. Nestas condições as produções de grãos são baixas e de má qualidade (PENNING de VRIES *et al.*, 1989).

Fotoperíodo

A cultura de aveia-branca, como os demais cereais de inverno são plantas de dias longos. A indução da formação das estruturas florais é dependente do fotoperíodo e da temperatura. Assim, as plantas induzidas ao fotoperíodo florescem progressivamente mais rápido na medida em que o comprimento do dia aumenta. Esta reação é bastante afetada pela temperatura. No período de crescimento e florescimento a aveia-branca requer um período com dias mais longos, com mais de 12 horas de luz por dia. Quando a duração do dia não é suficiente na época de florescimento, este se atrasará e não florescerá (MARSHALL & SORRELLS, 1992). Por outro lado, Parsons *et al.* (1994) afirmam que para o florescimento, a aveia branca requer mais de 12 horas de luz por dia, porém algumas variedades são insensíveis a este fator. Em geral, o número de nós do colmo, conseqüentemente o número de folhas, e o tamanho da estrutura reprodutiva, são modificados pela alteração do fotoperíodo.

Radiação solar

A interceptação da radiação solar em determinados estádios de desenvolvimento depende do tamanho, forma, ângulo e orientação azimutal das folhas. A produtividade dos grãos depende da capacidade de produção, que é composta pelo número de espiguetas por hectare e do número de flores por espiguetas, enquanto que a produtividade final depende do número de flores que produzem grãos e do peso de 1000 grãos. A capacidade de produção depende do desenvolvimento até a emissão da panícula, enquanto que a produtividade final depende muito da fotossíntese da folha bandeira, e da espiguetas. Mas a vitalidade dos grãos em desenvolvimento tem efeito importante no uso de assimilados (MARSHALL & SORRELLS, 1992). A aveia branca é citada, entre os cereais de inverno, como a que melhor

se desenvolve em zonas com baixos níveis de insolação (MUNDSTOK, 1983). Em cultivos densos, as folhas inferiores recebem pouca luz, concluindo-se que a eficiência fotossintética é baixa (PARSONS, 1994). Com isso, a adequação do espaçamento e da população de plantas é fundamental no sucesso da lavoura.

Demanda hídrica

O conhecimento da demanda hídrica de culturas de inverno como a aveia é fundamental para sua produção racional sob diferentes condições climáticas, principalmente onde seu cultivo está condicionado ao emprego de irrigação complementar. Na literatura encontram-se apenas alguns trabalhos correlatos desenvolvidos com poucas variedades de aveia. No Brasil, por exemplo, trabalhando com aveia preta (*Avena strigosa*, Schreb), Ferreira *et al.* (1991) avaliaram a evapotranspiração da cultura em lisímetro e encontraram valores da ordem de 1 mm dia^{-1} para a fase inicial do desenvolvimento (1 à 10 dias) e de 4 mm/dia para a fase de pleno desenvolvimento vegetativo (51-60 dias), com produções de matéria seca em torno de 4 t ha^{-1} .

Outros trabalhos, como os de Shukla *et al.* (1988) e Rambir *et al.* (1991), desenvolvidos na Índia, com variedades de aveia branca, indicam demandas hídricas variáveis em função das variedades, sendo apresentados valores de Kc (coeficiente de cultura) entre 0,8 até 1,1. Quanto à profundidade de exploração radicular e extração de água do solo por essas variedades, há indicações de que o maior consumo ocorre na camada de 0 a 15 cm, região de maior densidade radicular (SHUKLA *et al.*, 1988), como também há indicações de que o consumo de água está bastante relacionado à profundidade das raízes (Ehlers *et al.*, 1991).

Ventos

Na cultura da aveia têm-se registrado perdas significativas e prejuízos na qualidade dos grãos, como consequência das lavouras acamadas (DEL DUCA & FONTANELI, 1995). Ventos podem provocar o acamamento da cultura da aveia branca, especialmente em variedades de porte alto em estágios de desenvolvimento avançados devido à massa e altura final de suas estruturas reprodutivas. Para minimizar este problema em áreas com alta incidência de ventos, deve-se lançar mão de cultivares de porte baixo, utilização de quebra-ventos, adequada nutrição nitrogenada e semeadura em faces opostas ao do vento predominante (BRINHOLI, 1995).

