

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**CAMILA APARECIDA DA SILVA MARTINS**

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO COMUM CULTIVADO SOB  
DÉFICIT HÍDRICO**

**ALEGRE  
2013**

**CAMILA APARECIDA DA SILVA MARTINS**

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO COMUM CULTIVADO SOB  
DÉFICIT HÍDRICO**

Tese apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis.

**ALEGRE  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M386c Martins, Camila Aparecida da Silva, 1984-  
Crescimento e produção do feijoeiro comum cultivado sob déficit hídrico / Camila Aparecida da Silva Martins. – 2013.  
112 f. : il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.

Coorientadores: Marcelo Antonio Tomaz; Giovanni de Oliveira Garcia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Feijão comum. 2. Água disponível. 3. Capacidade de Campo 4. Potencial hídrico foliar I. Reis, Edvaldo Fialho dos. II. Tomaz, Marcelo Antonio. III. Garcia, Giovanni de Oliveira. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 63

---

**CAMILA APARECIDA DA SILVA MARTINS**

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO COMUM CULTIVADO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Tese apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

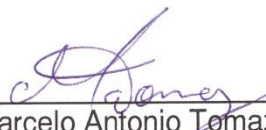
Aprovada em 22 de novembro de 2013.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



---

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



---

Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

Prof. Dr. Leandro Pin Dalvi  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

Dr.ª Cristiani Campus Martins Busato  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Campus Itapina

## **DEDICO**

Aos meus avós, Sebastião (*In Memoriam*) e Maria (*In Memoriam*), à minha mãe Maria José e a minha tia Ana Maria (*In Memoriam*), que sempre me deram apoio e exemplos de vida a seguir.

Ao meu esposo Luciano, pelo companheirismo e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e pela sabedoria, força e paciência concedidas para enfrentar os momentos difíceis durante a realização do curso.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade para realizar o curso.

À minha mãe Maria José e aos meus irmãos Gustavo e Jorgiane, pelo amor incondicional.

Ao meu esposo, Luciano Prado Martins, pelo incentivo, pela confiança, pela ajuda e paciência demonstradas ao longo de todo o curso.

Aos meus familiares e aos do meu esposo, pelos conselhos, carinho, incentivo e apoio.

Ao professor Orientador Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, pela orientação e conhecimentos transmitidos, pela amizade, pelo incentivo e paciência, essenciais para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Marcelo Antonio Tomaz, pela coorientação, pelas sugestões e ajuda durante a realização do trabalho.

Ao professor Dr. Giovanni de Oliveira Garcia, pela coorientação, pelo apoio e incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Leandro Pin Dalvi, pelo apoio.

À Dra. Cristiani Campos Martins Busato, pelas suas contribuições.

Aos professores Renato Ribeiro Passos, Edvaldo Fialho dos Reis, pela disponibilidade de laboratórios e equipamentos.

À minha amiga/mãe, Aparecida Almança, pela amizade, pelo carinho, pelos conselhos e convivência ao longo do curso.

Aos professores e funcionários do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), que contribuíram para a minha formação acadêmica.

Aos amigos e colegas de doutorado, pelo incentivo, pela amizade e pelo carinho demonstrado durante a realização do curso, em especial: Emanuel, Natiélia, Lilianne e Talita.

Aos amigos Eduardo, Hebert, Rogério, Paulo, Namara, José Maria e Marília, pela ajuda e pelo apoio durante a realização do trabalho.

À EPAMIG, por fornecer as sementes de feijão comum para a realização do trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Alegre, por disponibilizar os solos para a execução do trabalho.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Camila Aparecida da Silva Martins, filha de Maria José Lopes da Silva, nasceu em 21 de julho de 1984, no município de Bom Jesus do Itabapoana, Estado do Rio de Janeiro. Em 2002, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no Centro de Ciências Agrárias, em Alegre, concluindo-o em dezembro de 2006. Em fevereiro de 2007, iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal na UFES, diplomando-se em março de 2009. Em março de 2010, iniciou o curso de Doutorado em Produção Vegetal na UFES, na linha de pesquisa Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas, submetendo-se à defesa da tese em novembro de 2013.



## RESUMO

MARTINS, Camila Aparecida da Silva, D. Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Novembro de 2013; Crescimento e produção do feijoeiro comum cultivado sob déficit hídrico; Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis; Coorientadores: Marcelo Antonio Tomaz; Giovanni de Oliveira Garcia.

A disponibilidade de água é um dos principais fatores limitantes da produtividade do feijoeiro. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do déficit hídrico no potencial hídrico foliar antemanhã, crescimento e produção do feijoeiro comum cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo. Dois experimentos foram instalados no esquema fatorial 2 x 4, sendo a tensão para determinação da capacidade de campo em dois níveis ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa) e déficit hídrico no solo em quatro níveis ( $DH_1 = 0\%$ ,  $DH_2 = 20\%$ ,  $DH_3 = 40\%$  e  $DH_4 = 60\%$  da água disponível), num delineamento inteiramente casualizado com três repetições para cada solo. As avaliações de crescimento e produção foram realizadas em quatro fases fenológicas da cultura (V4, R5, R8 e R9) e os dados foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ). Quando significativos os resultados, o teste F ( $p \leq 0,05$ ) foi utilizado para o fator qualitativo e a análise de regressão para o fator quantitativo. As plantas submetidas à capacidade de campo determinada pela tensão de 0,010 MPa em ambos os solos, apresentaram maior turgescência. O acúmulo de massa seca total do feijoeiro sob  $DH = 60\%$  da AD foi reduzido a 45% e 49% em relação às plantas que não receberam déficit hídrico no Latossolo Vermelho-Amarelo e no Argissolo Vermelho-Amarelo, respectivamente. A produção de grãos sob  $DH = 60\%$  foi reduzida em média a 35% e 38% em relação às plantas que não receberam déficit hídrico no Latossolo Vermelho-Amarelo e no Argissolo Vermelho-Amarelo, respectivamente.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Tensão de água. Água disponível.

## ABSTRACT

MARTINS, Camila Aparecida da Silva Martins, D. Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; November, 2013; Growth and yield of common bean grown under available water; Advisor: Edvaldo Fialho dos Reis; Coadvisors: Marcelo Antonio Tomaz; Giovanni de Oliveira Garcia.

Water availability is one the main factors limiting the bean productivity. The objective of this study was to evaluate the effect of water deficit in the predawn leaf water potential, growth and yield of common bean cultivated in Oxisol and Ultisol. Two experiments were installed in factorial scheme of 2 x 4 with tension for the determination of field capacity on two levels ( $T_1 = 0.010$  MPa and  $T_2 = 0.033$  MPa) and soil water deficit on four levels (0; 20; 40 and 60% of the available water) in a completely randomized design with three replicates for each soil. Evaluations of growth and yield were held in four phenological stages of crop (V4, R5, R8 and R9) and the data were submitted to an analysis of variance ( $p \leq 0,05$ ). When significant results, the F Test ( $p \leq 0,05$ ) was used for the qualitative factor and regression analysis for the quantitative factor. The plants submitted to field capacity determined by tension MPa of 0.010 in both soils, presented higher turgor. The accumulation of total dry matter of bean under 60% of soil water deficit was reduced to 45% and 49% in relation to the plants that didn't receive water deficit in Oxisol and Ultisol, respectively. The grain yield under 60% water deficit was reduced on average of 35% and 38% in relation to the plants that didn't receive water deficit in Oxisol and Ultisol, respectively.

Keywords: *Phaseolous vulgaris*. Water tension. Water available.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 IMPORTÂNCIA E FENOLOGIA DO FEIJOEIRO.....	14
<b>2.1.1 Sistemas de Cultivo do Feijoeiro</b> .....	15
2.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA O CULTIVO DE FEIJÃO .....	16
<b>2.2.1 Disponibilidade de Água e Desenvolvimento do Feijoeiro</b> .....	17
<b>2.2.2 Respostas Ecofisiológicas do Feijoeiro ao Déficit Hídrico</b> .....	18
2.3 RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	21
2.4 ÁGUA NO SOLO DISPONÍVEL ÀS PLANTAS .....	23
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
3.1 LOCALIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	25
<b>3.1.1 Calagem e Adubação</b> .....	26
<b>3.1.2 Plantio</b> .....	27
<b>3.1.3 Monitoramento do Teor de Umidade das Parcelas</b> .....	28
<b>3.1.4 Determinação das Curvas de Retenção de Água</b> .....	29
<b>3.1.5 Lâminas de Irrigação</b> .....	29
<b>3.1.6 Determinação do Potencial Hídrico Foliar Antemanhã</b> .....	30
<b>3.1.7 Análises de Crescimento</b> .....	31
<b>3.1.8 Avaliação dos Componentes de Produção</b> .....	32
<b>3.1.9 Análises Estatísticas</b> .....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
4.1 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	33
4.2 POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ.....	37
4.3 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO.....	55
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	99
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	100
<b>APÊNDICES</b> .....	106

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui um dos principais produtos da agricultura familiar brasileira, cultivado em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões do País, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial e principal consumidor dessa cultura (LOPES et al., 2011). Os principais Estados produtores de feijão comum são Paraná, Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Bahia, os quais respondem por mais de 65% da produção nacional (CONAB, 2013).

O cultivo do feijoeiro em áreas de clima tropical faz com que as plantas estejam expostas à ocorrência de altas temperaturas, pelo menos, em alguma fase fenológica da cultura (GUIMARÃES et al., 2011). Nesse contexto, o aumento na atividade respiratória, a redução na taxa de assimilação de gás carbônico, o aumento de biomassa, a redução de ciclo e a redução na produtividade de grãos são alguns efeitos provocados por altas temperaturas associadas a um período de déficit hídrico (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

A redução na produtividade de grãos decorrente de altas temperaturas tem sido relacionada à esterilidade do grão de pólen, a redução na taxa de fertilização das flores e ao abortamento de flores e vagens (GUIMARÃES et al., 2011). Além disso, os processos fisiológicos de importância para o vegetal, tais como: transpiração, fotossíntese, respiração, crescimento e produtividade são influenciados pelas mudanças ocorridas no estado hídrico das folhas (ENDRES et al., 2010).

O feijoeiro apesar de possuir ampla adaptação e distribuição geográfica é uma cultura relativamente exigente no que diz respeito às condições edafoclimáticas. Por isso, o conhecimento sobre as características agroclimáticas, as exigências e as limitações do feijoeiro são importantes para a escolha de uma área onde a cultura possa desenvolver e produzir satisfatoriamente, aproveitando ao máximo o potencial do cultivar utilizado em respostas à adubação e ao benefício de outras práticas ou tecnologias empregadas na agricultura, como por exemplo, a irrigação (VALE et al., 2012).

A disponibilidade de água é um dos principais fatores limitantes para a produtividade do feijoeiro comum, pois o rendimento da cultura é afetado pela condição hídrica do solo, pois a deficiência ou excesso de água no solo, nas diferentes fases fenológicas da cultura, causa redução na produtividade em diferentes proporções (MIORINI; SAAD; MENEGALE, 2011). Nesse contexto, torna-se imprescindível o estudo do sistema solo-água-planta-atmosfera para um melhor entendimento da resposta da cultura aos níveis de déficit hídrico que ocorrem durante o seu desenvolvimento (LOPES et al., 2011).

O efeito da restrição hídrica no desenvolvimento das plantas já foi objeto de pesquisas realizadas por Endres e outros (2010), Nascimento e outros (2011) e Catuchi e outros (2012). Dados da literatura mostram que a avaliação do grau de hidratação das plantas quando submetidas ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas evidencia a ocorrência de reduções significativas no potencial hídrico foliar, na condutância estomática e na transpiração foliar, com consequente aumento da temperatura foliar (ENDRES et al., 2010).

Miorini, Saad e Menegale (2011), ao avaliarem o efeito da supressão da irrigação em uma das fases fenológicas do feijoeiro comum em comparação com a irrigação em nenhuma e em todas as fases, constataram que a ocorrência de estresse hídrico durante as fases de desenvolvimento vegetativo e floração causam reduções significativas nos componentes de produção.

Mas, com relação à disponibilidade de água do solo e o potencial de água na folha do feijoeiro comum, as pesquisas são incipientes e existe carência de informações, principalmente, para o cultivar Ouro Negro, apesar de existir um número considerável de trabalhos na literatura sobre a influência do déficit hídrico no potencial hídrico foliar, crescimento e nos componentes de produção em plantas de feijão-caupi (NASCIMENTO et al. 2011).

Nesse sentido, é necessário intensificar os estudos sobre a capacidade de resposta da cultura aos níveis de déficit hídrico no solo, a eficiência do uso da água pela cultura e a quantidade de água que propicia melhor desempenho da cultura sem comprometer os custos de produção.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do déficit hídrico sobre o potencial hídrico foliar antemanhã, sobre o crescimento e a produção do feijoeiro comum cultivado em dois solos (Latosolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo) em casa de vegetação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 IMPORTÂNCIA E FENOLOGIA DO FEIJOEIRO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas de grande importância socioeconômica para o Brasil, segundo maior produtor e principal consumidor mundial, com produção de 2,8 milhões de toneladas na safra 2012/2013 e área cultivada na ordem de 3 milhões de hectares (CONAB, 2013).

Os principais Estados produtores de feijão comum são Paraná, Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Bahia, os quais respondem por mais de 65% da produção nacional, com rendimento médio de 910 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013). Esse baixo rendimento é resultante de diversos fatores, tais como, não utilização de sementes geneticamente melhoradas, cultivo em solos de baixa fertilidade, ocorrência de precipitações irregulares, não utilização de irrigação ou seu manejo inadequado.

O feijão comum constitui um dos principais produtos da agricultura familiar brasileira, cultivado em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões do País, com fenologia que divide o ciclo biológico nas fases vegetativas e reprodutivas (LOPES et al., 2011).

A fase vegetativa do desenvolvimento do feijoeiro é constituída pelos seguintes estádios: V0 – Germinação; V1 – Emergência; V2 – Folhas primárias expandidas; V3 – Abertura da primeira folha trifoliolada em 50% das plantas; e V4 – Abertura da terceira folha trifoliolada em 50% das plantas. A fase reprodutiva é composta pelos estádios: R5 – Prefloração; R6 – Floração; R7 – Formação das vagens; R8 – Enchimento das vagens; e R9 – Maturação fisiológica (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

### 2.1.1 Sistemas de Cultivo do Feijoeiro

Com diferentes denominações, o feijoeiro comum pode ser cultivado em quatro épocas distintas de semeadura em função das condições climáticas: cultivo de primavera-verão ou plantio de primavera; cultivo de verão-outono ou plantio de verão; cultivo de outono-inverno ou plantio de outono; e cultivo de inverno-primavera ou plantio de inverno (ARAÚJO; FERREIRA, 2006).

De acordo com Paula Júnior e outros (2007), no cultivo de primavera-verão (“feijão das águas”), a semeadura é realizada no início do período chuvoso (outubro-novembro) e a colheita no verão (janeiro-fevereiro), sendo dispensável o uso da irrigação. Enquanto que no cultivo de verão-outono (“feijão da seca”) o plantio é realizado em fevereiro-março e a colheita no outono (maio-junho); e no cultivo de outono-inverno (“feijão de inverno”), a semeadura é realizada de abril a junho e a colheita entre julho e outubro, sendo necessário o uso da irrigação.

O desenvolvimento de cultivares mais resistentes à incidência de pragas e doenças, aliada a evolução das práticas culturais e à adoção de tecnologias pelos agricultores brasileiros, permitiu expressivo aumento em produtividade, que saiu de patamares de 500 kg ha<sup>-1</sup> de média nacional, no final da década de 1970, para 910 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2012/2013. Em alguns Estados brasileiros, onde se utilizam alto nível de tecnologia (irrigação e fertilizantes nitrogenados), a produtividade média é superior a 2.000 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013).

Vale ressaltar que apenas o acesso à tecnologia não proporciona a sustentabilidade da produção agrícola, que depende do conhecimento técnico-científico sobre as tecnologias disponíveis no mercado para atender adequadamente a demanda hídrica e a exigência nutricional da cultura.



## 2.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA O CULTIVO DE FEIJÃO

A água é o fator fundamental no cultivo de feijão e de outras espécies vegetais. Tendo em vista que tanto o déficit quanto o excesso de água no solo afetam de forma decisiva o desenvolvimento das plantas, dessa forma torna-se imprescindível o manejo racional da água na agricultura para maximizar a produção agrícola de forma sustentável (REICHARDT; TIMM, 2004).

É importante destacar que o crescimento das plantas depende, em termos gerais, da divisão, do desenvolvimento e da expansão celular, processos esses sensíveis ao déficit hídrico, principalmente na fase de alongamento celular. Após esta fase, a célula se encontra preparada para expandir, desde que haja pressão hidrostática no interior da célula ou de turgor (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A água, além de ser o principal constituinte do protoplasma, participa diretamente de inúmeras reações químicas, responsáveis pela turgescência celular. A redução da absorção de água e a consequente desidratação das células comprometem os processos fisiológicos afetando, assim, todos os componentes de crescimento. Dessa forma, a perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, em consequência, na redução da área foliar. Nesse caso, a limitação na área foliar pode ser considerada uma primeira reação das plantas ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A água necessária durante o ciclo do feijoeiro varia de 300 a 600 milímetros, por causa da evapotranspiração da cultura que difere de uma espécie para outra devido à arquitetura foliar (ângulo da folha, altura e densidade), às características das folhas (número de estômatos e horas de sua abertura) e à duração do ciclo e da época de cultivo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009). Segundo Reichardt e Timm (2004), cerca de 98% da água necessária passam pela planta, perdendo-se posteriormente na atmosfera pelo processo de transpiração. Contudo, esse fluxo de água é necessário para o desenvolvimento da planta.

### **2.2.1 Disponibilidade de Água e Desenvolvimento do Feijoeiro**

O rendimento do feijoeiro vai depender da condição hídrica do solo, que temporariamente armazena a água, podendo fornecê-la às plantas de acordo com as suas necessidades. Nesse contexto, verifica-se que deficiências ou excessos de água, nas diversas fases do ciclo da cultura, causam redução na produtividade em diferentes proporções (MIORINI; SAAD; MENEGALE, 2011).

Os efeitos do déficit hídrico são inicialmente manifestados quando a taxa de evapotranspiração é maior do que a de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para as partes aéreas da planta. Assim, reduções na produção de massa seca, fechamento dos estômatos, aumento da temperatura foliar e alterações na fotossíntese ocorrem quando há déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Durante o desenvolvimento do feijoeiro a atividade fotossintética por área foliar aumenta com a idade da folha, até a sua expansão máxima, decrescendo posteriormente, até a sua senescência (MENDES et al., 2007). Entretanto, segundo Barreto e outros (2009), o déficit hídrico poderá paralisar o crescimento foliar, tendo efeito indireto no rendimento de grãos, devido à redução da área foliar fotossinteticamente ativa.

Nóbrega e outros (2001), ao analisarem o crescimento do feijoeiro submetido a quatro lâminas de irrigação (80, 160, 320 e 140,2 mm de água) distribuídas durante o ciclo da cultura, observaram que, na 1ª fase de avaliação (aos 37 dias após a semeadura - DAS), o crescimento inicial da fitomassa total foi lento, pelo fato desta fase compreender o período em que a taxa de absorção de água e nutrientes é pequena para ativar os processos fisiológicos do crescimento, que exigem atividades metabólicas aceleradas.

Verificaram ainda que, na 2ª fase (37 - 45 DAS), o crescimento da fitomassa total foi mais rápido, porque nesta fase (floração), já estão formados o caule principal, os ramos e as folhas trifolioladas, bem como as tríades de gemas na axila de cada folha.

Os mesmos autores observaram, na 3ª fase de avaliação (45 - 67 DAS), a ocorrência de dois períodos distintos: um onde o crescimento se torna mais intenso, atingindo o máximo aos 59 DAS, e outro em que a planta inicia o processo de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de biomassa. A partir daí, começou a prevalecer os fenômenos de translocação, em substituição ao de crescimento.

Nesse contexto, verificaram que a redução progressiva de água, imposta aos tratamentos, provocou uma redução na fitomassa total no final do experimento, o que impôs uma redução na fotossíntese.

### **2.2.2 Respostas Ecofisiológicas do Feijoeiro ao Déficit Hídrico**

Quanto às respostas ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do feijoeiro, Oliveira e outros (2008) observaram que, de forma geral, a cultura é sensível durante a floração e o início de formação da vagem, embora responda também no período de enchimento do grão e, em menor escala, no crescimento vegetativo.

Guimarães e outros (2011), ao avaliarem diferentes genótipos de feijoeiro comum sob déficit hídrico, verificaram que as produtividades médias dos dois anos de condução (2006 e 2007) dos experimentos foram de 863 e 2.084 kg ha<sup>-1</sup>, com e sem déficit hídrico, respectivamente. Portanto, os genótipos sofreram uma redução média de 58,6% da produtividade devido ao déficit hídrico e a ocorrência de altas temperaturas registradas durante o desenvolvimento das plantas.

Os mesmos autores constataram que a produtividade dos genótipos em condições de déficit hídrico diminuiu com o aumento da temperatura das folhas e que a cada

grau de aumento resultou em 20 kg ha<sup>-1</sup> de redução na produtividade dos genótipos. Portanto, os genótipos que apresentaram temperaturas foliares menores produziram mais porque apresentaram também o melhor estado hídrico, que pode estar associado tanto a mecanismos de contenção excessiva de perda de água como de melhor eficiência na absorção de água.

O déficit hídrico reduz a produção de grãos devido à esterilidade do grão de pólen, à redução na taxa de fertilização das flores, ao abortamento de flores e vagens, associado à redução da massa de grãos e do número de vagens que as plantas apresentam após o período de déficit hídrico prolongado (GUIMARÃES et al., 2011). Isso pode ser minimizado, desde que o balanço hídrico no interior da planta seja mantido em nível apropriado para não afetar os processos fisiológicos (BARRETO et al., 2009).

Nesse contexto, o potencial hídrico foliar pode ser utilizado como indicador do balanço interno de água na cultura, visto que caracteriza o estado energético e influencia o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera conduzido por diferenças de potenciais (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, o potencial hídrico foliar antemanhã, medido antes do nascer do sol, quando a planta não está transpirando, é uma variável que pode ser utilizada para indicar o armazenamento de água no solo, uma vez que há tendência de equilíbrio entre o potencial de água na folha e no solo, devido ao fechamento dos estômatos (BARRETO et al., 2009).

Miorini, Saad e Menegale (2011), ao avaliarem o efeito da supressão da irrigação em uma das fases fenológicas do feijoeiro comum, em comparação com a irrigação em nenhuma e em todas as fases, constataram que a ocorrência de estresse hídrico durante as fases de desenvolvimento vegetativo e floração causam reduções significativas nos componentes de produção.

As plantas respondem de formas diferenciadas a ocorrência de déficit hídrico, pois estas respostas variam de acordo com o genótipo, o tempo de exposição, o estágio de desenvolvimento da planta e as condições edafoclimáticas.

Nesse sentido, as respostas das espécies vegetais ao déficit hídrico podem ser avaliadas por meio de diversas variáveis fisiológicas, tais como: potencial hídrico foliar, condutância estomática, temperatura e transpiração foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O efeito do déficit hídrico em vários processos fisiológicos das plantas já foi objeto de pesquisas realizadas por Tatagiba e outros (2008), Oliveira e outros (2009), Endres e outros (2010), Nascimento e outros (2011) e Catuchi e outros (2012). Dados da literatura mostram que a avaliação do grau de hidratação das plantas quando submetidas ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas evidencia a ocorrência de reduções significativas no potencial hídrico foliar, na condutância estomática e na transpiração foliar, com conseqüente aumento da temperatura foliar (ENDRES et al., 2010).

Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005) observaram que em plantas de feijão comum o déficit hídrico reduz a condutância estomática e aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, o que reduz a transpiração e a assimilação de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese. De acordo com Larcher (2006), os estômatos agem como moduladores da perda de água pela transpiração respondendo a restrição hídrica com a mudança de abertura do poro a uma faixa crítica de valores de potencial hídrico foliar que depende dos tipos de solo e de vegetação.

Na literatura há carência de informações sobre o efeito da disponibilidade de água no potencial hídrico foliar antemanhã, o crescimento e a produtividade do feijoeiro comum, apesar de existir um número considerável de trabalhos sobre a influência do déficit hídrico no potencial hídrico foliar, crescimento e nos componentes de produção em plantas de feijão-caupi (MENDES et al., 2007; NASCIMENTO et al. 2011) e de outras culturas de importância agrícola, tais como: café Conilon (BARRETO et al., 2009) e milho (MARTINS et al., 2010).

### 2.3 RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A capacidade do solo de armazenar água é expressa pela retenção de água, que é uma característica específica para cada tipo de solo, que pode ser representada graficamente pela confecção da curva de retenção de água com o ajuste de modelos matemáticos que consideram o conteúdo de água do solo submetido a diferentes tensões (JORGE; CORÁ; BARBOSA, 2010).

De acordo com Costa, Oliveira e Kato (2008), a determinação da curva de retenção de água ou curva característica de água do solo é importante na área de irrigação e nos estudos de movimento da água no solo, pois propicia condições necessárias para a determinação do teor de água disponível no solo, do teor de água atual e de outras variáveis necessárias à execução do manejo da irrigação e à quantificação dos processos dinâmicos envolvendo o sistema solo-água-planta-atmosfera.

A quantidade de água retida no solo em determinada tensão é resultado da ação conjunta de vários fatores, tais como: textura, mineralogia e estrutura do solo. Nesse contexto, diversos trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de analisar a influência das propriedades físicas do solo na capacidade de retenção de água. Entre os quais estão os trabalhos desenvolvidos por Klein e outros (2010); Santos e outros (2011); Casini e outros (2012).

Para Troeh e Thompson (2007), a textura do solo tem um efeito considerável na capacidade de retenção de água no solo porque a água é retida firmemente na superfície das partículas dos solos e nos pequenos poros entre as partículas. Carducci e outros (2011) relatam que solos de textura fina apresentam maior capacidade de armazenamento de água porque possuem maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e superfície de adsorção maior que os solos de textura mais grossa.

De acordo com Klein (2008), a retenção de água na matriz do solo é governada por forças capilares e forças de adsorção, as quais são denominadas de “forças mátricas”, que dão origem ao termo potencial mátrico da água no solo.

Em elevados teores de água (baixas tensões) onde os fenômenos de capilaridade assumem grande importância na determinação do potencial mátrico, a curva de retenção de água fica na dependência da disposição e do tamanho dos poros, ou seja, a curva é função da estrutura do solo; em situações de baixos teores de água (altas tensões), o potencial mátrico praticamente independe dos fatores geométricos, sendo a estrutura de pouca importância em sua determinação (REICHARDT, 1990).

A quantidade de água presente em uma tensão do solo específica varia consideravelmente de um solo para outro devido aos atributos físicos dos mesmos. Sendo válido ressaltar que solos com grande quantidade de argila e matéria orgânica retêm mais água do que solos com menores quantidades desses componentes (KLEIN, 2008).

Os resultados obtidos por Chiu, Yan e Yuen (2012) mostram que a curva de retenção de água no solo representa a capacidade de armazenamento de água de um solo em função de uma mudança no potencial matricial, o que é importante para a análise de percolação da água no solo, considerando a composição granulométrica das partículas minerais presentes no solo (areia, silte, argila).

Na literatura existem diferentes modelos matemáticos para ajustar a curva de retenção de água do solo. Segundo Tormena e outros (2008), o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980) é o mais utilizado para prever os parâmetros que descrevem a curva de retenção de água, determinada em laboratório com “câmaras de pressão”, funil de “Bukner” ou um psicrômetro (WP4-T), utilizando-se amostras de solos deformadas ou indeformadas. Os parâmetros empíricos de ajuste ( $\alpha$ ,  $n$  e  $m$ ) da equação de Van Genuchten podem ser obtidos com o auxílio do *software* SWRC – *Soil Water Characteristic Curve* (DOURADO NETO et al., 2000).

## 2.4 ÁGUA NO SOLO DISPONÍVEL ÀS PLANTAS

A água do solo não é estática, mas dinâmica, movimentando-se em função do gradiente de seu potencial entre dois pontos quaisquer no solo. Nesse contexto, o conceito de água disponível (AD) às plantas, classicamente definida como uma característica estática que representa a quantidade de água que um solo pode reter ou armazenar entre a “capacidade de campo” ( $C_c$ ) e o “ponto de murcha permanente” ( $P_m$ ), é indispensável para o correto manejo da água e orientação de projetos de irrigação em qualquer região (KLEIN, 2008).

Para Fidalski e outros (2010), a definição de água disponível pressupõe que a água do solo entre as umidades correspondentes à saturação e à capacidade de campo não é disponível às plantas, indo perder-se nas partes mais profundas do perfil do solo, por ação da gravidade.

Em verdade, esta água, erroneamente designada de gravitacional, muitas vezes é absorvida pelas plantas. Só em casos de solos muito permeáveis, submetidos a irrigações ou chuvas excessivas, com culturas de sistema radicular pouco profundo, muita água é perdida por percolação, mas, mesmo assim, não existe um intervalo fixo de umidade para definir a água perdida por percolação profunda. Não obstante, o conceito clássico de água disponível nos dá um critério para caracterizar o solo quanto à sua capacidade de armazenar água (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009).

A capacidade de campo ( $C_c$ ) é definida como a quantidade de água retida pelo solo, depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis com estrutura e textura uniformes. O ponto de murcha permanente ( $P_m$ ) é o teor de água do solo no qual as plantas experimentam perdas de turgescência das folhas e não se recuperam quando colocadas em um ambiente escuro e saturado (KLEIN, 2008).



À medida que se aproxima do ponto de murcha permanente, o fenômeno de retenção de água pelo solo não pode mais ser explicado pela ação da força capilar ou tensão superficial, pois a água é retida pela ação da força de adsorção entre a partícula de solo e as moléculas de água, porém não há nítida transição entre um tipo de retenção e outro (KLEIN, 2008).

A tensão correspondente à capacidade de campo, dependendo do tipo de solo, pode variar de 1/20 a 1/3 de atm. Em solos típicos do cerrado é comum encontrar a  $C_c$  com valores de 1/20 de atm; em solos arenosos, 1/10 de atm; e em solos de textura fina, 1/3 de atm. O teor de umidade do solo na  $C_c$  pode variar de menos de 8%, em peso, em solos arenosos e até mais de 30% em solos argilosos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009).

Tendo em vista que a umidade do solo é um dos fatores limitantes da produtividade agrícola, várias pesquisas foram desenvolvidas para associar a capacidade de campo com a quantidade de água retida no solo em equilíbrio com as tensões de 0,01 MPa e 0,033 MPa. Mas, de acordo com Dardengo, Reis e Passos (2010), ainda não existe um consenso na literatura quanto à tensão adequada a ser utilizada para determinar a capacidade de campo para diferentes solos, quando se utiliza o extrator de Richards.

O  $P_m$  é uma grandeza física de um solo, estimado pelo teor de água retida na tensão de 1,5 MPa, que representa o teor de água mínima disponível no solo para o desenvolvimento das plantas. A retenção da água no solo no potencial de 1,5 MPa ( $P_m$ ) é pouco afetada pela estrutura e, sim, dependente da textura do solo. Por isso, o ajuste da umidade volumétrica em função da densidade do solo é satisfatório (KLEIN, 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo em Alegre-ES, situada a uma altitude de 119 m, com coordenadas geográficas 20° 45' 2,3" de latitude Sul e 41° 29' 17,7" de longitude Oeste. O clima predominante na região é do tipo Cwa (clima subtropical, quente e úmido no verão e seco no inverno), conforme classificação de Köppen, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23 °C.

Para a realização deste trabalho, foram instalados dois experimentos, no esquema fatorial 2 x 4, sendo a tensão para determinação da capacidade de campo em dois níveis ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa) e déficit hídrico no solo em quatro níveis ( $DH_1 = 0\%$ ,  $DH_2 = 20\%$ ,  $DH_3 = 40\%$  e  $DH_4 = 60\%$  da água disponível no solo), num delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e avaliações em quatro fases fenológicas da cultura (V4, R5, R8 e R9), para cada experimento, totalizando 192 unidades experimentais.

O experimento 1 foi instalado em vasos utilizando-se um Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico de textura argilosa (LVA) e o experimento 2 foi instalado em vasos utilizando-se um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (PVA).

Foram coletadas amostras superficiais de um LVA e PVA, em áreas cultivadas com sistema agroflorestal (plantio de café Conilon entre eucalipto) e pastagem, respectivamente, no município de Alegre-ES. O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e realizado sua caracterização física e química (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1** - Atributos físicos do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Solo	Granulometria <sup>(1)</sup>			Ds <sup>(2)</sup>	Dp <sup>(3)</sup>	P <sub>T</sub> <sup>(4)</sup>
	Areia	Silte	Argila			
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			----- kg dm <sup>-3</sup> -----		-- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> --
LVA	432	172	396	1,22	2,21	0,448
PVA	633	67	298	1,26	2,40	0,475

<sup>(1)</sup> Método da Pipeta (Agitação Lenta): Areia ( $\varnothing > 0,05$  mm); Silte ( $\varnothing$  de 0,05 - 0,002 mm); Argila ( $\varnothing < 0,002$  mm); <sup>(2)</sup> Ds = Massa específica do solo: Método da Proveta; <sup>(3)</sup> Dp = densidade de partículas: Método do Balão Volumétrico; e <sup>(4)</sup> P<sub>T</sub> = Porosidade Total:  $1 - (Ds/Dp)$  (EMBRAPA, 1997).

**Tabela 2** - Atributos químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Solo	pH	MO (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	H + Al	SB	CTC	V
					----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					(%)
LVA	5,03	19,4	13,77	96,00	1,29	0,80	1,65	2,33	3,98	58,54
PVA	4,78	16,3	4,86	41,00	0,75	0,59	2,23	1,45	3,67	39,51

Extração e determinação: pH em água (1:2,5); MO: dicromato de potássio (1 mol L<sup>-1</sup>) e titulação pelo sulfato ferroso (0,5 mol L<sup>-1</sup>); P: Mehlich-1 e colorimetria; K: Mehlich-1 e espectrofotometria de chama; Ca e Mg: KCl (1 mol L<sup>-1</sup>) e espectrometria de absorção atômica; Al: KCl (1 mol L<sup>-1</sup>) e titulometria; e H + Al: acetato de cálcio (0,5 mol L<sup>-1</sup>) (EMBRAPA, 1997).

### 3.1.1 Calagem e Adubação

Após as análises dos solos, os mesmos foram separados em amostras de 7 dm<sup>3</sup> e acondicionadas em sacos plásticos onde foram incubadas por 28 dias com a aplicação de 2 e 5 gramas de calcário dolomítico (PRNT = 96%) no LVA e no PVA, respectivamente, com base nas análises químicas dos solos (Tabela 3), de acordo com a metodologia proposta por Prezotti e outros (2007). Durante a incubação as amostras de solos foram mantidas a umidade de 60% do volume total de poros (VTP), de acordo com Freire e outros (1980). Foram realizadas pesagens diárias para reposição das perdas de água do solo.

Após o período de incubação, as amostras foram secas à sombra e homogeneizadas em peneira de malha 2 mm, para realização da adubação de plantio e condução (cobertura) de acordo com a metodologia proposta por Novais, Neves e Barros (1991).

### **3.1.2 Plantio**

Em seguida, as amostras de solos foram colocadas em vasos plásticos com capacidade para 8 dm<sup>3</sup> e efetuou-se a adubação de plantio, uma semana antes do plantio, com a aplicação de 4 gramas de sulfato de amônio (21%), 13 gramas de superfosfato simples (19%) e 2 gramas de cloreto de potássio (58%), em cada vaso.

Posteriormente, realizou-se o plantio das sementes de feijão comum, cultivar Ouro Negro, pertencente ao grupo comercial do tipo preto, com hábito de crescimento indeterminado III, porte prostrado, ciclo de 80 - 100 dias, que se sobressai no cultivo irrigado de outono-inverno (PAULA JÚNIOR et al., 2007).

O plantio das sementes nos vasos foi realizado no dia 28 de junho de 2012. Foram semeadas três sementes por vaso e aos 10 dias após o plantio foi realizado um desbaste para permanecer uma planta por vaso.

Para garantir o estabelecimento das plantas, os vasos foram irrigados diariamente durante 10 dias. Em seguida, foram definidos os tratamentos e as plantas cultivadas por um período de 85 dias (08/07/2012 a 30/09/2012), totalizando 95 dias.

Aos 30 e 60 dias após o plantio efetuou-se uma adubação de cobertura com 4 gramas por vaso de sulfato de amônio e 2 gramas por vaso de cloreto de potássio para cada solo.

### 3.1.3 Monitoramento do Teor de Umidade das Parcelas

Inicialmente, realizou-se a padronização da massa de solo, planta e umidade de todos os vasos após o plantio das sementes. Após o período destinado ao estabelecimento das plantas, retirou-se amostra de solo dos vasos para a determinação da umidade pelo método termogravimétrico (EMBRAPA, 1997), sendo reposta a mesma quantidade de solo do vaso. Posteriormente, procedeu-se a elevação do teor de umidade do solo ( $U_{GA}$ ) à capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa pelo extrator de Richards, com posterior pesagem dos vasos.

As lâminas de irrigação ( $L_I$ ) foram multiplicadas pela área média do vaso ( $\bar{A}_V$ ) determinada pela seguinte expressão:  $\bar{A}_V = h \cdot (B + b)/2$ , em que  $h$  é altura,  $B$  a base maior e  $b$  a base menor do vaso ( $\bar{A}_V = 0,045 \text{ m}^2$ ), para serem expressas em volume ( $\text{ml vaso}^{-1}$ ). Além disso, o estabelecimento e o controle do teor de umidade das parcelas foram realizados diariamente sempre no intervalo das 7:00 às 8:00 horas, pelo monitoramento da massa de cada unidade experimental, incluindo solo, planta e umidade.

Após o estabelecimento da massa de cada unidade experimental e correspondente umidade do solo na capacidade de campo determinada pela  $T_1$  (0,010 MPa), foram determinadas as massas dos vasos na capacidade de campo determinada pela  $T_2$  (0,033 MPa), e os déficits hídricos de 20, 40 e 60% da água disponível para todos os níveis de tensão utilizados na determinação da capacidade de campo dos solos em estudo. Para obter os teores de umidade de cada unidade experimental, realizou-se o monitoramento da umidade do solo e pesagem dos vasos a cada 12 horas.

### 3.1.4 Determinação das Curvas de Retenção de Água

As curvas de retenção de água dos solos, obtidas por secamento, foram determinadas a partir de amostras deformadas previamente peneiradas, conforme preconizado pela EMBRAPA (1997). Após o período de saturação de 12 horas, as amostras foram colocadas no extrator de Richards com placa porosa para estabilização, adotando-se um tempo não inferior a três dias e posterior determinação da umidade gravimétrica ( $U_g$ ), correspondente às tensões de: 0,006; 0,010; 0,033; 0,08; 0,10; 0,30; 0,50; 1,0 e 1,5 MPa, com três repetições.

A umidade volumétrica ( $\theta$ ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo ( $\theta = U_g \cdot D_s$ ). Os valores médios de umidade volumétrica dos pontos da curva de retenção de cada solo foram ajustados utilizando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980).

Os valores de umidade volumétrica observados na curva de retenção de água de cada solo para a capacidade de campo ( $C_c$ ) determinada nas tensões de 0,010 MPa ( $T_1$ ) e 0,033 MPa ( $T_2$ ), e para o ponto de murcha permanente ( $P_m$ ) na tensão de 1,5 MPa, foram utilizados para determinar a água disponível, de acordo com a metodologia preconizada por Bernardo, Soares e Mantovani (2009). Em seguida, foram definidas as umidades referentes aos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% da água disponível ( $DH = 20, 40$  e  $60\%$ ), destinadas ao cálculo das lâminas de irrigação para os solos em estudo.

### 3.1.5 Lâminas de Irrigação

Na ausência de déficit hídrico ( $DH = 0\%$ ), a umidade do solo era mantida próxima à capacidade de campo e a lâmina de irrigação ( $L_i$ ) foi determinada pela seguinte expressão:  $L_i = AD \cdot V_s$ , onde  $AD$  é água disponível no solo e  $V_s$  o volume de solo do vaso ( $0,007 \text{ m}^3$ ).

Entretanto, as lâminas de irrigação a serem aplicadas para elevar o teor de umidade do solo ( $U_a$ ) à capacidade de campo nos déficits de 20, 40 e 60% da AD, foram determinadas pela seguinte equação (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009):

$$L_i = \frac{(C_c - U_a)}{10} \cdot D_s \cdot Z$$

em que:

$L_i$  = lâmina de irrigação, em mm;  $C_c$  = umidade na capacidade de campo, % em peso;  $U_a$  = umidade atual do solo, % em peso;  $D_s$  = densidade do solo, em  $g\ cm^{-3}$ ; e  $Z$  = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, em cm.

As reposições de água foram realizadas manualmente por diferença de pesagem dos vasos, para manter a umidade dos solos na  $C_c$  determinada nos níveis de tensão utilizados na determinação da  $C_c$  e de déficits hídricos em estudo. O ajuste das massas dos vasos à umidade gravimétrica estimada para os níveis de tensão para determinação da capacidade de campo e de déficits hídricos foi realizado a cada 20 dias, devido ao incremento propiciado pelo crescimento das plantas.