Solos, nutrição e adubação

A aveia branca tem a característica de se adaptar bem a diferentes tipos de solo. A cultura tolera solos ácidos até 4,5 de pH e solos alcalinos da ordem de 8,5 de pH, porém, seu desenvolvimento ótimo se dá com pH entre 5,0 e 6,0. O maior fator limitante em solos ácidos está associado à presença de alumínio tóxico, já que a cultura é suscetível aos danos causados por esse elemento, principalmente em seu sistema radicular. Castro (2009), estudando a aplicação de calcário e silicato de Ca e Mg em solos ácidos sob rotação de culturas, verificou que ambas as fontes de corretivos proporcionaram incrementos na produtividade de grãos de aveia branca pelo aumento do número de panículas por hectare e pelo aumento do número de grãos por panícula.

A aveia também não tolera solos salinos, assim como o trigo e a cevada, porém é um pouco mais tolerante que o sorgo. Quanto aos níveis de boro, a aveia branca não é tolerante a altas concentrações, porém este não é um problema na grande maioria dos solos brasileiros. Por outro lado, esta cultura se desenvolve em solos com teores de manganês prejudiciais a

outras culturas (WELCH, 1995), sendo uma alternativa viável para áreas de abertura de Cerrados, que possui solos com elevados índices de toxidez por Mn.

Quanto a diagnose foliar em aveia branca, estão estabelecidas faixas de teores considerados adequados de macro e de micronutrientes em folhas bandeiras (MARSHALL & SORRELLS, 1992; CAMARGO *et al.*, 1996), assim como dos teores presentes na forragem (PRIMAVESI *et al.*, 2000) e nos grãos (WELCH, 1995; CAMARGO *et al.*, 1996), o que serve de orientação quanto aos teores de nutrientes que podem vir a ser exportados, caso se faça a colheita da forragem ou apenas dos grãos.

As recomendações atuais indicam valores máximos de 70, 90 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, para condições de sequeiro (CAMARGO *et al.*, 1996), que, porém, são mais restritivas para a produção e a resposta à adubação. Porém, para a produção de forragem, Primavesi *et al.* (2005) verificaram que as doses de fertilizantes para máximo retorno econômico de matéria seca de aveia, produzida em quatro cortes consecutivos e com irrigação, foram, respectivamente, de 160, 180 e 180 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, no cultivo convencional, e de 200, 120 e 95 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, no sistema de plantio com cobertura de solo.

Épocas de semeadura e zoneamento agroclimático

Épocas de semeadura no sul do Brasil vai de março a junho, para a formação de pastagens, e de maio à julho para a produção de grãos. Nos estados da região sul do Brasil, a semeadura em regiões mais quentes e sujeitas a infestação com pulgões, deve-se semear a aveia branca depois do mês de abril.

Para as regiões Sudeste e Centro-Oeste, a semeadura vai da segunda quinzena de março à segunda quinzena de maio (PITOL, 1988), sendo o mais recomendado o mês de abril. Para fins de adubação verde, a semeadura deve ser realizada logo após a colheita da safra de verão ou da safrinha, podendo também ser recomendada a sobressemeadura no estágio de amadurecimento da cultura da soja, obtendo-se ótimos resultados de stand e germinação (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Mozzer *et al.* (1980), avaliando épocas quinzenais de semeadura de 07/05 até 16/07 verificou que até 02/07 as produtividades não diferiram entre só, porém à partir desta data elas dentem a decair.

Pereira (1985) estabeleceu o zoneamento agrícola considerando a temperatura média da região sendo igual ou inferior a 23 °C seja suficiente para suprir as necessidades de frio da cultura. Quanto a deficiência hídrica, a semeadura de aveia branca é viável em regiões em que o déficit hídrico chegue até 200 mm.

O mesmo autor ainda definiu três faixas de zoneamento agrícola para semeadura da cultura da aveia branca no período de outono-inverno.