### 3.1.6 Determinação do Potencial Hídrico Foliar Antemanhã

As medições de potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) foram realizadas em quatro fases fenológicas da cultura: 1ª fase - terceira folha trifoliolada expandida - V4; 2ª fase - prefloração - R5; 3ª fase - enchimento de grãos - R8; e 4ª fase - maturidade fisiológica - R9, antes do nascer do sol, às 04h30min, utilizando-se uma bomba de pressão construída segundo Scholander e outros (1965), destinada ao estudo da tensão da seiva no xilema.

A escolha do horário se deve ao fato de que as plantas apresentam maior eficiência na fixação de carbono pela manhã, acentuando as respostas das mesmas de acordo com a disponibilidade de água no solo e ao fato de que o potencial hídrico foliar medido na antemanhã é um indicativo do estado hídrico das plantas (LARCHER, 2006).

Para realização das medidas do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{am}$ ), selecionou-se o folíolo central da quarta folha trifoliolada completamente expandido da haste principal, de três plantas por tratamento.

A folha do feijoeiro comum, após ser destacada do ramo, foi inserida na câmara da bomba deixando-se a base do pecíolo aparente e aplicou-se uma pressão em carga crescente e gradual até que a seiva xilemática começou a surgir na superfície do pecíolo, cuja observação foi feita com auxílio de luz artificial e lente de aumento (lupa). Nesse momento, realizou-se a leitura do manômetro e a pressão observada correspondeu ao potencial hídrico da seiva xilemática.

Para cada avaliação foram realizadas 24 leituras (3 folhas planta<sup>-1</sup>) no mesmo dia para cada solo, fazendo-se o uso de uma média por tratamento, totalizando-se dois dias para esta avaliação.

### **3.1.7 Análises de Crescimento**

As análises de crescimento foram realizadas nas fases fenológicas da cultura V4, R5, R8 e R9, que corresponderam a aproximadamente 25, 45, 65 e 85 dias após a emergência (DAE). Foram avaliados: massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP).

Para obter a massa seca total, as plantas foram secas em estufa a 70 °C, até atingirem massa constante. A área foliar foi determinada a partir de um medidor de área foliar, modelo LI-3000. O número de folíolos por planta foi determinado por



meio de contagem direta. Enquanto que o comprimento do caule principal foi determinado considerando-se a região compreendida entre o coleto e a gema apical com auxílio de uma régua graduada.

### **3.1.8 Avaliação dos Componentes de Produção**

A avaliação dos componentes de produção foi realizada nas fases fenológicas da cultura R8 e R9, que correspondem ao período de enchimento de grãos e a maturidade fisiológica, respectivamente.

Os componentes de produção avaliados foram: número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens por planta (CMV), número médio de grãos por vagem (NGV) e massa de grãos por planta (MGP).

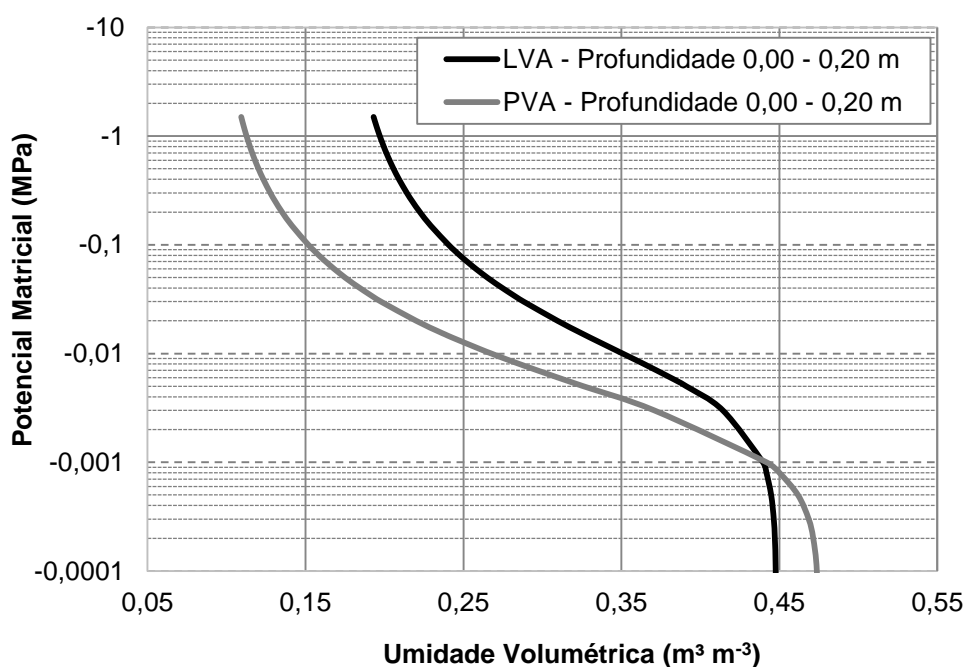
### **3.1.9 Análises Estatísticas**

Os dados foram submetidos aos testes preliminares para verificação da normalidade e homogeneidade de variância dos mesmos, aos testes de Lilliefors e teste de Bartlett, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ), utilizando-se o *Software SAEG Versão 9.1* (2007). Quando significativos foi utilizado o teste F ( $p \leq 0,05$ ) para o fator qualitativo e a análise de regressão para o fator quantitativo. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student, ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO

As curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) à profundidade de 0,00 - 0,20 m (Figura 1) foram ajustadas pelas equações apresentadas na Tabela 3, obtidas de acordo com o modelo proposto por Van Genuchten (1980).



**Figura 1** - Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) à profundidade de 0,00 - 0,20 m.

**Tabela 3** - Equações de ajuste da curva de retenção de água para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), de acordo com o modelo proposto por Van Genuchten (1980)<sup>1</sup>

Solo	$^1 \theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \cdot h)^n]^m$
1 - LVA	$\theta = 0,174 + (0,448 - 0,174) / [1 + (0,2120 \cdot h)^{1,4622}]^{0,3161}$
2 - PVA	$\theta = 0,094 + (0,475 - 0,094) / [1 + (0,4641 \cdot h)^{1,4912}]^{0,3294}$

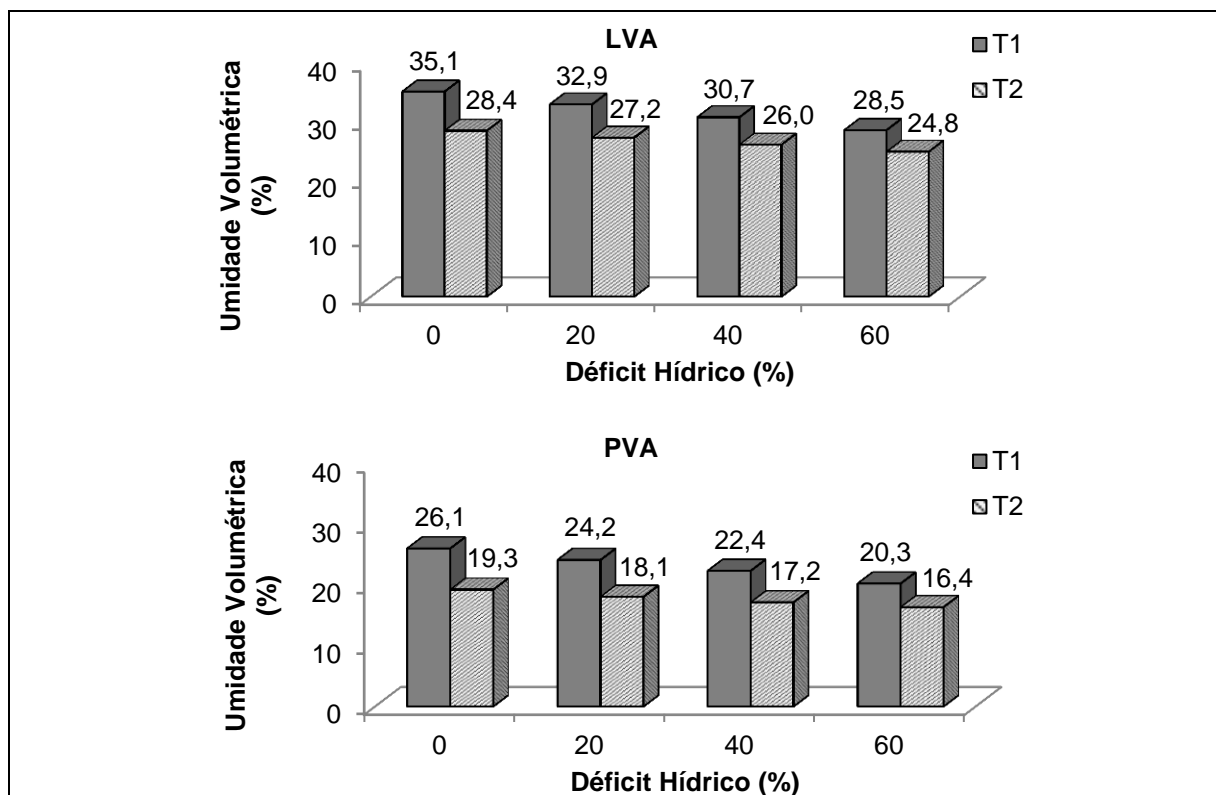
O nível de água disponível (AD) nos solos em estudo variou de um solo para o outro devido aos atributos físicos dos mesmos (Figura 1). Os valores de AD obtidos na tensão de 0,033 MPa ( $T_2$ ) representam 57,59% no LVA e 55,26% no PVA em relação aos valores obtidos na tensão de 0,010 MPa ( $T_1$ ) para cada solo. Nesse contexto, verifica-se que os menores valores de água disponível em cada solo foram obtidos na capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa ( $T_2$ ).

Verifica-se que, ao utilizar a tensão de 0,033 MPa para determinação da capacidade de campo, ocorreu uma redução expressiva na água disponível para os solos em estudos (Figura 1). Portanto, pode-se inferir que a tensão de 0,010 MPa representa um maior teor de água disponível para as plantas.

Dessa forma, a capacidade de campo determinada na  $T_2$  não representa a máxima retenção de água dos solos em estudo, o que corrobora os resultados de Correia e outros (2008). Isto pode ser explicado pelo fato da menor retenção de água nessa tensão estar relacionada com a baixa atividade das argilas e à textura dos solos, o que interfere e muito no manejo da irrigação, visto que está diretamente associado com a capacidade de armazenamento de água no solo e com a demanda hídrica da cultura.

Observa-se que o teor de umidade da capacidade de campo varia com a tensão adotada em sua determinação com o auxílio do extrator de Richards (Figura 2). Desse modo, a umidade volumétrica obtida nas tensões de 0,010; 0,033 e 1,5 MPa foi de 35,1%, 28,4% e 19,3%, para o LVA e de 26,1%, 19,3% e 10,9% para o PVA, respectivamente. Com esses resultados, foram estabelecidos valores distintos de água disponível no solo, e, a partir destes, diferentes níveis de déficit hídrico, traduzidos em diferentes lâminas de irrigação para os solos em estudo (Figura 3).

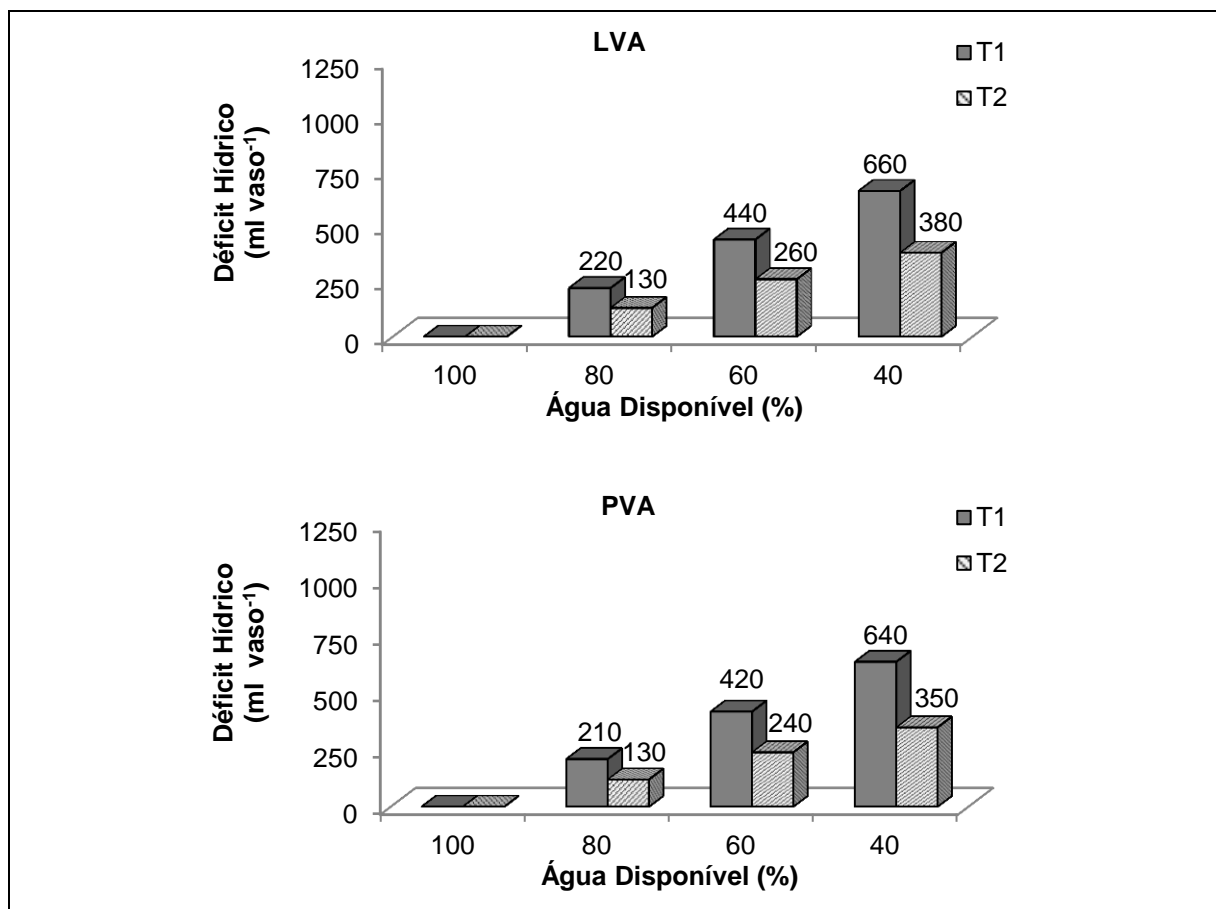
No entanto, os níveis de umidade do LVA, de textura argilosa, foram superiores aos do PVA, de textura média (Figura 2), ressaltando a importância da fração argila na retenção de água pelo solo, condição essa que é determinante para o desenvolvimento das plantas, o que é corroborado por Klein e outros (2010), que observaram a maior retenção de água em solos de textura mais fina.



**Figura 2** - Valores de umidade volumétrica nos níveis de tensão ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa) e de déficits hídricos ( $DH_1 = 0\%$ ,  $DH_2 = 20\%$ ,  $DH_3 = 40\%$  e  $DH_4 = 60\%$ ) no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Observa-se que os níveis de déficit hídrico determinados com a  $T_2$  (0,033 MPa), utilizada para determinar a capacidade de campo ( $C_c$ ) para o LVA e o PVA correspondem em média a aproximadamente 59% e 58% dos níveis de déficit hídrico determinados com a  $T_1$  (0,010 MPa), utilizada para definir a  $C_c$ , para o LVA e PVA, respectivamente (Figura 3).

Nesse contexto, verifica-se que o volume de água aplicado ( $\text{ml vaso}^{-1}$ ) para manter os conteúdos de água no solo em estudo ( $DH = 0, 20, 40$  e  $60\%$  da AD), ao longo do ciclo da cultura, variou em média de aproximadamente 110 a 330  $\text{ml vaso}^{-1}$  ao considerar a  $T_1$  e de 130 a 230  $\text{ml vaso}^{-1}$  com a  $T_2$  para o LVA. Enquanto que para o PVA o volume de água aplicado variou da ordem de 210 a 380  $\text{ml vaso}^{-1}$  para a  $T_1$  e de 150 a 250  $\text{ml vaso}^{-1}$  ao considerar a  $T_2$  para determinação da  $C_c$ .



**Figura 3** - Valores de déficit hídrico nos níveis de tensão ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa) e de água disponível (AD = 100%, AD = 80%, AD = 60% e AD = 40%) no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Em síntese, constata-se que a lâmina de irrigação aplicada em cada solo para manter os conteúdos de água no solo em estudo variou de um solo para o outro em função dos atributos físicos dos mesmos (textura, densidade do solo, profundidade, entre outros), do sistema de cultivo dos solos (agroflorestal e pastagem) e da tensão adotada para determinação da capacidade de campo para o LVA e o PVA, considerados por Vieira (2006) como aptos para o cultivo do feijoeiro comum.

## 4.2 POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ

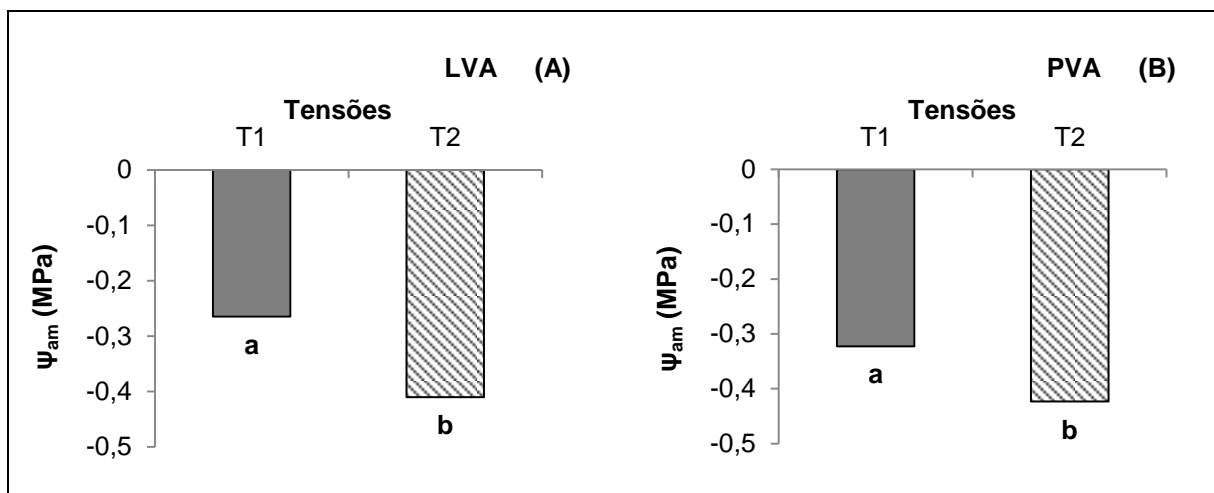
Pelas análises de variâncias (Apêndices A e B), verifica-se que não houve interação entre os níveis de tensão e de déficit hídrico para o potencial hídrico foliar antemanhã ( $p > 0,05$ ) nas fases fenológicas V4, R5, R8 e R9 do feijoeiro comum cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA). Assim, o efeito dos fatores em estudo (tensão e déficit hídrico) sobre o potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) foi avaliado isoladamente.

Houve efeito significativo da tensão utilizada para determinar a capacidade de campo sobre o  $\psi_{am}$  ( $p < 0,05$ ) nas fases fenológicas V4, R5, R8 e R9 do feijoeiro cultivado em um LVA e PVA. Com relação ao efeito do déficit hídrico no solo, observa-se resposta significativa para a variável avaliada ( $p < 0,05$ ) em cada fase fenológica da cultura e solos em estudo.

Foram observadas diferenças significativas para o  $\psi_{am}$ , ao nível de 5% de probabilidade, na fase fenológica V4 do feijoeiro comum cultivado em um LVA e PVA (Figuras 4A e 4B) submetido aos níveis de tensão em estudo.

Na fase V4, a  $T_1$  (0,010 MPa) adotada para definir a capacidade de campo ( $C_c$ ) proporcionou maior  $\psi_{am}$  (35,5%) do feijoeiro cultivado no LVA (Figura 4A), em relação às plantas submetidas a capacidade de campo ( $C_c$ ) determinada pela  $T_2$  (0,033 MPa). Isto se deve ao fato de que os maiores conteúdos de água no solo estão relacionados com os menores valores de tensões, ou seja, maiores valores de potencial matricial do solo.

Para as plantas cultivadas no PVA (Figura 4B), a  $T_1$  utilizada para determinar a  $C_c$  também proporcionou maior  $\psi_{am}$  (23,8%), em comparação com as plantas submetidas a  $C_c$  definida pela  $T_2$ , devido ao teor de umidade do solo na  $C_c$ , que varia de acordo com os atributos físicos do solo, sistema de cultivo dos solos e com a tensão adotada em sua determinação, o que resulta em diferentes níveis de água disponível no solo que influenciam o grau de hidratação das plantas.



**Figura 4** - Valores médios obtidos para potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica V4 do feijoeiro em função dos níveis de tensão no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

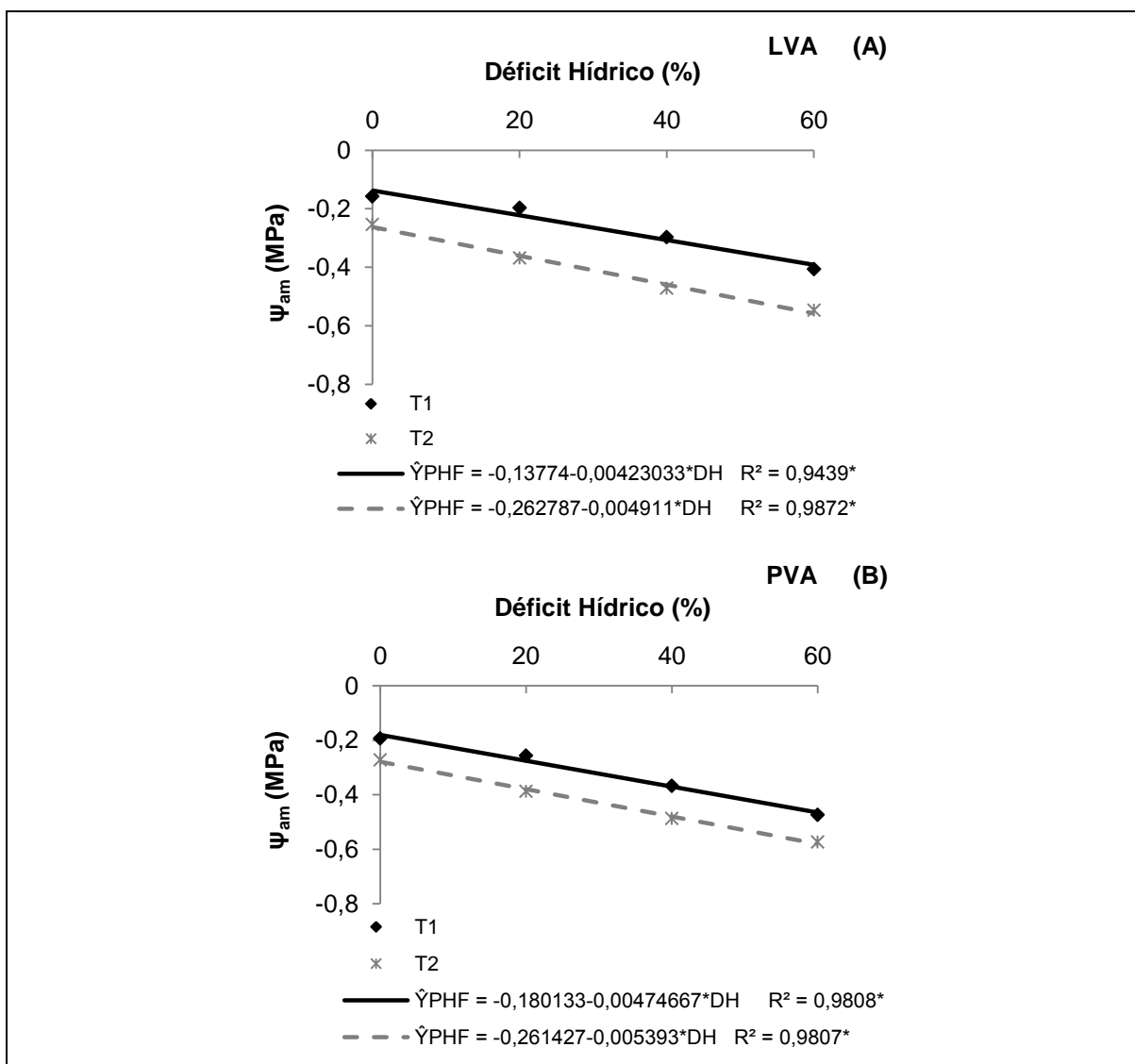
Os valores de  $\psi_{am}$  encontrados na fase fenológica V4 do feijoeiro comum cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com a redução do nível de água disponível no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Mendes et al. (2007) ao analisarem o potencial hídrico foliar em plantas de feijão-de-corda submetidas ao estresse hídrico na fase vegetativa.

Verifica-se que os níveis de déficit hídrico aplicados no solo influenciam significativamente o  $\psi_{am}$  na fase fenológica V4 do feijoeiro comum cultivado em um LVA e PVA (Figuras 5A e 5B).

O  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum cultivado no LVA (Figura 5A) foi reduzido linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ). Pelos resultados estimados pelas equações, observa-se reduções de aproximadamente 8, 17 e 25% na T<sub>1</sub> e de 10, 20 e 29% na T<sub>2</sub> para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico, ou seja, DH = 0%.

Nas plantas cultivadas no PVA, verifica-se comportamento linear  $\psi_{am}$  (Figura 5B). Nos resultados obtidos, observa-se decréscimos de aproximadamente 9, 19 e 28%

na T1 e de 11, 22 e 32% na T<sub>2</sub> para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.



**Figura 5** - Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica V4 do feijoeiro submetido a diferentes níveis de déficit hídrico no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Nesta fase, verifica-se que, nas plantas cultivadas no LVA, o potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) varia de -0,16 a -0,25 MPa na ausência de déficit hídrico no solo



para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa) utilizados na determinação da  $C_c$ ; de  $-0,20$  a  $-0,37$  MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de  $-0,30$  a  $-0,47$  MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de  $-0,41$  a  $-0,55$  MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

A diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico ( $DH = 0\%$ ) e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% reflete o estado hídrico do solo, pois a água estava retida a um potencial matricial médio de  $-0,010$  MPa,  $-0,015$  MPa,  $-0,020$  MPa e  $-0,033$  MPa na  $T_1$  adotada para definir a  $C_c$  do LVA e de  $-0,033$  MPa,  $-0,044$  MPa,  $-0,055$  MPa e  $-0,080$  MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

O melhor estado hídrico das plantas na fase V4 foi observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,16$  MPa) a um potencial matricial médio de  $-0,010$  MPa no LVA e o menor grau de hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% da AD na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -0,55$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de  $-0,080$  MPa.

Para as plantas cultivadas no PVA, o potencial hídrico foliar medido na antemanhã ( $\psi_{am}$ ) varia de  $-0,19$  a  $-0,25$  MPa na ausência de déficit hídrico no solo para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa); de  $-0,26$  a  $-0,39$  MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de  $-0,37$  a  $-0,49$  MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de  $-0,47$  a  $-0,57$  MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

Do mesmo modo que foi observado no LVA, a diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% da água disponível no PVA refletiu o estado hídrico do solo, estando a água retida a um potencial matricial médio de  $-0,010$  MPa,  $-0,013$  MPa,  $-0,020$  MPa e  $-0,036$  MPa na  $T_1$  utilizada para definir a  $C_c$  do PVA e de  $0,033$  MPa,  $-0,046$  MPa,  $-0,056$  MPa e  $-0,066$  MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

Assim, o melhor estado hídrico foi observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,19$  MPa) a um potencial matricial de  $-0,010$  MPa no LVA e a menor hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -0,57$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de  $-0,066$  MPa. Isto indica que a variação do  $\psi_{am}$  está associada ao potencial matricial de água no solo ( $\psi_m$ ) e a umidade do solo.

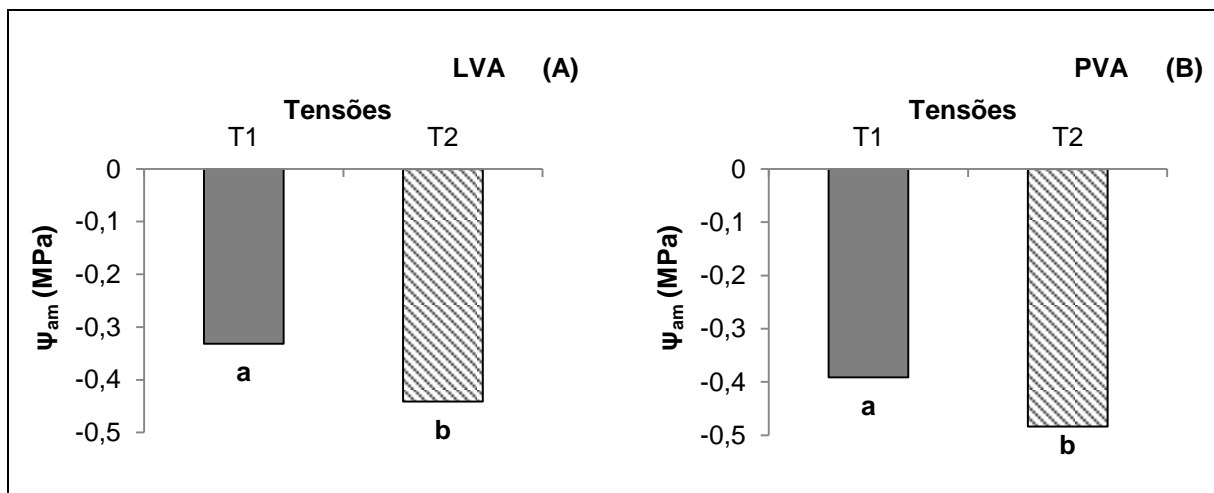
Nesse contexto, nota-se que a maior disponibilidade de água do LVA proporciona ao feijoeiro comum os maiores valores de  $\psi_{am}$ , sendo superior aos resultados obtidos no PVA, em todos os níveis de tensão e de déficit hídrico. De acordo Mendes et al. (2007), os valores desse parâmetro fisiológico podem variar em função da fase fenológica da cultura, da variedade, da disponibilidade hídrica do solo, do déficit de pressão de vapor do ar e do horário em que são avaliados.

Na fase fenológica R5 do feijoeiro comum cultivado no LVA e PVA (Figura 10) sob os níveis de tensão em estudo, também foram observadas diferenças significativas para a variável  $\psi_{am}$  (Figuras 6A e 6B), ao nível de 5% de probabilidade.

Nesta fase, a  $T_1$  utilizada para determinar a  $C_c$  proporcionou maior  $\psi_{am}$  (24,8%), nas plantas cultivadas no LVA (Figura 6A), em comparação às plantas submetidas à  $C_c$  determinada pela  $T_2$ . Nesse contexto, observa-se que o potencial hídrico foliar é menor, porque nesta fase (pré-florescimento), ocorre maior transpiração e translocação de fotoassimilados, visto que estão formados a haste principal, os ramos laterais e as folhas trifolioladas, bem como as tríades de gemas na axila das folhas.

Para as plantas cultivadas no PVA (Figura 6B), a  $T_1$  adotada para definir a  $C_c$  também proporcionou maior  $\psi_{am}$  (19,1%), quando comparado às plantas submetidas à  $C_c$  definida pela  $T_2$ . Dentro desse contexto, verifica-se que os valores de  $\psi_{am}$  encontrados na fase fenológica R5 do feijoeiro comum cultivado em um LVA e PVA decrescem com a redução da disponibilidade de água no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Tatagiba e outros (2008) e Endres e outros (2010).

Para Larcher (2006), o  $\psi_{am}$  é um indicativo do armazenamento de água no solo. Assim, a medição desta variável é a forma efetiva de se avaliar o estado hídrico das plantas, pois na antemanhã há tendência de equilíbrio entre o potencial de água na folha e no solo.



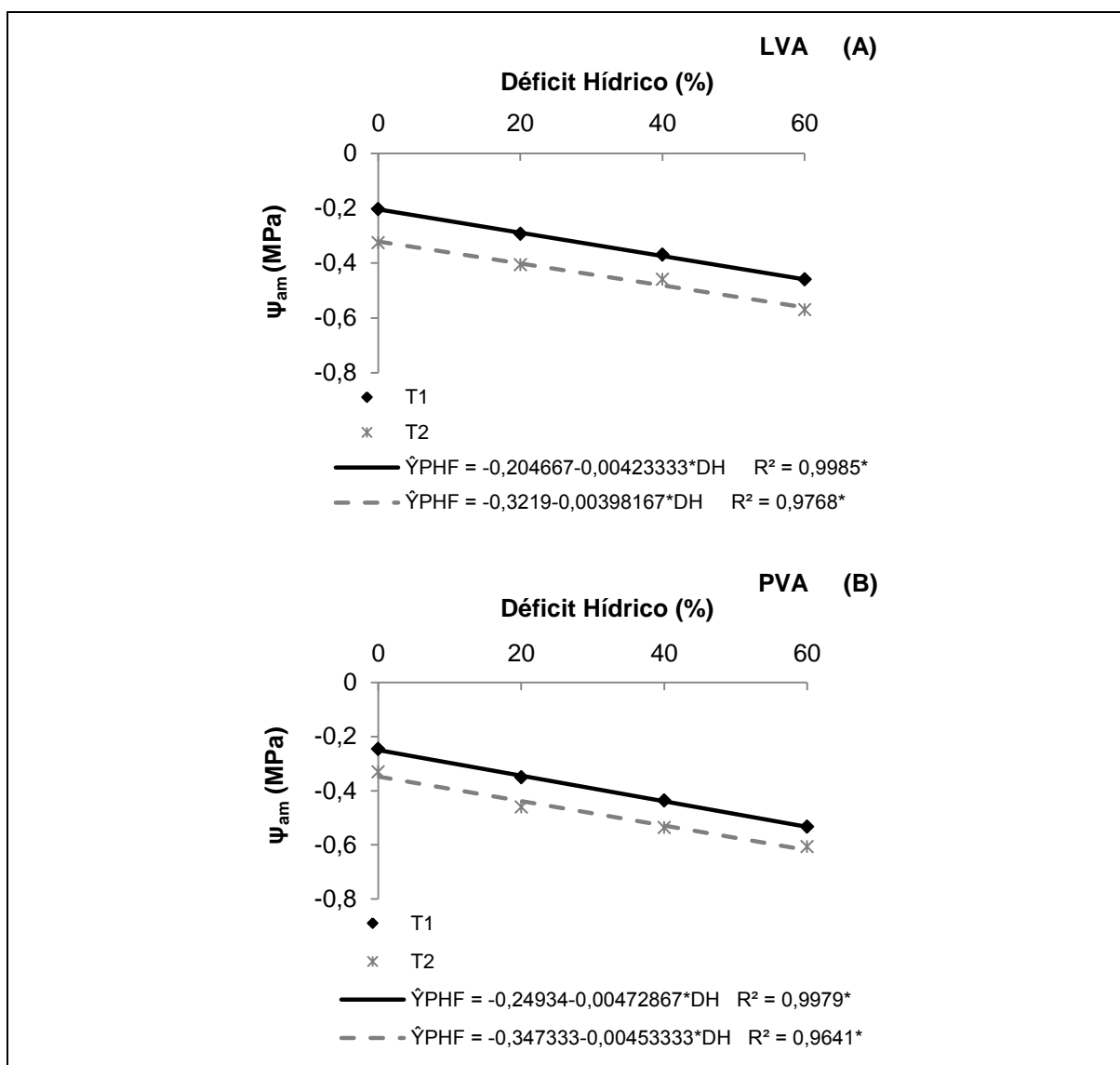
**Figura 6** - Valores médios obtidos para potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica R5 do feijoeiro em função dos níveis de tensão no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Observa-se que os níveis de déficit hídrico aplicados no solo influenciam significativamente o  $\psi_{am}$  na fase fenológica R5 do feijoeiro comum, cultivado em um LVA e PVA (Figuras 7A e 7B).

O  $\psi_{am}$  (Figuras 7A) do feijoeiro cultivado no LVA foi reduzido linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ). Nos resultados obtidos, verifica-se decréscimos de aproximadamente 9, 16 e 25% na T<sub>1</sub> e de 8, 16 e 24% na T<sub>2</sub> para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Observa-se o comportamento linear para a variável  $\psi_{am}$  (Figuras 7B) do feijoeiro cultivado no PVA sob diferentes níveis de déficit hídrico. Pelos resultados

estimados pelas equações, observa-se reduções da ordem de 10, 18 e 28% na  $T_1$  e de 9, 18 e 27% na  $T_2$  para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.



**Figura 7** - Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica R5 do feijoeiro submetido a diferentes níveis de déficit hídrico no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Verifica-se que os decréscimos de  $\psi_{am}$  são maiores em magnitude no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível no LVA (Figura 7A) e no PVA (Figura 7B). Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira e outros (2009) ao avaliarem o efeito de diferentes níveis de água disponível no solo sobre o comportamento fisiológico do cafeeiro.

Na fase fenológica R5, ou seja, no pré-florescimento, verifica-se que, nas plantas cultivadas no LVA, o  $\psi_{am}$  varia de -0,20 a -0,33 MPa na ausência de déficit hídrico no solo para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa); de -0,29 a -0,41 MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de -0,37 a -0,46 MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de -0,46 a -0,57 MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

A diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico ( $DH = 0\%$ ) e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% refletiu o estado hídrico do solo, pois a água estava retida a um potencial matricial médio de -0,010 MPa, -0,018 MPa, -0,021 MPa e -0,034 MPa na  $T_1$  adotada para definir a  $C_c$  do LVA e de -0,033 MPa, -0,047 MPa, -0,058 MPa e -0,083 MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

O melhor estado hídrico das plantas na fase R5 pode ser observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,20$  MPa) a um potencial matricial médio de -0,010 MPa no LVA e o menor grau de hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% da AD na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -0,57$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de -0,083 MPa.

Para as plantas cultivadas no PVA, o  $\psi_{am}$  varia de -0,25 a -0,33 MPa na ausência de déficit hídrico no solo para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa); de -0,35 a -0,46 MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de -0,44 a -0,54 MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de -0,53 a -0,61 MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

Do mesmo modo que foi observado no LVA, a diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% da água disponível no PVA refletiu o estado hídrico do solo, estando a água retida a um potencial matricial médio de -0,010 MPa, -0,016 MPa, -0,023 MPa e -0,040 MPa na  $T_1$  utilizada para definir a Cc do PVA e de -0,033 MPa, -0,048 MPa, -0,058 MPa e -0,069 MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

Assim, o maior grau de hidratação pode ser observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,25$  MPa) a um potencial matricial de -0,010 MPa no LVA e a menor hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -0,61$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de -0,069 MPa. Verifica-se que a variação do  $\psi_{am}$  está associada ao potencial matricial de água no solo ( $\psi_m$ ) e à umidade do solo.

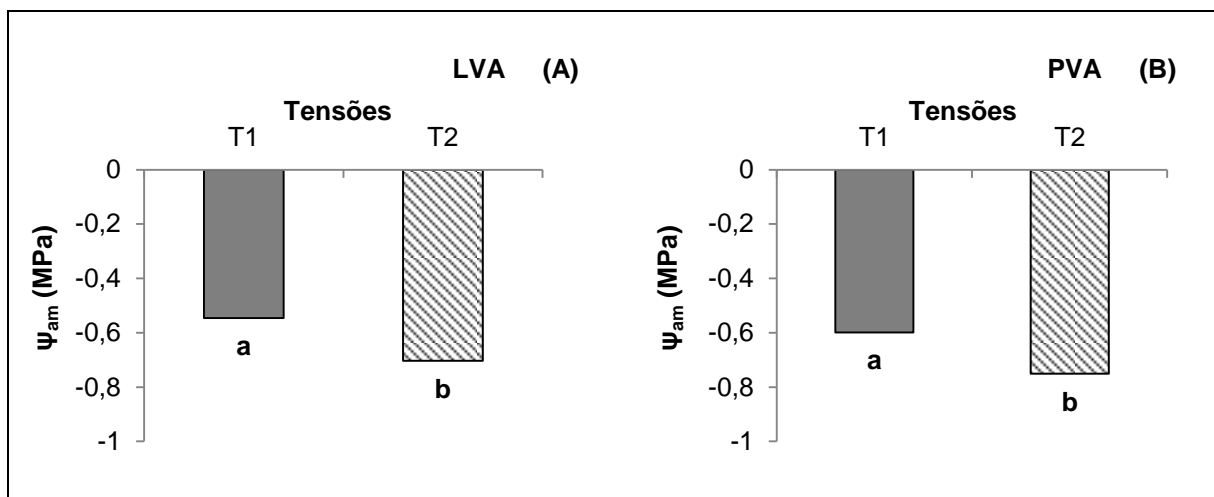
Nesse contexto, observa-se que a maior disponibilidade hídrica do LVA proporcionou ao feijoeiro comum na fase R5 os maiores valores de  $\psi_{am}$ , sendo superior aos resultados obtidos no PVA, em todos os níveis de tensão e de déficit hídrico.