Zona A: Apta hídrica e termicamente. “TA” inferior a 21 °C e “Dc” menor que 200 mm;

Zona B: Com restrição térmica ou hídrica. Apta para semeaduras tardias para receber as temperaturas mais baixas do inverno. “TA” entre 22-24 °C e “Dc” superior a 200 mm;

Zona C: Inapta por temperatura ou por deficiência hídrica. “TA” superior a 24 °C e “Dc” maior que 250 mm.

Índice de área foliar

Segundo Welch (1995) existe normalmente uma relação positiva entre o índice de área foliar e o rendimento de grãos. As investigações realizadas em cereais de inverno demonstram que o rendimento cresce com o aumento do índice de área foliar até um certo limite, para um

certo cultivar e para determinadas condições climáticas e técnicas de cultivo. A área foliar máxima se alcança antes do florescimento, no momento em que a última folha tenha emergido completamente. Em cereais a superfície foliar por unidade de área de superfície de solo, o índice de área foliar (IAF), próximo de 4, permite interceptar mais de 95% da radiação incidente. Segundo Lemerle *et al.* (2006) um aumento do IAF proporciona aumento de produção de biomassa, mas devido ao auto-sombreamento das folhas, a taxa fotossintética média por unidade de área foliar decresce.

Além de um IAF adequado, o rendimento de aveia também está relacionado com a duração da área foliar (DAF), especialmente a duração verde da folha bandeira. Welch (1995) demonstrou em estudos que o aumento da DAF após a antese pode ser de importante contribuição no aumento do rendimento de cultivares modernos de cereais, como aveia.

A duração da área foliar é especialmente importante durante o período de formação dos órgãos reprodutivos e na fase de formação dos grãos. Entre a elongação e a maturação do grão a duração da área foliar é uma medida aproximada da atividade fotossintética da planta. Muitos investigadores têm encontrado uma estreita relação entre o rendimento do grão e o valor da duração da área foliar. É importante salientar na cultura da aveia a área das panículas, especialmente das glumas, no rendimento final, devido ao seu tamanho, aumentando a área fotossintética, mas principalmente, em função do longo período que as mesmas se mantêm verdes e fotossinteticamente ativas (FLOSS, 2007).

Para Petr *et al.* (1988), os mesmos valores de IAF, mas com aumento da duração da área foliar verde (DAF), verifica-se um aumento na produção de grãos por área. Em experimentos realizados com cultivares de cevada de primavera, foram obtidos valores de DAF variando entre 1,56 a 2,27 dia⁻¹ ha⁻¹, resultando em rendimentos variando entre 4 a 5,8 t ha⁻¹.

A área foliar específica é um componente morfofisiológico e anatômico e relaciona a superfície com o peso de matéria seca da própria folha, sendo a superfície o componente morfológico e o peso do componente anatômico, pois envolve estruturas internas, como número ou tamanho das células do mesofilo foliar (BENINCASA, 1988).

Considerações finais

A grande adaptabilidade de aveia branca e seus múltiplos propósitos fazem dela uma espécie de extrema importância para a sustentabilidade de diversos sistemas de produção agrícola, porém para maximizar seus benefícios e obter lucratividade com a cultura, é necessário o conhecimento da ecofisiologia desta planta, ou seja, identificar as respostas apresentadas pela aveia a diferentes estímulos externos, para se conseguir manejar adequadamente todos os tratos culturais durante o ciclo produtivo da cultura, evitando riscos nas épocas mais sensíveis do desenvolvimento da planta e adequando os custos de produção à lucratividade da lavoura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, G.T. de; SCHUCH, L.O.B.; MAIA, M. de S.; *et al.* Análise do crescimento de aveia branca (*Avena sativa* L.) em cultivo companheiro com leguminosas forrageiras. **Revista Agronomia. Seropédica**, v. 38, n. 1, 2004, p.16-21.

ABREU, G.T. de; SCHUCH, L.O.B.; MAIA, M. de S.; *et al.* Produção de biomassa em consórcio de aveia branca (*Avena sativa* L.) e leguminosas forrageiras. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 1, 2005.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988, p.42.

BLACKSHAW, R. E.; MOLNAR, L. J.; JANZEN, H. H. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. **Weed Science**, v. 52, n. 4, p. 614-622, 2004.

BONNETT, O.T. **The oat plant: Its histology and development**. Illinois Agric. Station, 1961. 112p.

BRINHOLI, O. **Cultura da aveia (*Avena* spp)**. UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, p. 171, 1995.

BROUWER, J.B. Crop physiological approaches to increased productivity in oats. In: INTERNATIONAL OATS CONFERENCE, 2, Aberyswith, 1985. **Proceedings...** Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p.149-157.

CASTRO, G.S.A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999. 126 p.

CHRISTIANSEN, S.; SVEJCAR, T.; PHILLIPS, W.A. Spring and fall cattle grazing effects on components and total grain yield of winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.2, p.145- 150, 1989.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA – CBPA. Indicações técnicas para a cultura da aveia. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. 82 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 13 nov. 2009.

CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. 2 ed. Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas, U.S.A, 1988. 555 p.

DAVIDSON, D.J., CHEVALIER, P.M. Preanthesis tiller mortality in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.30, n.4, p.832-836, 1990.

DEL DUCA, L.J.A.; FONTANELI, R.S. Utilização de cereais de inverno em duplo propósito (forragem e grão) no contexto do sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p.177-180.

EHLERS, W.; HAMBLIN, A.P.; TENNANT, D.; PLOEG, R.R. VAN-der; Van der PLOEG, R.R. Root system parameters determining water uptake of field crops. **Irrigation Science**, Berlin, v. 12, n.3, p.115-24, 1991.

EVANS, L.T.; WARDLAW, I.F.; FISHER, R.A. Wheat. In: EVANS, L.T. (Ed.). *Crop physiology*. Londres: Cambridge Univ. Press. P. 101-149, 1980.

FERREIRA, A.G.; AQUILA, M.E.A.: Alelopatia. Cereais de estação fria (aveia), uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 2005. v. 11, p.175-204.

FLOSS EL, VÉRAS AL, FORCELINI CA, GOELLNER C, GUTKOSKI LC, GRANDO MF, BOLLER W. Programa de pesquisa de aveia da UPF “30 anos de atividades – 1977-2007”. www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=785

FRIEND, D.J.C.; HELSON, V.A.; FISHER, J.E. Leaf growth in marquis wheat, as regulated by temperature, light intensity, and day length. **Canadian Journal of Botany**, v. 40, p. 299-311, 1962.

FULCHER, R. G. Morfological and chemical organization of the oat kernel. In: WEBSTER, F. H. (ed). **Oats: chemistry and technology**. Minnesota, St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 47-74.

HARRY, W. Defoliation as a determinant of the growth, persistence and composition of pasture. In: **Plant relations in pastures**. Melbourne: Brisbane, 1976. p.67-85.

KLEPPER, B., RICKMAN, R.W., PETERSON, C.M. Quantitative characterization of vegetative development in small cereals grains. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, n.5, p.789-792, 1982.

LANGER, R.H.M. **How grasses grow**. Londres: Edward Arnold, 1972. 60p. (Studies in Biology, 34).

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 1.ed. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2000. 531p.
LEMERLE, D. et al. Incremental crop tolerance to weeds: a measure for selecting competitive ability in Australian wheats. **Euphytica**, v. 149, n. 1-2, p. 85-95, 2006.

LEMERLE, D. et al. Reliability of higher seeding rates of wheat for increased competitiveness with weeds in low rainfall environments. **Journal of Agricultural Science**, v. 142, n. 1, p. 395-409, 2004.

LEONARD K.J., MARTINELLI J.A. Virulence of oat crown rust in Brazil and Uruguay. **Plant Disease**, n.89, p.802-808, 2005.

LONGNECKER, N., KIRBY, E.J.M., ROBSON, A. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.33, n.1, p.154-160, 1993.