Observa-se respostas significativas ( $p < 0,05$ ) para o potencial hídrico foliar antemanhã (Figura 8) medido na fase fenológica R8 do feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, cultivado no solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA), respectivamente, submetidos aos níveis de tensão em estudo.

Nesta fase, a  $T_1$  utilizada para determinar a Cc proporcionou maior  $\psi_{am}$  (22,4%), no LVA (Figura 8A), em comparação às plantas submetidas à Cc definida pela  $T_2$ , pelo fato do nível de água disponível no solo na  $T_1$  ser superior a  $T_2$ . Nesse contexto, vale ressaltar que na fase fenológica R8, o  $\psi_{am}$  é menor, devido a translocação de água, nutrientes e fotoassimilados das folhas para as vagens e grãos, que estão em fase de enchimento.

Para o feijoeiro cultivado no PVA (Figura 8B), a  $T_1$  adotada para definir a Cc proporcionou maior  $\psi_{am}$  (20,2%), em relação às plantas submetidas à Cc definida

pela  $T_2$ . Verifica-se que os valores de  $\psi_{am}$  determinados na fase fenológica R8 do feijoeiro cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com o aumento do nível de déficit hídrico no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Mendes e outros (2007).



**Figura 8** - Valores médios obtidos para potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica R8 do feijoeiro em função dos níveis de tensão no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Estes resultados indicam que o nível de tensão utilizado para determinar a Cc para um determinado solo exerce influencia significativa sobre o potencial hídrico foliar do feijoeiro comum, porque o teor de umidade do solo na Cc varia com o nível de tensão adotado em sua determinação, sendo que em maiores potenciais matriciais do solo, ou seja, em menores tensões, há maior disponibilidade de água no solo.

De acordo com Castro, Pereira e Paiva (2009) em ambientes com menor disponibilidade de água, ocorre redução no tamanho dos estômatos para que haja menor perda de água da planta para a atmosfera e aumento de sua densidade para contribuir com o equilíbrio das trocas gasosas. Para Mendes e outros (2007), essas alterações podem compensar a redução de área foliar e de potencial hídrico foliar que ocorre em plantas submetidas ao déficit hídrico.

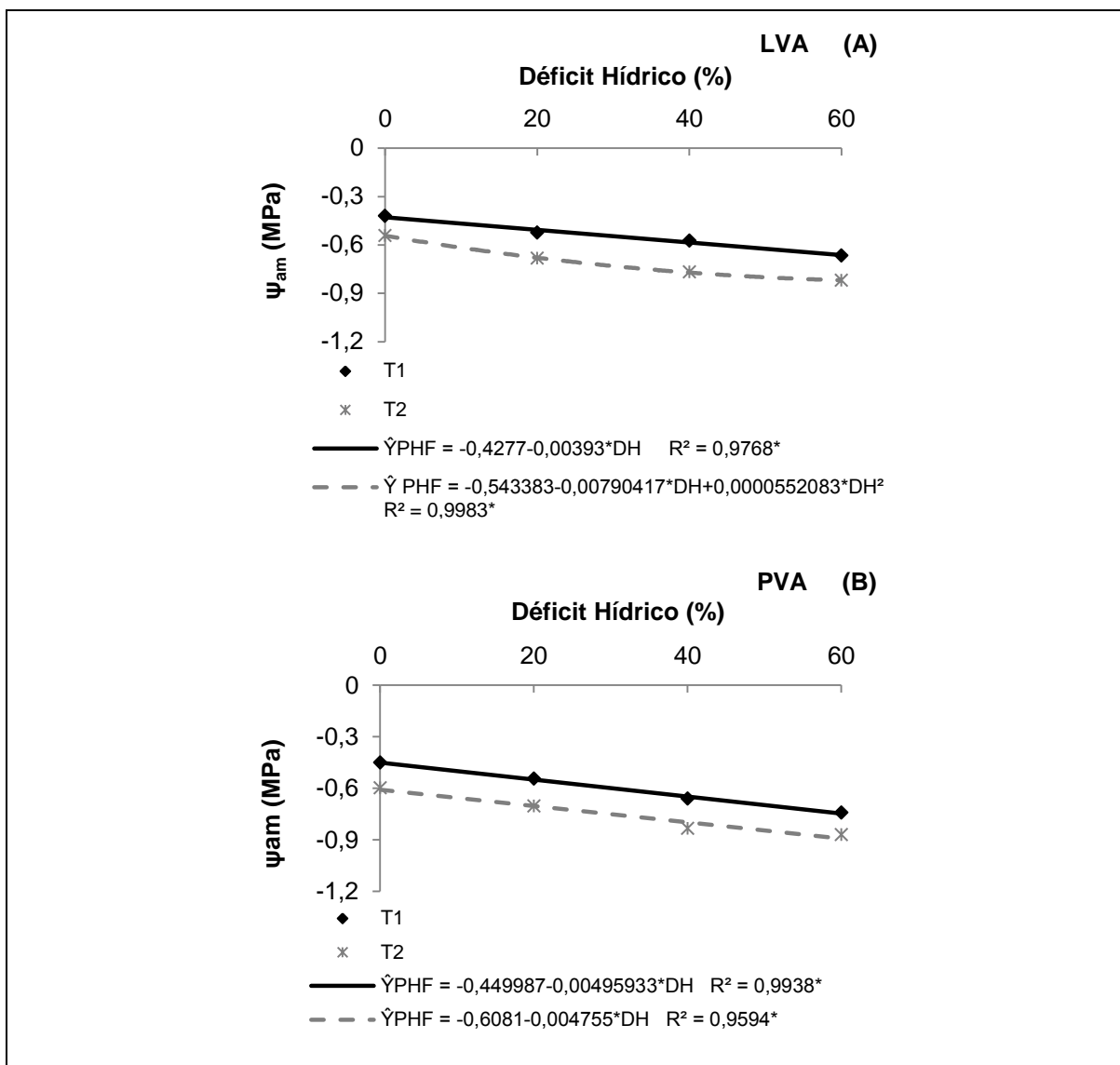
Observa-se que os níveis de déficit hídrico aplicados no solo, influenciaram significativamente o potencial hídrico foliar antemanhã medido na fase fenológica R8 do feijoeiro comum, cultivado em um LVA (Figura 9A) e PVA (Figura 9B).

O  $\psi_{am}$  (Figura 9A) do feijoeiro, na fase fenológica R8, cultivado no LVA apresenta comportamento linear para a  $T_1$  e quadrático para a  $T_2$ , adotada para determinar a  $C_c$ , em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ). Pelos resultados estimados pelas equações, verifica-se decréscimos de aproximadamente 7, 15 e 23% na  $T_1$  e de 9, 18 e 28% na  $T_2$  para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Nas plantas cultivadas no PVA, a variável  $\psi_{am}$  (Figura 9B) apresenta comportamento linear em função do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ). Nos resultados estimados, observa-se reduções de aproximadamente 10, 20 e 30% na  $T_1$  e de 9, 19 e 28% na  $T_2$  para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Nesse caso, constata-se que a redução do  $\psi_{am}$  é maior no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 9A e 9B). Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira e outros (2009).





**Figura 9** - Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica R8 do feijoeiro submetido a diferentes níveis de déficit hídrico no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Na fase fenológica R8, observa-se que nas plantas cultivadas no LVA, o  $\psi_{am}$  varia de -0,42 a -0,54 MPa na ausência de déficit hídrico no solo para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa); de -0,52 a -0,68 MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de -0,57 a -0,77 MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de -0,67 a -0,82 MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

A diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% refletiu o estado hídrico do solo, pois a água estava retida a um potencial matricial médio de -0,010 MPa, -0,022 MPa, -0,025 MPa e -0,037 MPa na  $T_1$  adotada para definir a Cc do LVA e de -0,033 MPa, -0,045 MPa, -0,060 MPa e -0,087 MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

O melhor estado hídrico das plantas na fase R8 pode ser observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,42$  MPa) a um potencial matricial médio de -0,010 MPa no LVA e o menor grau de hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% da AD na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -0,82$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de -0,087 MPa.

Para as plantas cultivadas no PVA, o  $\psi_{am}$  varia de -0,45 a -0,60 MPa na ausência de déficit hídrico no solo para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa); de -0,54 a -0,70 MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de -0,66 a -0,83 MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de -0,74 a -0,87 MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

Da mesma forma que foi observada no LVA, a diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% da água disponível no PVA refletiu o estado hídrico do solo, pois a água estava retida a um potencial matricial médio de -0,010 MPa, -0,023 MPa, -0,026 MPa e -0,035 MPa na  $T_1$  utilizada para definir a Cc do PVA e de -0,033 MPa, -0,046 MPa, -0,056 MPa e -0,066 MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

Assim, o maior grau de hidratação pode ser observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,45$  MPa) a um potencial matricial de -0,010 MPa no LVA e a menor hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -0,87$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de -0,066 MPa. Isto indica que a variação do  $\psi_{am}$  está associada ao  $\psi_m$  e à umidade do solo.

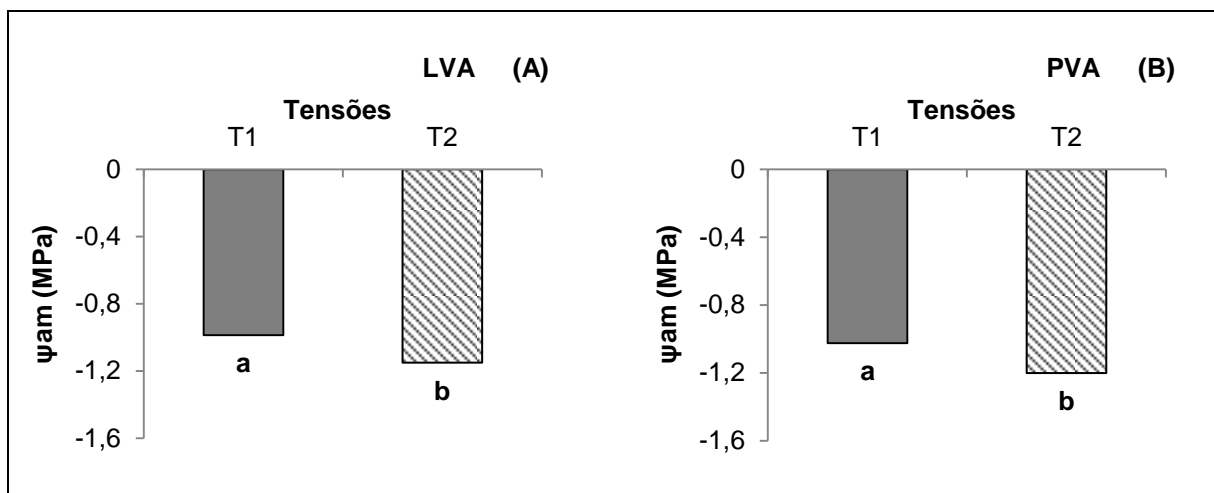
Nesse contexto, nota-se que a maior disponibilidade de água do LVA proporcionou ao feijoeiro na fase fenológica R8 os maiores valores de  $\psi_{am}$ , que é superior aos resultados obtidos nas plantas cultivadas no PVA, nas condições avaliadas.

Houve resposta significativa ( $p < 0,05$ ) para o potencial hídrico foliar antemanhã (Figura 10) medido na fase fenológica R9 do feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, cultivado no solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA), respectivamente, e submetidos aos níveis de tensão em estudo.

Nesta fase, a  $T_1$  adotada para determinar a  $C_c$  para o LVA proporcionou maior  $\psi_{am}$  (14,2%), em relação às plantas submetidas à  $C_c$  definida pela  $T_2$  (Figura 10A), pelo fato da disponibilidade de água no solo na  $T_1$  ser superior a  $T_2$ . Nesse sentido, vale ressaltar que, na fase fenológica R9, a planta inicia o processo de senescência, que resulta na paralisação da produção de massa seca e a partir desse momento, prevalece os fenômenos de translocação de fotoassimilados, em substituição ao de crescimento, o que explica a redução do potencial hídrico foliar das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Comportamento análogo foi observado para o  $\psi_{am}$  do feijoeiro cultivado no PVA (Figura 10B), pois a  $T_1$  também proporcionou maior  $\psi_{am}$  (14,6%), em relação às plantas submetidas à  $C_c$  definida pela  $T_2$ . Dentro desse contexto, nota-se que os valores de  $\psi_{am}$  determinados na fase fenológica R9 do feijoeiro cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com o aumento do nível de déficit hídrico no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Mendes e outros (2007).

A disponibilidade de água no solo afeta significativamente o comportamento fisiológico da cultura por reduzir o potencial hídrico foliar, a condutância estomática, a taxa de assimilação de  $CO_2$ , a transpiração e aumentar a temperatura foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004).

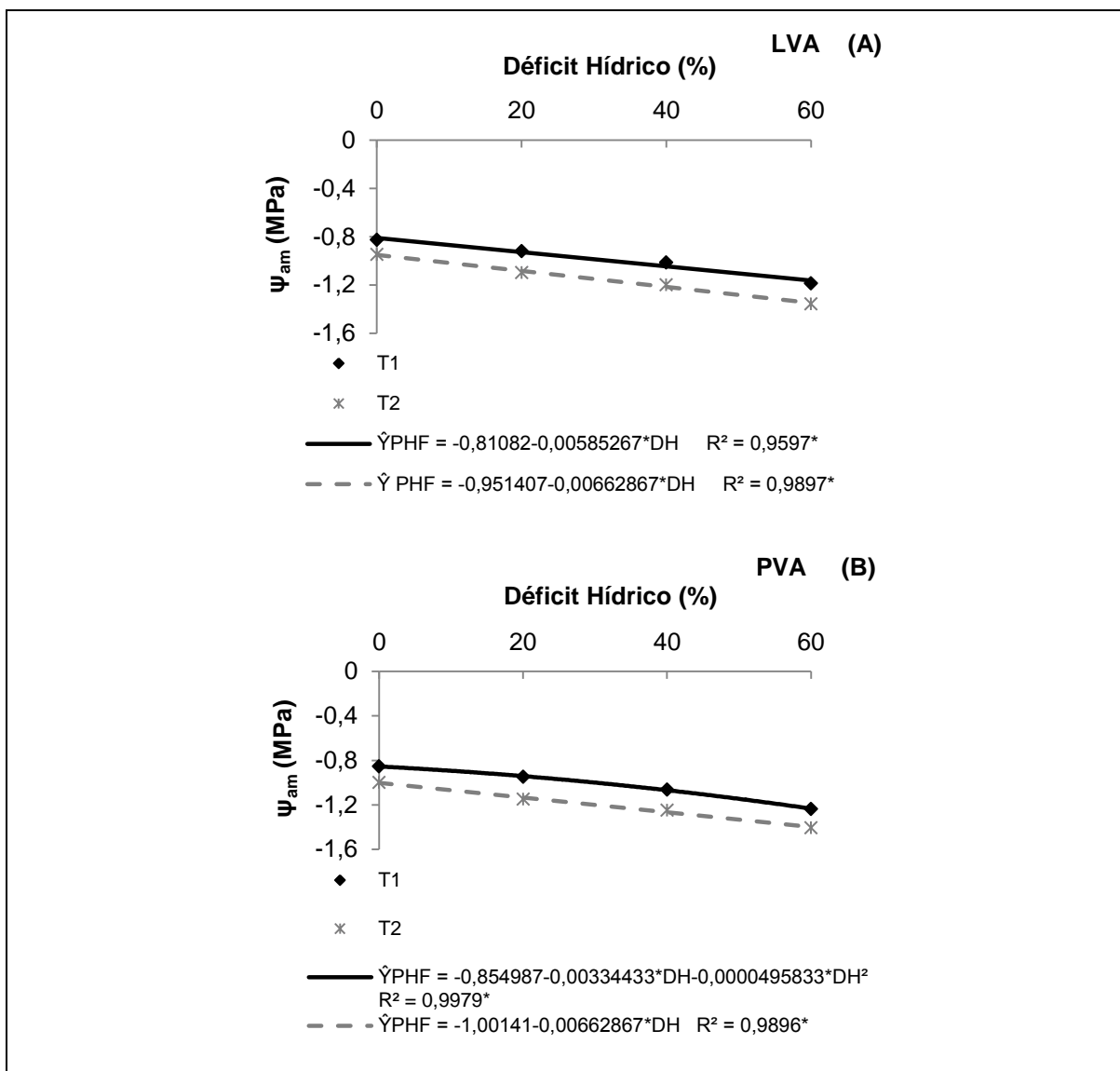


**Figura 10** - Valores médios obtidos para potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica R9 do feijoeiro em função dos níveis de tensão no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Verifica-se na fase fenológica R9 que os níveis de déficit hídrico no solo influenciam significativamente o potencial hídrico foliar antemanhã do feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, cultivado em um LVA (Figura 11A) e PVA (Figura 11B).

Nesse contexto, o  $\psi_{am}$  do feijoeiro cultivado no LVA (Figura 11A), foi reduzido linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ). Nos resultados estimados, observa-se reduções da ordem de 12, 23 e 35% na  $T_1$  e de 13, 27 e 40% na  $T_2$  para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Nas plantas cultivadas no PVA, verifica-se comportamento quadrático para o  $\psi_{am}$  na  $T_1$  e linear na  $T_2$  (Figuras 11B). Pelos resultados estimados pelas equações, observa-se decréscimos da ordem de 9, 21 e 38% na  $T_1$  e de 13, 27 e 40% na  $T_2$  para o  $\psi_{am}$  das plantas submetidas ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira e outros (2009) ao analisarem a influência da disponibilidade de água no solo no potencial hídrico foliar do cafeeiro.



**Figura 11** - Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) na fase fenológica R9 do feijoeiro submetido a diferentes níveis de déficit hídrico no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Nesta fase, verifica-se que nas plantas cultivadas no LVA o  $\psi_{am}$  varia de -0,83 a -0,95 MPa na ausência de déficit hídrico no solo para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,010$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa); de -0,92 a -1,10 MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de -1,01 a -1,20 MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de -1,19 a -1,36 MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

Dessa forma, a diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico (DH = 0%) e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% refletiu o estado hídrico do solo, pois a água estava retida a um potencial matricial médio de -0,010 MPa, -0,017 MPa, -0,019 MPa e -0,033 MPa na  $T_1$  adotada para definir a Cc do LVA e de -0,033 MPa, -0,045 MPa, -0,055 MPa e -0,081 MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

O melhor estado hídrico das plantas na fase R9 pode ser observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,83$  MPa) a um potencial matricial médio de -0,010 MPa no LVA e o menor grau de hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% da AD na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -1,36$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de -0,081 MPa.

Para as plantas cultivadas no PVA, o  $\psi_{am}$  varia de -0,85 a -1,00 MPa na ausência de déficit hídrico no solo para os níveis de tensão em estudo ( $T_1 = 0,01$  MPa e  $T_2 = 0,033$  MPa); de -0,95 a -1,15 MPa no déficit hídrico de 20% para a  $T_1$  e  $T_2$ ; de -1,06 a -1,25 MPa no déficit hídrico de 40% da  $T_1$  e  $T_2$ ; e de -1,24 a -1,41 MPa no déficit hídrico de 60% da  $T_1$  e  $T_2$ .

Da mesma forma que foi observada no LVA, a diferença entre o  $\psi_{am}$  do feijoeiro comum na ausência de déficit hídrico e nos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% da água disponível no PVA refletiu o estado hídrico do solo, pois a água estava retida a um potencial matricial médio de -0,010 MPa, -0,016 MPa, -0,022 MPa e -0,033 MPa na  $T_1$  utilizada para definir a Cc do PVA e de -0,033 MPa, -0,045 MPa, -0,055 MPa e -0,067 MPa na  $T_2$ , para os níveis de déficit hídrico em estudo.

Assim, o maior grau de hidratação foi observado na ausência de déficit hídrico no solo na  $T_1$  ( $\psi_{am} = -0,85$  MPa) a um potencial matricial de -0,010 MPa no PVA e a menor hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% na  $T_2$  ( $\psi_{am} = -1,41$  MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de -0,067 MPa.

A redução do nível de água disponível no solo influencia significativamente o potencial hídrico foliar antemanhã do feijoeiro comum cultivado em solos de textura argilosa e média. Resultados semelhantes foram obtidos por Catuchi e outros (2012) ao analisarem as respostas fisiológicas de duas cultivares de soja sob diferentes regimes hídricos, onde observaram redução significativa nas variáveis fisiológicas devido ao aumento do déficit hídrico.