MARSHALL H. G. and SORRELLS M. E. **Oat science and technology**. American Society of Agronomy: Crop Science Society of America, Madison, p. 846, 1992.

MASLE, J. Competition among tillers in winter wheat: consequences for growth and development of the crop. In: DAY, W., ATKIN, R.K. (Eds.). **Wheat growth and modelling**. New York: Plenum, 1985. p.33-54.

MASLE, J.: Competition among tillers in winter wheat: consequences for growth and development of crops. In: Sheat Growth and Modelling. New York, **Plenum Press**. 407p. p.33-54 (NATO ASI Series A, Life Sciences; v86. Proceedings of a NATO sdvanced Research Workshop on Wheat Growth and Modelling).2005.

MOZZER, O.L.: CÓSER, A.C.: SOUZA, R.M. de; ALVIM, M.J. Efeito da época de plantio e da altura do corte na produção de aveia (*Avena sativa* L.) na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.9, n.4, p.537-548, 1980.

MUNDSTOCK, C. M.; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 205-211, 2001.

MUNDSTOCK, C.M. **Cultivo dos cereais de estação fria: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale**. Porto Alegre: Editora NBS, 1983. 265p.

O'MARA, J.G. Cytogenetics. In: COFFMAN, F.A. **Oats and oat improvement**. Wisconsin: ASOA, 1961. p.112-124.

OLIVEIRA, P. P. A.; PRIMAVESI, A. C.; CAMARGO, A. C. de. Recomendação da sobressemeadura de aveia em pastagens tropicais ou subtropicais irrigadas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico, 61).

PARSONS, A. J.; THORNLEY, J. H. M.; NEWMAN, J. A.; PENNING, P. D. A mechanistic model of some physical determinants of intake rate and diet selection in a two-species temperate grassland sward. **Functional Ecology**, v. 8, p. 187- 204, 1994.

PENNING de VRIES, EWT.; JANSEN, D.M.; TEM BERGE, H.F.M.; BAKEMA, A.H. Simulation of ecophysiological processes in several annual crops. Wageningen: PUDOC, 271 p., 1989.

PEREIRA, J.P. Aveia forrageira. Informe Agropecuário, v.6, p.59-70, 1985.

PETR, J.; GERNY, V.; HEUSKA, L. Yield formation in cereals. In: **Yield formation in the main yield crops**. New York, 1988, p. 72-153.

PITOL, C. A cultura da aveia no Mato Grosso do Sul. Maracaju: COTRIJUI, 1988. 34 p. (COTRIJUI. Boletim técnico, 2).

PRIMAVESI, A. C.; GODOY, R.; PRIMAVESI, O.; SOUZA, F. H. D. Avaliação de genótipos e recomendação de cultivares de aveia forrageira, para o ano de 2006, na região Sudeste. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 3 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico, 60).

PRIMAVESI, A.C.A.; PRIMAVESI, O.; GODOY, R. Teores e extração de nutrientes pela forragem de aveia, em função de doses de nitrogênio, no manejo de dois cortes e em duas épocas de plantio. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 75, n. 2, p. 197-220, 2000.

RAMBIR, S.; AMARJIT, S.; SINGH, R.; SINGH, A. Effect of irrigation regimes and nitrogen doses on oat (*Avena sativa*) varieties. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v.36 n.4, p.108-110, 1991.

SHAH, S.A., HARRISON, S.A., BOQUET, D.J., *et al.* Management effects on yield and yield components of lateplanted wheat. **Crop Science**, Madison, v.34, n.5, p.1298- 1303, 1994.

SHUKLA, N.P.; LAL, M.; LAL, R. Effect of soil moisture regimes and nitrogen management techniques on forage yield of oat. **Haryana Journal of Agronomy**, v.4, n.1, p.9-13; 1988.

TERRA-LOPES M.L., CARVALHO P.C.F., ANGHINONI I., SANTOS D.T., AGUINAGA A.A.Q., FLORES J.P.C., MORAES A. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, n.39, p.1499-1506, 2009.

WELCH R. W. **The oat crop: production and utilization**. Chapman & Hall. London, p. 584, 1995.