Pelos resultados obtidos em cada fase fenológica avaliada, constata-se por meio das equações de regressão analisadas para o potencial hídrico foliar antemanhã do feijoeiro (Figuras 5, 7, 9 e 11) ampla diferença do comportamento fisiológico da cultivar Ouro Negro, frente às restrições hídricas atribuídas pelos tratamentos, com reduções significativas, à medida que a disponibilidade hídrica foi reduzida. Além disso, estes resultados permitem afirmar que os níveis de 40 e 60% da água disponível no solo são críticos para esta cultivar.

Para o feijoeiro comum, os níveis de déficit hídrico no solo de 40 e 60% da água disponível, exerceram efeitos negativos sobre o potencial hídrico foliar antemanhã, que reduz as trocas gasosas, o crescimento e a produtividade da cultura. Por sua vez, Mendes e outros (2007), ao avaliarem o potencial hídrico foliar em plantas de feijão-de-corda submetidas ao déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutivas, verificaram reduções significativas no potencial hídrico foliar, na condutância estomática e transpiração foliar, com conseqüente aumento da temperatura foliar.

As respostas observadas da disponibilidade hídrica sobre o parâmetro fisiológico do feijoeiro comum correspondem aos efeitos frequentemente encontrados na literatura, devido à restrição hídrica verificada pelos valores de potencial hídrico foliar (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

Os resultados obtidos nas fases fenológicas avaliadas demonstram que o efeito da disponibilidade de água do solo sobre o comportamento fisiológico do feijoeiro está diretamente relacionado com a redução do potencial hídrico foliar.

### 4.3 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO

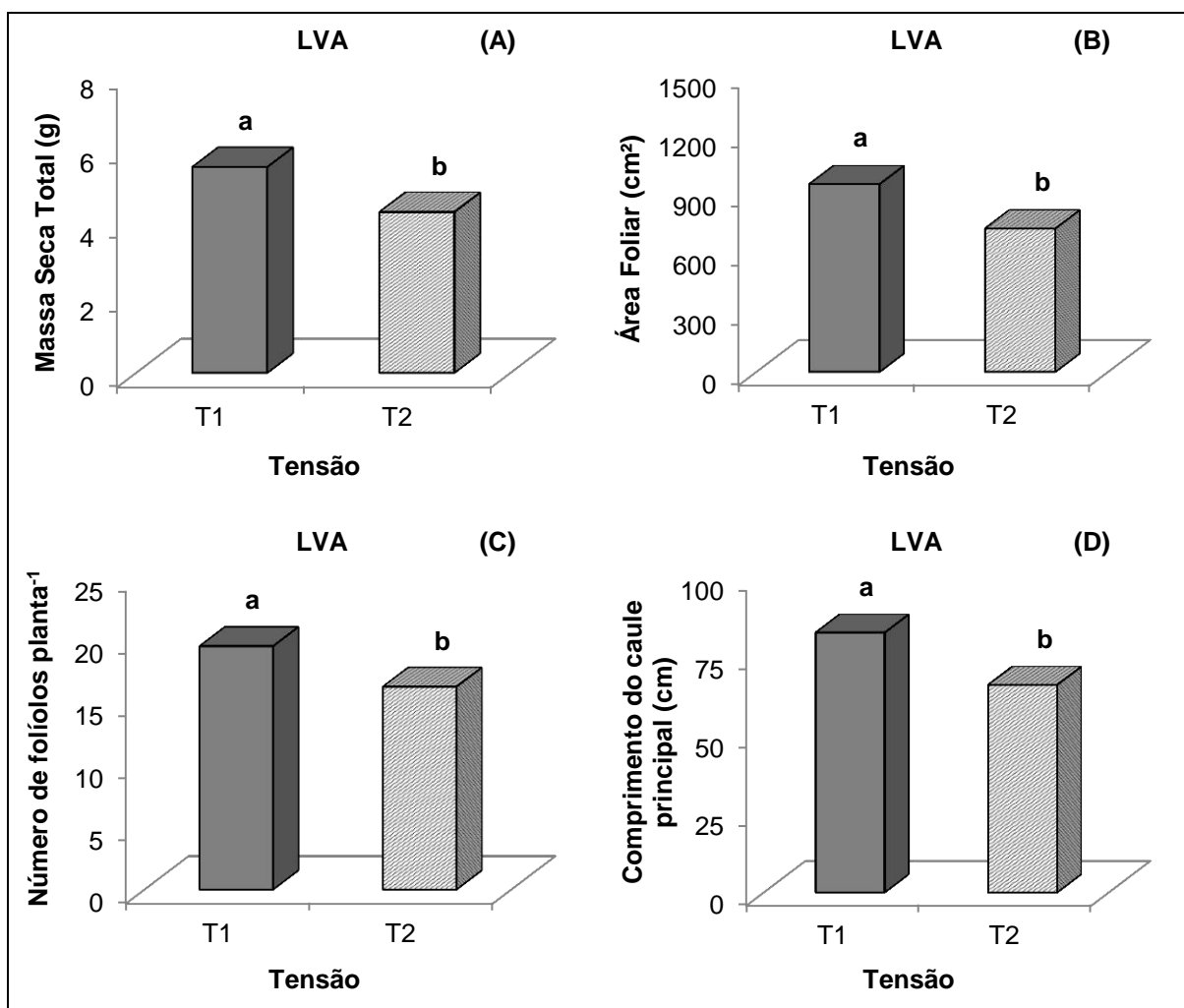
Verifica-se, pelas análises de variâncias (Apêndices C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M e N), que não houve interação entre os níveis de tensão e de déficit hídrico para todas as variáveis avaliadas ( $p > 0,05$ ) nas fases fenológicas V4, R5, R8 e R9 do feijoeiro comum cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA). Dessa forma, o efeito dos fatores em estudo (tensão e déficit hídrico) sobre as variáveis de crescimento e produção do feijoeiro comum foram avaliados isoladamente.

Houve efeito significativo da tensão utilizada para definir a capacidade de campo sobre todas as variáveis de crescimento e produção avaliadas ( $p < 0,05$ ) nas fases fenológicas V4, R5, R8 e R9 do feijoeiro cultivado em um LVA e PVA. Com relação ao efeito do déficit hídrico no solo, verifica-se resposta significativa para todas as características avaliadas ( $p < 0,05$ ) em cada fase fenológica da cultura e solos em estudo.

Foram observadas diferenças significativas para massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP), ao nível de 5% de probabilidade, na fase fenológica V4 do feijoeiro comum submetido aos níveis de tensão em estudo cultivado em um LVA (Figura 12A, 12B, 12C e 12D) e PVA (Figura 13A, 13B, 13C e 13D).

Na fase em que a terceira folha trifoliolada está expandida, ou seja, fase fenológica V4, a  $T_1$  (0,010 MPa) adotada para definir a capacidade de campo ( $C_c$ ) proporcionou maior MST (28%), AF (30,7%), NFP (20%) e CCP (25,2%) das plantas cultivadas no LVA (Figura 12), em relação às plantas submetidas à  $C_c$  determinada pela  $T_2$  (0,033 MPa), devido ao teor de umidade do solo na  $C_c$ , que varia de acordo com os atributos físicos do solo, sistema de cultivo dos solos e com a tensão adotada em sua determinação, o que resulta em diferentes níveis de água disponível no solo que influenciam o crescimento e a produção da cultura.





**Figura 12** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica V4 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

O déficit hídrico reduz a multiplicação e a expansão das células, resultando em menor crescimento da parte aérea das plantas, que como mecanismo de defesa ao início da restrição hídrica, reduzem a expansão foliar e a eficiência fotossintética. Em geral, o crescimento das plantas é afetado pela disponibilidade de água no solo, devido à redução da área foliar fotossinteticamente ativa quando estas são expostas ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Na fase fenológica V4 do feijoeiro comum, o acúmulo de massa seca total foi pequeno, pelo fato desta fase compreender o período em que a taxa de absorção de água e nutrientes é insuficiente para ativar os processos fisiológicos do crescimento, que exigem atividades metabólicas aceleradas.

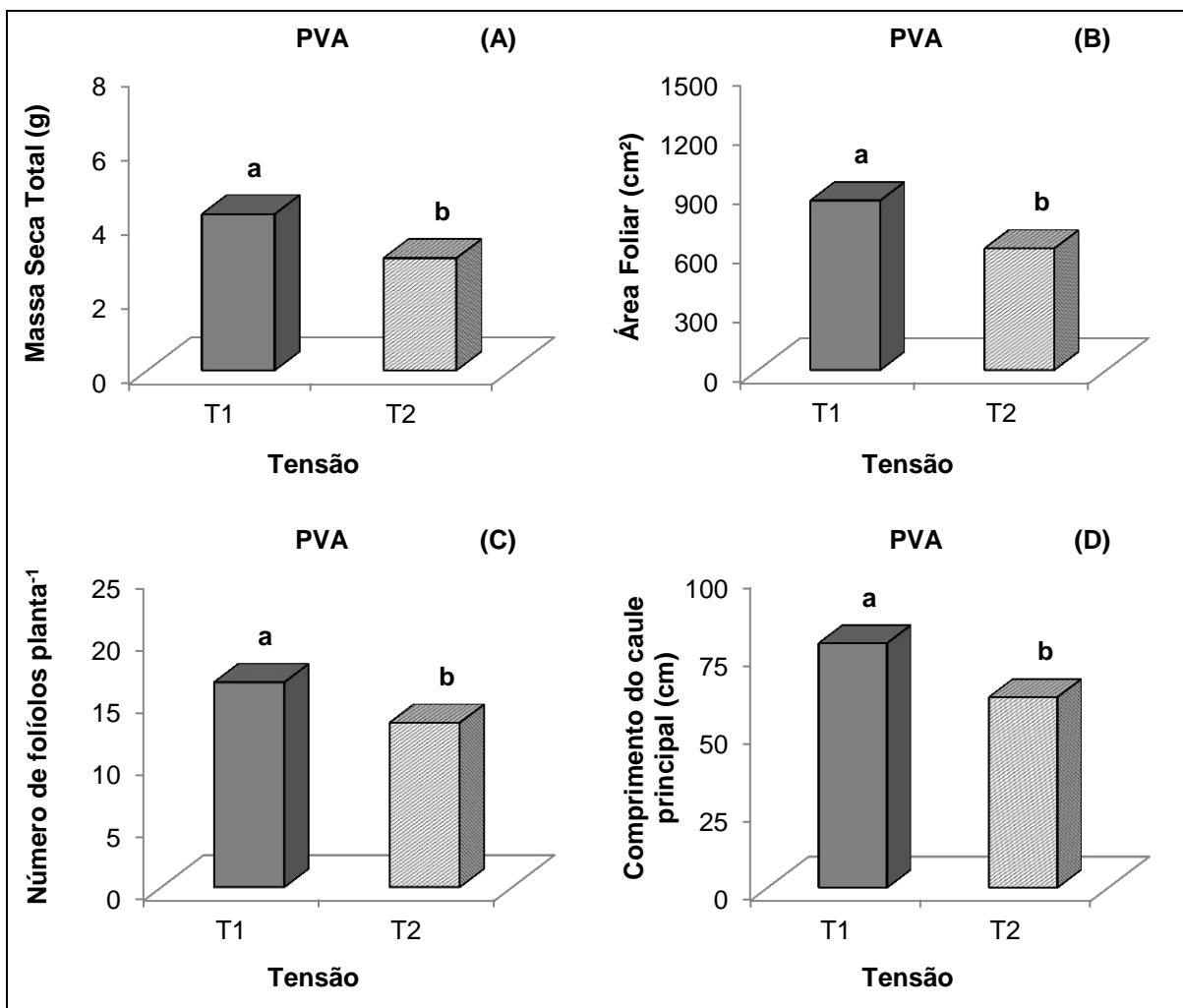
Para as plantas cultivadas no PVA (Figura 13), a  $T_1$  utilizada para determinar a Cc também proporciona maior MST (39,3%), AF (39,4%), NFP (24,7%) e CCP (28,3%), em comparação às plantas submetidas à Cc definida pela  $T_2$ .

Resultados divergentes são encontrados na literatura sobre as características de crescimento do feijoeiro submetido a diferentes níveis de água disponível e déficit hídrico no solo.

Silva e outros (2012) avaliaram o crescimento do feijoeiro sob cinco níveis de potencial matricial de água no solo (-15, -35, -55, -75 e -95 kPa), e não observaram efeito significativo do potencial matricial sobre a altura das plantas. Mas, os mesmos autores verificaram efeito significativo para massa seca total e diâmetro do caule.

Gomes e outros (2012), ao analisarem o desempenho agrônômico do feijoeiro comum de terceira safra sob diferentes lâminas de irrigação, não observaram efeito significativo das lâminas de irrigação sobre a altura das plantas e número de plantas por metro. No entanto, Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004) avaliaram o efeito da variação de níveis de água disponível no solo, sobre o crescimento do feijoeiro, e verificaram efeito significativo dos níveis de água disponível no solo sobre a altura e o número de folíolos por planta.

Os valores de MST, AF, NFP e CCP encontrados na fase fenológica V4 do feijoeiro comum cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com a redução do nível de água disponível no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Nóbrega e outros (2001), Oliveira e outros (2008) e Pavani, Lopes e Pereira (2009).



**Figura 13** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica V4 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

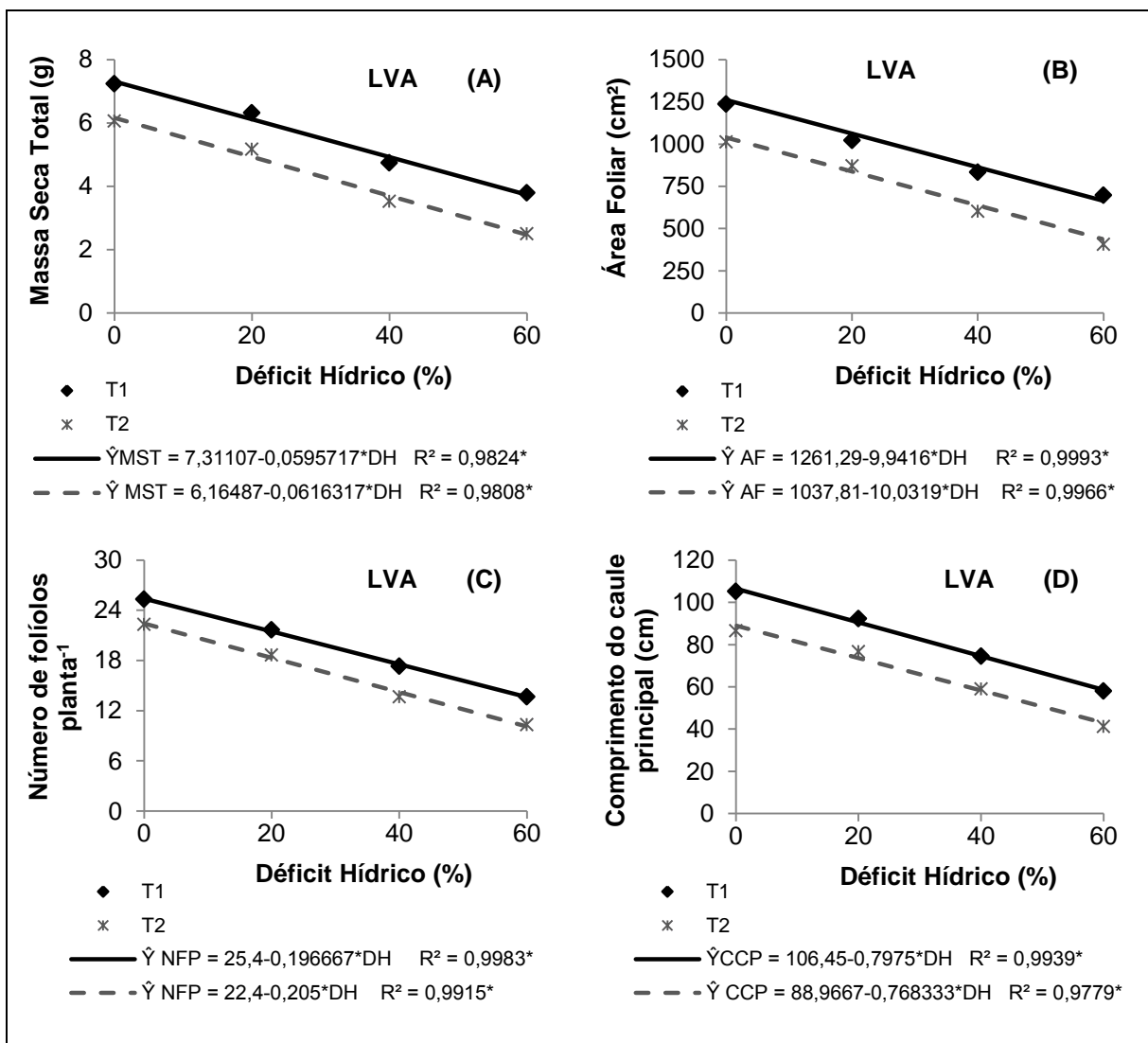
Verifica-se que os níveis de déficit hídrico aplicados no solo influenciam significativamente o crescimento na fase fenológica V4 do feijoeiro comum, cultivado em um LVA (Figura 14) e PVA (Figura 15).

As variáveis MST (Figura 14A), AF (Figura 14B), NFP (Figura 14C) e CCP (Figura 14D) das plantas cultivadas no LVA foram reduzidas linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ). Pelos resultados estimados pelas equações, observa-se redução de aproximadamente 16, 33 e 49% na T<sub>1</sub> e de

20, 40 e 60% na  $T_2$  para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico (DH = 0%).

Houve decréscimos da ordem de 15, 31 e 47% na  $T_1$  e de 19, 39 e 58% na  $T_2$ , para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NFP, a redução foi de aproximadamente 15, 31 e 46% na  $T_1$  e de 18, 37 e 55% na  $T_2$ , para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60 % de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no LVA.

Enquanto que, para a variável CCP, observa-se redução da ordem de 15, 30 e 45% na  $T_1$  e de 17, 35 e 52% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico.



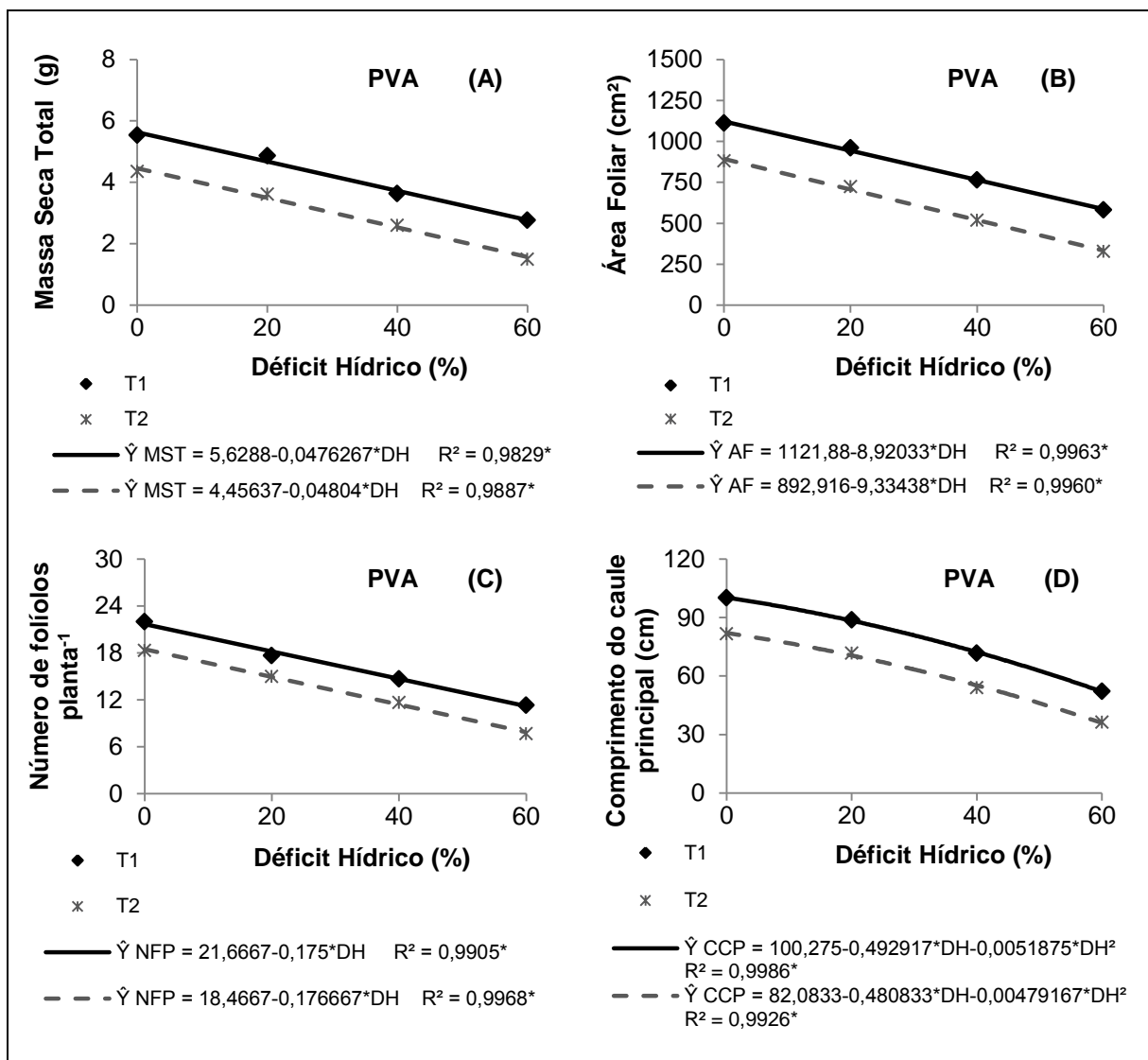
**Figura 14** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica V4 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Nas plantas cultivadas no PVA, verifica-se comportamento linear para MST (Figura 15A), AF (Figura 15B) e NFP (Figura 15C) e comportamento quadrático para CCP (Figura 15D). Nos resultados obtidos, observa-se decréscimo de aproximadamente 17, 34 e 51% na T<sub>1</sub> e de 22, 43 e 65% na T<sub>2</sub> para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico (testemunha).

Houve reduções da ordem de 16, 32 e 48% na  $T_1$  e de 21, 42 e 63% na  $T_2$ , para a AF das plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação à testemunha. Para o NFP, os decréscimos foram de aproximadamente 16, 32 e 48% na  $T_1$  e de 19, 38 e 57% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Para a variável CCP, verifica-se decréscimo da ordem de 12, 28 e 48% na  $T_1$  e de 14, 33 e 56% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Observa-se que a redução de MST, AF, NFP e CCP é maior no nível de déficit hídrico no solo, igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 14 e 15). Estes resultados são similares aos obtidos por Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004) que verificaram reduções de aproximadamente 10, 26 e 48% e 11, 23 e 35% para o CCP e NFP, respectivamente, para os níveis de 80, 60 e 40% da água disponível no solo.



**Figura 15** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica V4 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Um dos principais efeitos do déficit hídrico no solo sobre o crescimento das plantas está relacionado com a redução da expansão foliar, comportamento este encontrado para outras espécies de importância agrícola, como milho (COSTA; PINHO; PARRY, 2008), café Conilon (DARDENGO; REIS; PASSOS, 2009), entre outras.

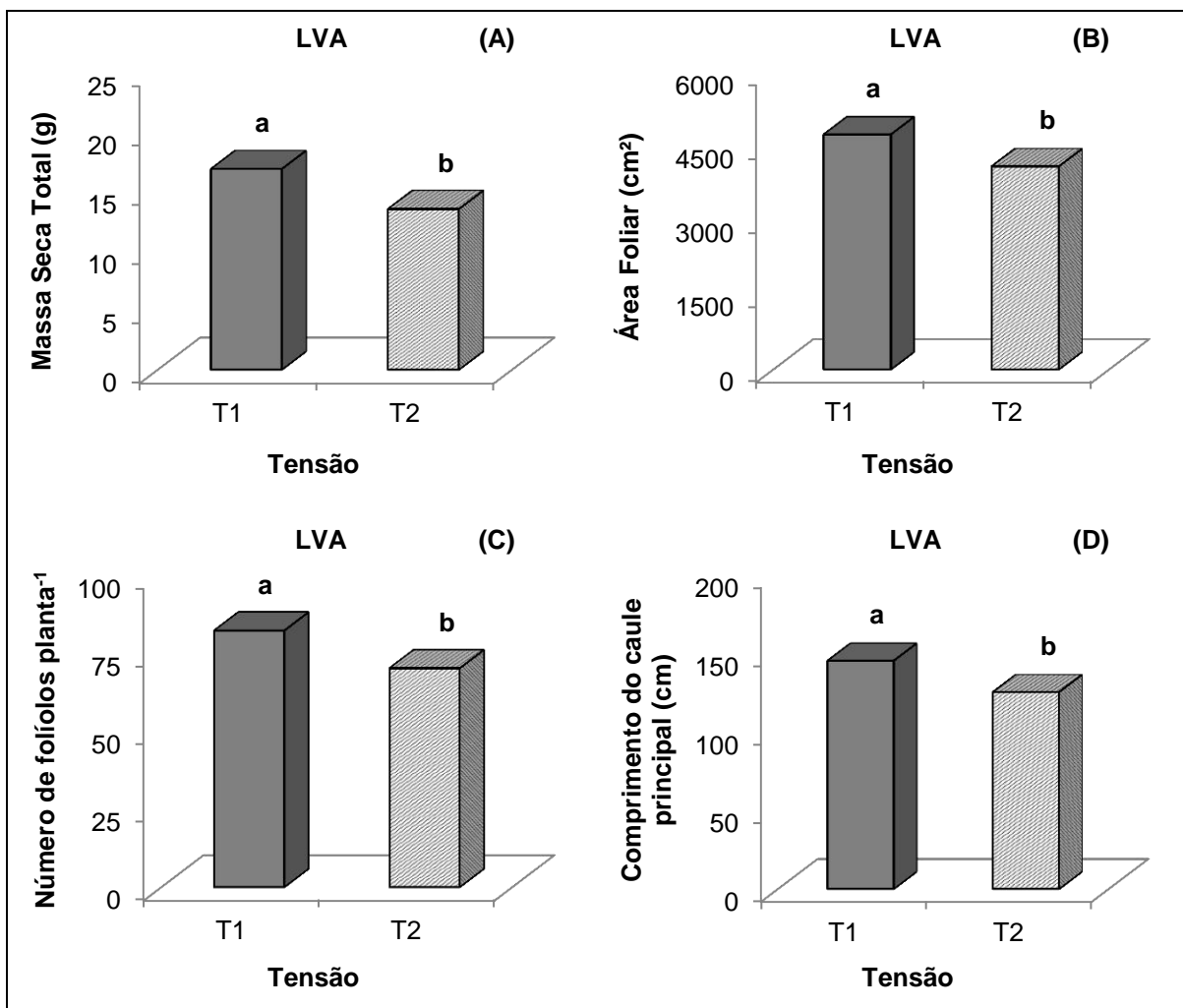
Na fase fenológica R5, ou seja, na prefloração do feijoeiro comum cultivado em um LVA (Figura 16) e PVA (Figura 17) sob os níveis de tensão em estudo, também pode ser observadas diferenças significativas para as variáveis MST (Figuras 16A e 17A), AF (Figuras 16B e 17B), NFP (Figuras 16C e 17C) e CCP (Figuras 16D e 17D), ao nível de 5% de probabilidade.

Nesta fase fenológica, a  $T_1$  utilizada para determinar a  $C_c$  proporciona maior MST (24,9%), AF (15,7%), NFP (17,2%) e CCP (15,9%) das plantas cultivadas no LVA (Figura 16), em comparação às plantas submetidas à  $C_c$  determinada pela  $T_2$ . Nesse contexto, verifica-se que o acúmulo de massa de seca total na fase R5 é maior, porque nesta fase (pré-florescimento) já estão formados a haste principal, os ramos laterais e as folhas trifolioladas, bem como as tríades de gemas na axila das folhas.

Para as plantas cultivadas no PVA (Figura 17), a  $T_1$  adotada para definir a  $C_c$  também proporcionou maior acúmulo de MST (30,6%), maior AF (22%), NFP (15,4%) e CCP (20,9%), quando comparada com as plantas submetidas à  $C_c$  definida pela  $T_2$ .

Os valores de MST, AF, NFP e CCP encontrados na fase fenológica R5 do feijoeiro comum cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com a redução da disponibilidade de água no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira e outros (2008), Silva e outros (2012) e Vale e outros (2012).





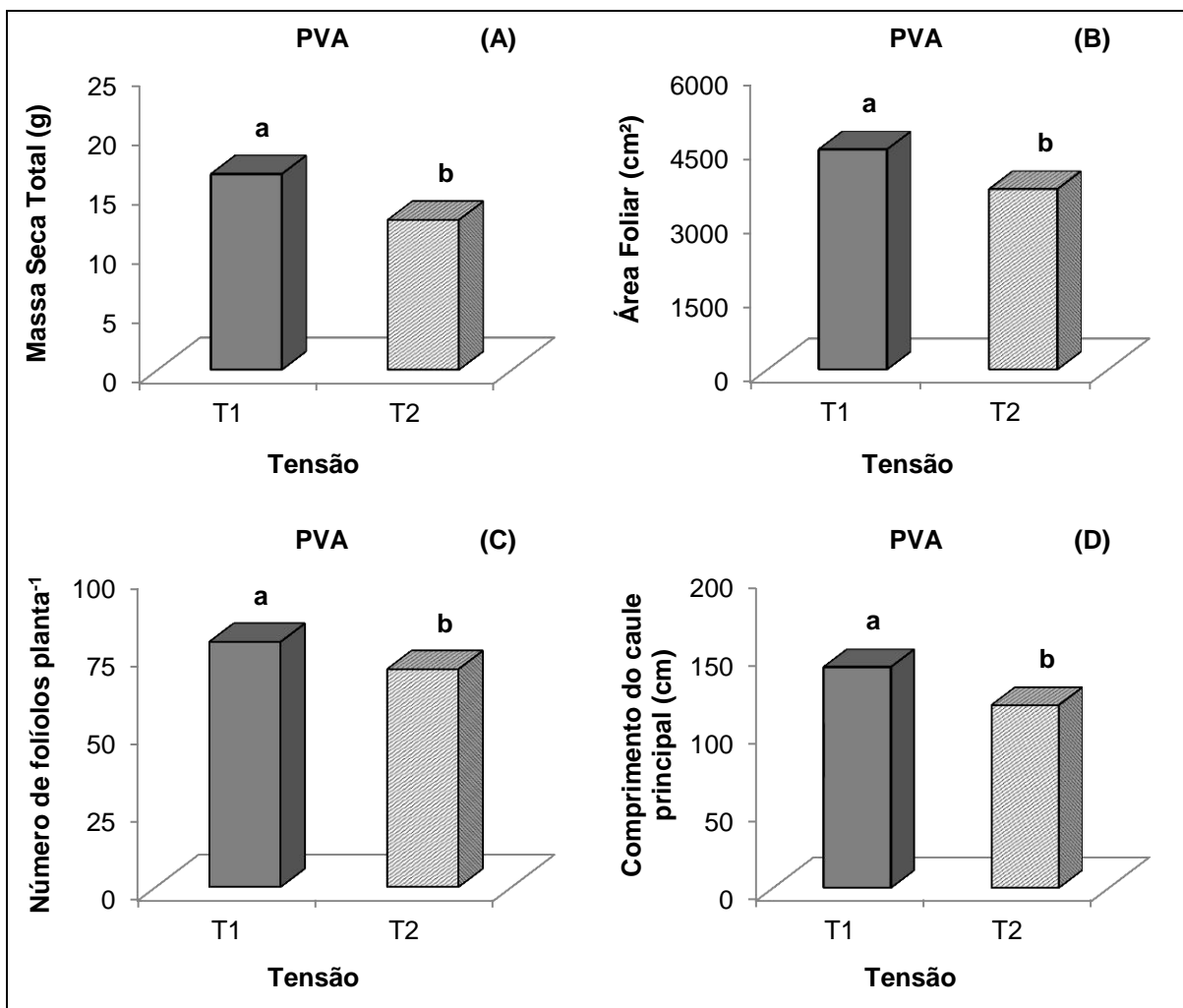
**Figura 16** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R5 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Os resultados obtidos nas fases fenológicas V4 (Figuras 12 e 13) e R5 (Figuras 16 e 17) demonstram que o efeito do nível de déficit hídrico no solo sobre o crescimento do feijoeiro está relacionado com a redução da área foliar, do número de folíolos e do comprimento do caule principal das plantas, evidenciando assim que a análise de crescimento é importante na avaliação do desenvolvimento vegetativo da cultura submetida ao déficit hídrico. Vale e outros (2012), ao trabalharem com diferentes genótipos de feijoeiro, também observaram redução nas variáveis de crescimento em resposta ao aumento do déficit hídrico.

Dentro desse contexto vale ressaltar que os efeitos do déficit hídrico são inicialmente manifestados quando a taxa de evapotranspiração é maior do que a de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para as partes aéreas da planta. Assim, reduções na produção de massa seca, fechamento dos estômatos, aumento da temperatura foliar e alterações na fotossíntese ocorrem quando há déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

De acordo com Soratto e outros (2003), a redução do nível de água disponível no solo é um fator limitante no crescimento e na produtividade do feijoeiro, principalmente em três fases críticas, que são a germinação, o florescimento e o enchimento de grãos. Para Molina e outros (2001), os genótipos de feijão respondem de forma diferenciada ao déficit hídrico no solo durante o período da floração independentemente da magnitude do estresse hídrico aos quais os mesmos são submetidos.

Quanto às respostas ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do feijoeiro comum, Oliveira e outros (2008) observaram que, de forma geral, a cultura é sensível durante a floração e o início de formação da vagem, embora responda também no período de enchimento do grão e, em menor escala, no crescimento vegetativo.



**Figura 17** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R5 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

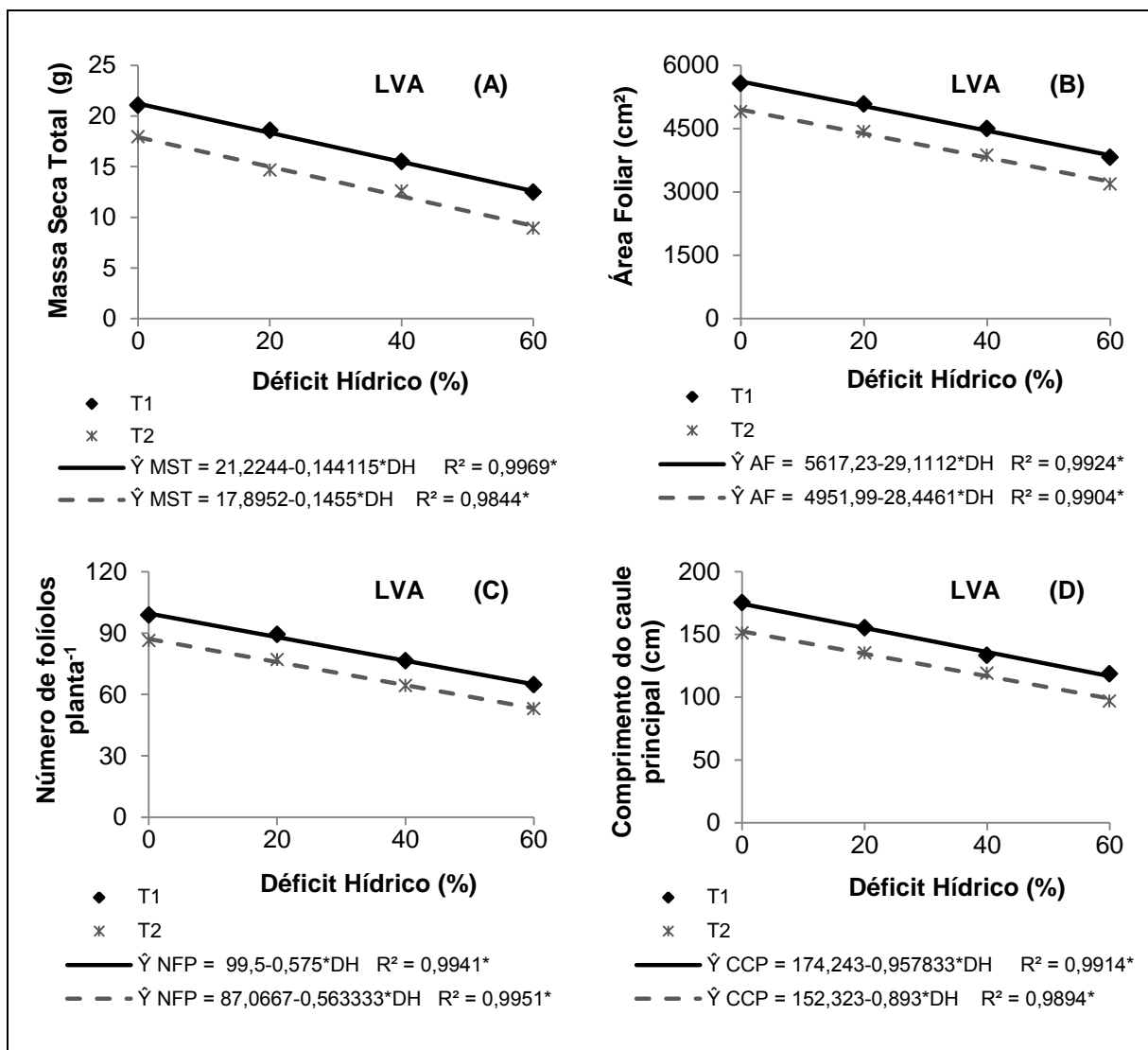
Observa-se que os níveis de déficit hídrico aplicados no solo influenciam significativamente o crescimento na fase fenológica R5 do feijoeiro comum, cultivado em um LVA (Figura 18) e PVA (Figura 19).

As variáveis MST (Figura 18A), AF (Figura 18B), NFP (Figura 18C) e CCP (Figura 18D) das plantas cultivadas no LVA foram reduzidas linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ).

Nos resultados estimados, verifica-se decréscimo de aproximadamente 14, 27 e 41% na  $T_1$  e de 16, 33 e 49% na  $T_2$  para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve reduções da ordem de 10, 21 e 31% na  $T_1$  e de 11, 23 e 34% na  $T_2$ , para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com a testemunha (DH = 0%). Para o NFP, o decréscimo é de aproximadamente 11, 23 e 35% na  $T_1$  e de 13, 26 e 39% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação à testemunha no LVA.

Para a variável CCP, verifica-se decréscimo da ordem de 11, 22 e 33% na  $T_1$  e de 12, 23 e 35% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas mantidas com a umidade próxima da capacidade de campo.



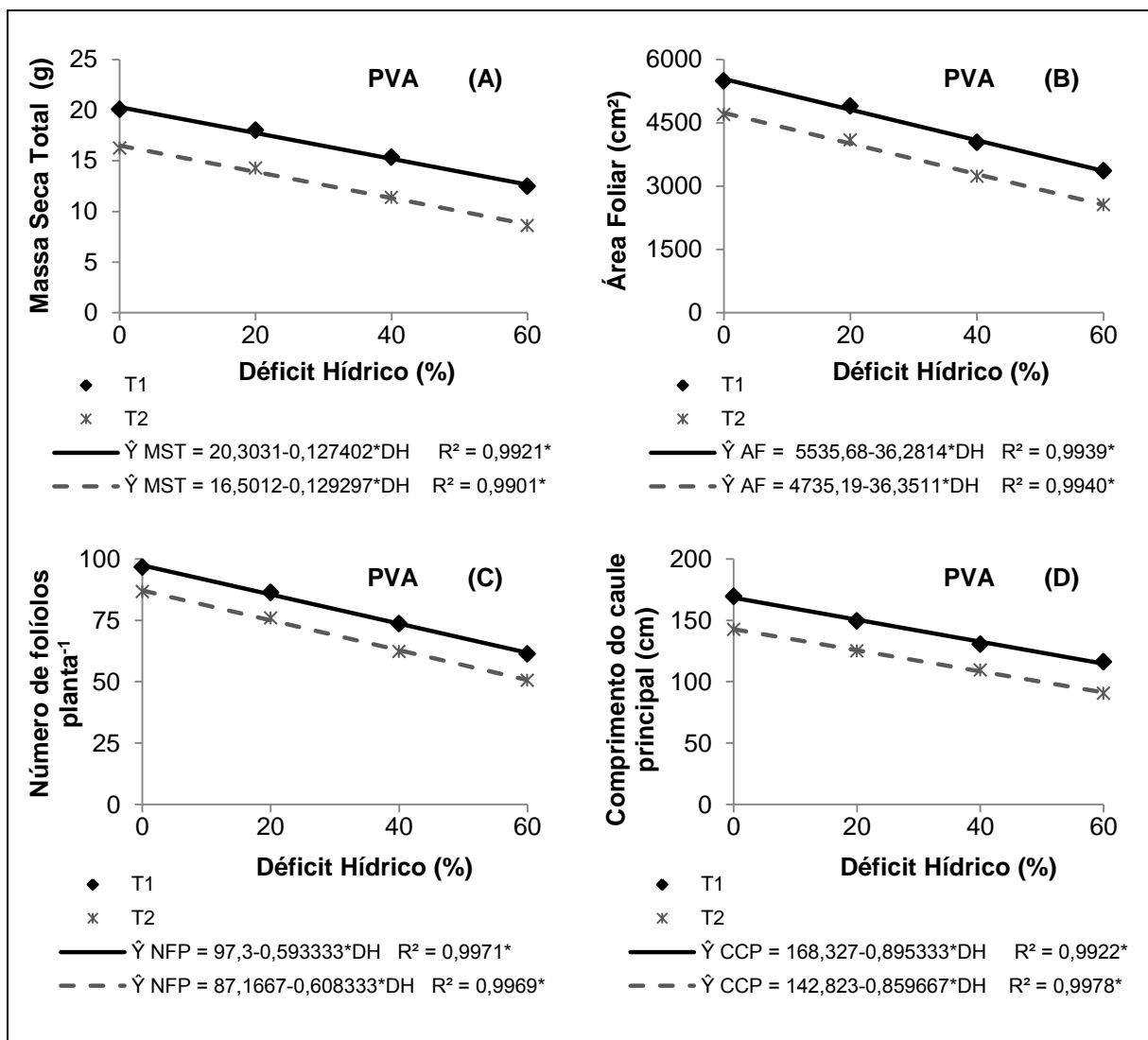
**Figura 18** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R5 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Observa-se comportamento linear para as variáveis MST (Figura 19A), AF (Figura 19B), NFP (Figura 19C) e CCP (Figura 19D) das plantas cultivadas no PVA sob diferentes níveis de déficit hídrico. Pelos resultados estimados pelas equações, verifica-se redução da ordem de 13, 25 e 38% na T<sub>1</sub> e de 15, 31 e 47% na T<sub>2</sub> para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve decréscimos de aproximadamente de 13, 26 e 39% na  $T_1$  e de 15, 31 e 46% na  $T_2$  para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação à testemunha. Para o NFP, as reduções são da ordem de 12, 24 e 37% na  $T_1$  e de 14, 28 e 42% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação à testemunha no PVA.

Para a variável CCP, nota-se decréscimo da ordem de 10, 21 e 31% na  $T_1$  e de 12, 24 e 36% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas mantidas com a umidade próxima da capacidade de campo.

Verifica-se que os decréscimos de MST, AF, NFP e CCP são maiores em magnitude no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível no LVA (Figura 18) e no PVA (Figura 19). Resultados análogos foram obtidos por Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004) ao avaliarem o efeito de diferentes níveis de água disponível no solo sobre o crescimento de feijão-caupi.



**Figura 19** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R5 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Observa-se respostas significativas ( $p < 0,05$ ) para as variáveis de crescimento (Figuras 20 e 22) e para os componentes de produção (Figuras 21 e 23) avaliados na fase fenológica R8, ou seja, no enchimento de grãos do feijoeiro, cultivar Ouro Negro, cultivado no solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA), respectivamente, submetidos aos níveis de tensão em estudo.

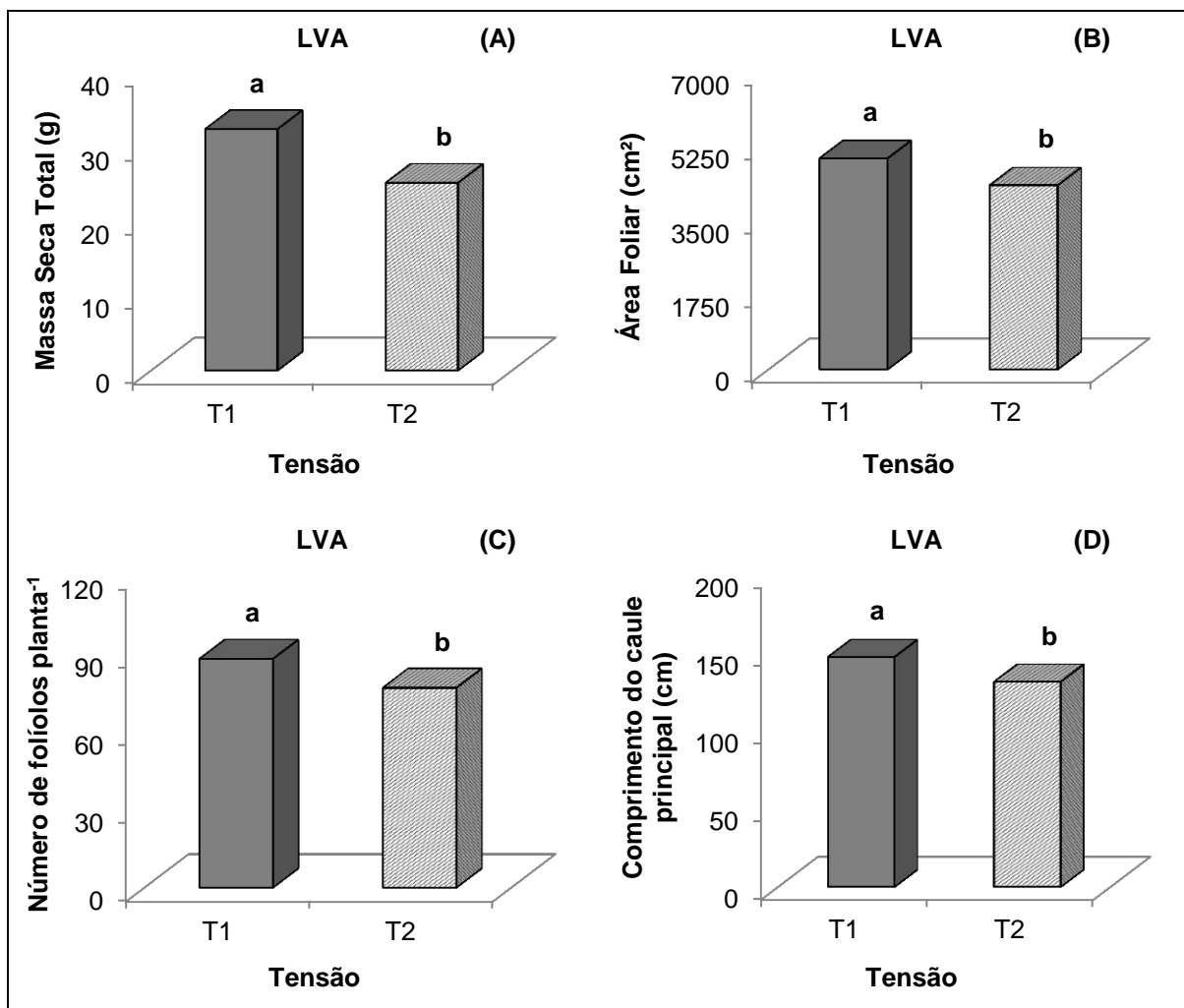
Nesta fase, a  $T_1$  utilizada para determinar a  $C_c$  proporcionou maiores valores de MST (28,6%), AF (19,3%), NFP (14,5%) e CCP (12,1%) nas plantas cultivadas no LVA (Figura 20A, 20B, 20C e 20D), respectivamente, em comparação às plantas submetidas à  $C_c$  definida pela  $T_2$ , pelo fato do nível de água disponível no solo na  $T_1$  ser superior a  $T_2$ . Nesse contexto, vale destacar que na fase fenológica R8, o crescimento foi maior, devido ao desenvolvimento de todos os ramos laterais, de vagens e grãos, que estão em fase de enchimento.

Além disso, na fase fenológica R8, houve resposta significativa ( $p < 0,05$ ) para os componentes de produção do feijoeiro comum cultivado em um LVA (Figura 21A, 21B, 21C e 21D) e submetido aos níveis de tensão em estudo.

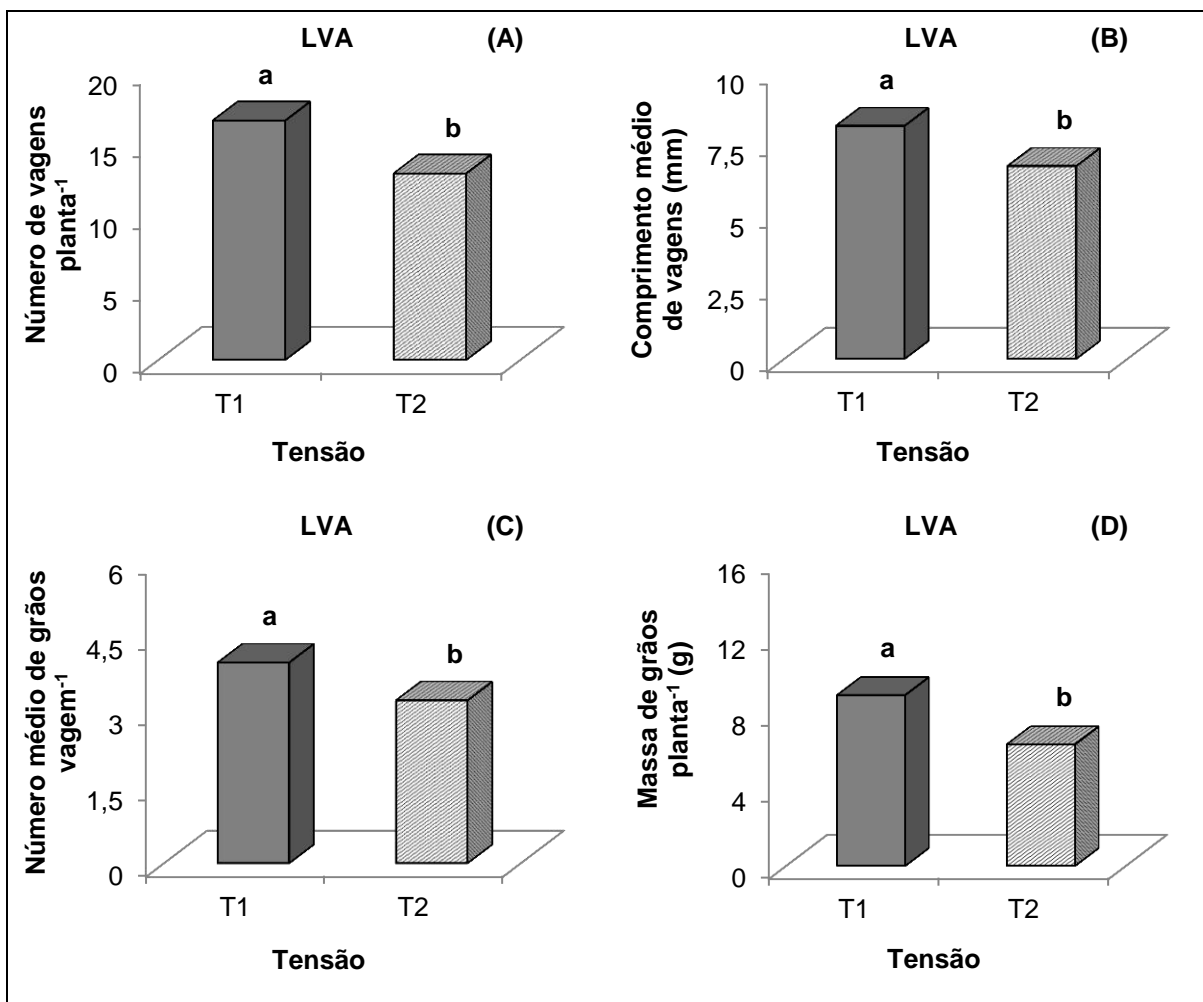
Para as plantas cultivadas no LVA, a  $T_1$  também proporcionou maior número de vagens por planta (28,4%), comprimento médio de vagens por planta (20,9%), número médio de grãos por vagem (23,2%) e massa de grãos por planta (40,5%), em relação às plantas submetidas à  $C_c$  determinada pela  $T_2$ .

Estes resultados permitem afirmar que o nível de tensão utilizado para determinar a  $C_c$  para um determinado solo exerce influencia significativa sobre o crescimento e a produção do feijoeiro comum, porque o teor de umidade do solo na  $C_c$  varia com o nível de tensão adotado em sua determinação. Mas, principalmente porque em maiores potenciais matriciais do solo, ou seja, em menores tensões, há maior retenção e disponibilidade de água no solo.





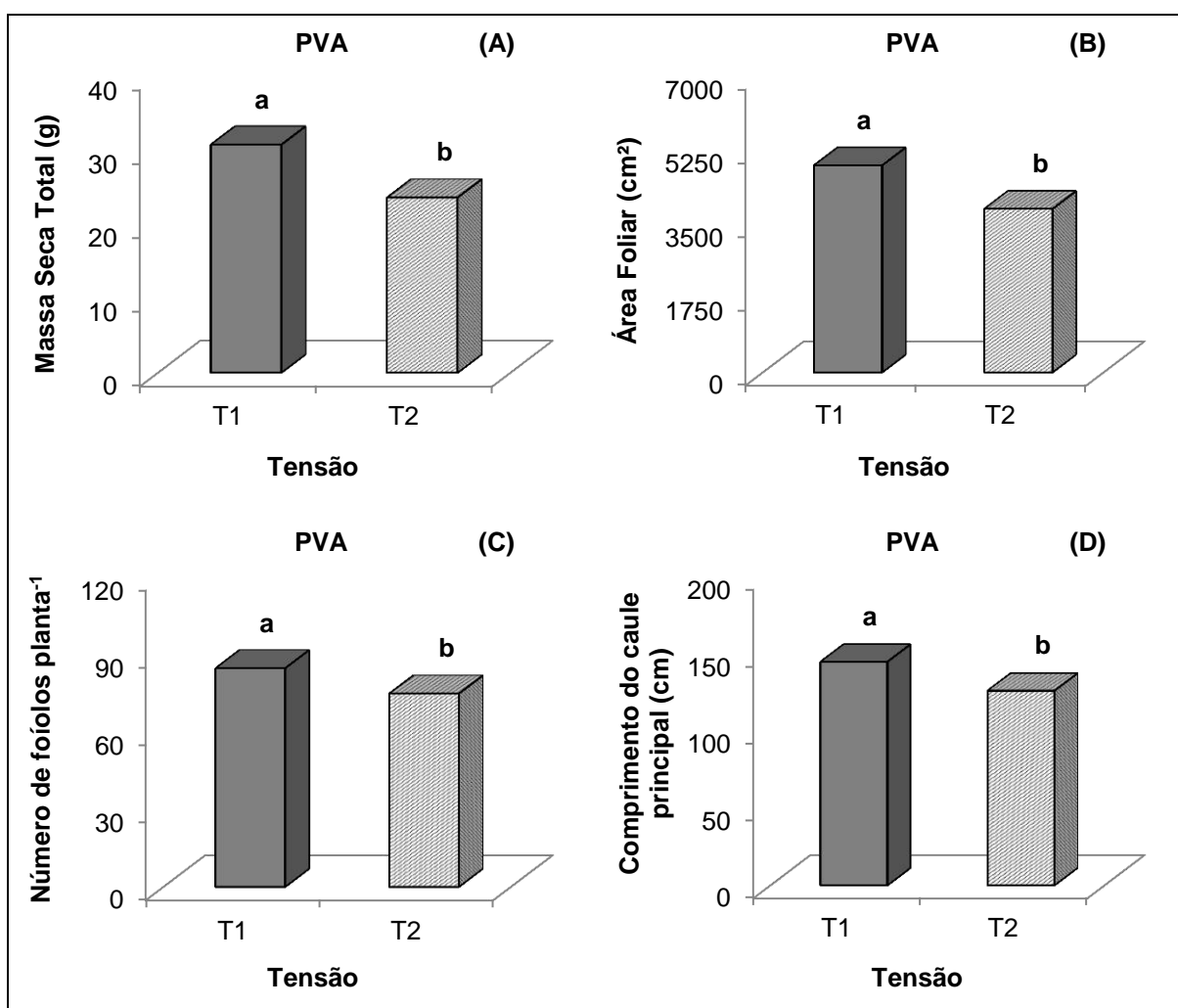
**Figura 20** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).



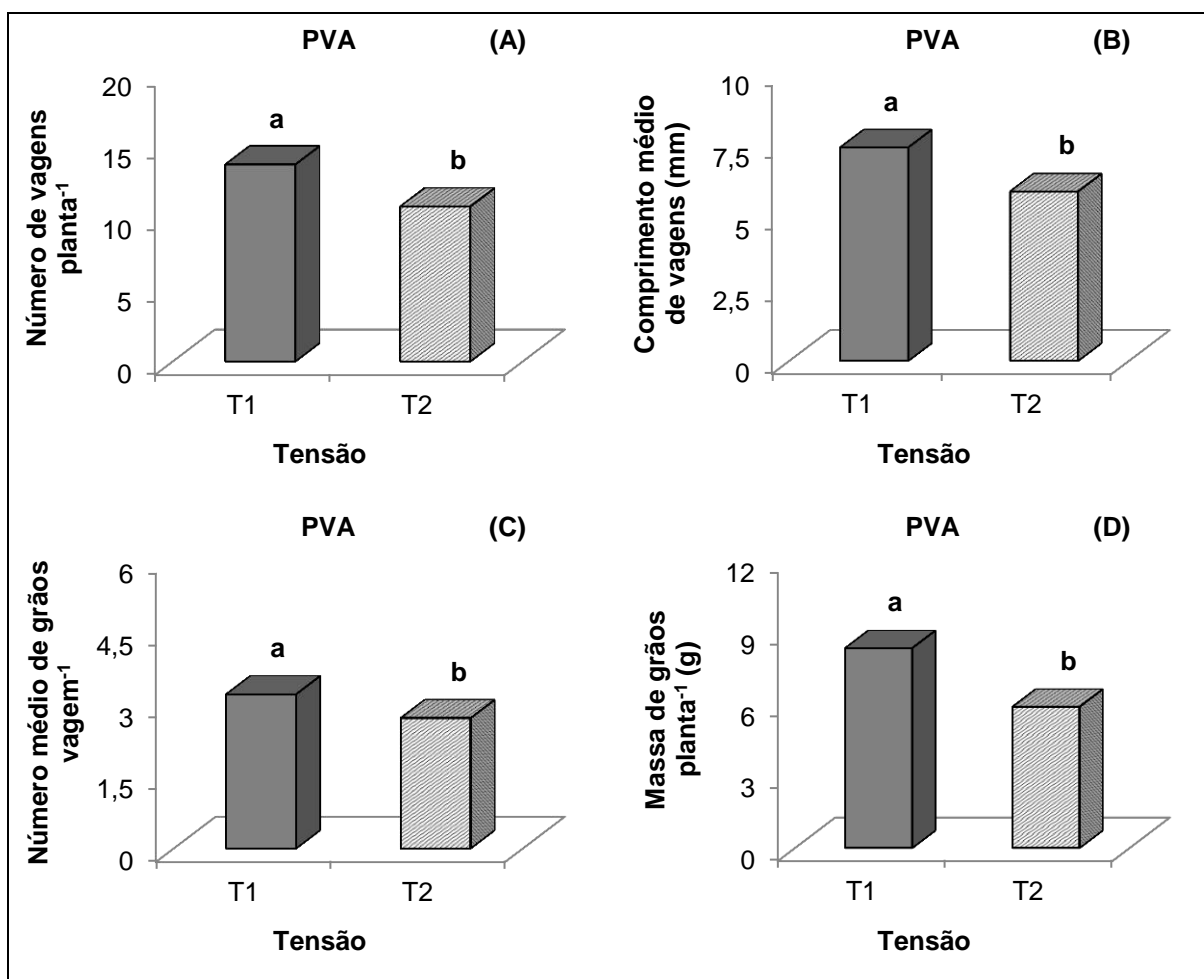
**Figura 21** - Valores médios obtidos para número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Para o feijoeiro cultivado no PVA (Figura 22), a T<sub>1</sub> adotada para definir a Cc proporcionou maior MST (30,3%), AF (26,6%), NFP (13,1%) e CCP (14,9%), em relação às plantas submetidas à Cc definida pela T<sub>2</sub>. Verifica-se que os valores de MST, AF, NFP e CCP determinados na fase fenológica R8 do feijoeiro cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com o aumento do nível de déficit hídrico no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Pavani, Lopes e Pereira (2009) e Vale e outros (2012).

Comportamento similar foi observado para os componentes de produção do feijoeiro cultivado no PVA (Figura 23), pois a T<sub>1</sub> também proporcionou maior NVP (27,1%), CMV (26%), NMG (18,3%) e MGP (41,6%), em relação às plantas submetidas à Cc determinada pela T<sub>2</sub>. Dentro desse contexto, verifica-se que o nível de água disponível no solo em função dos níveis de tensão em estudo afeta significativamente o crescimento e a produção da cultura por limitar o potencial hídrico foliar, a expansão foliar, a formação de vagens e o enchimento de grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por Guimarães e outros (2011).



**Figura 22** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).



**Figura 23** - Valores médios obtidos para número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

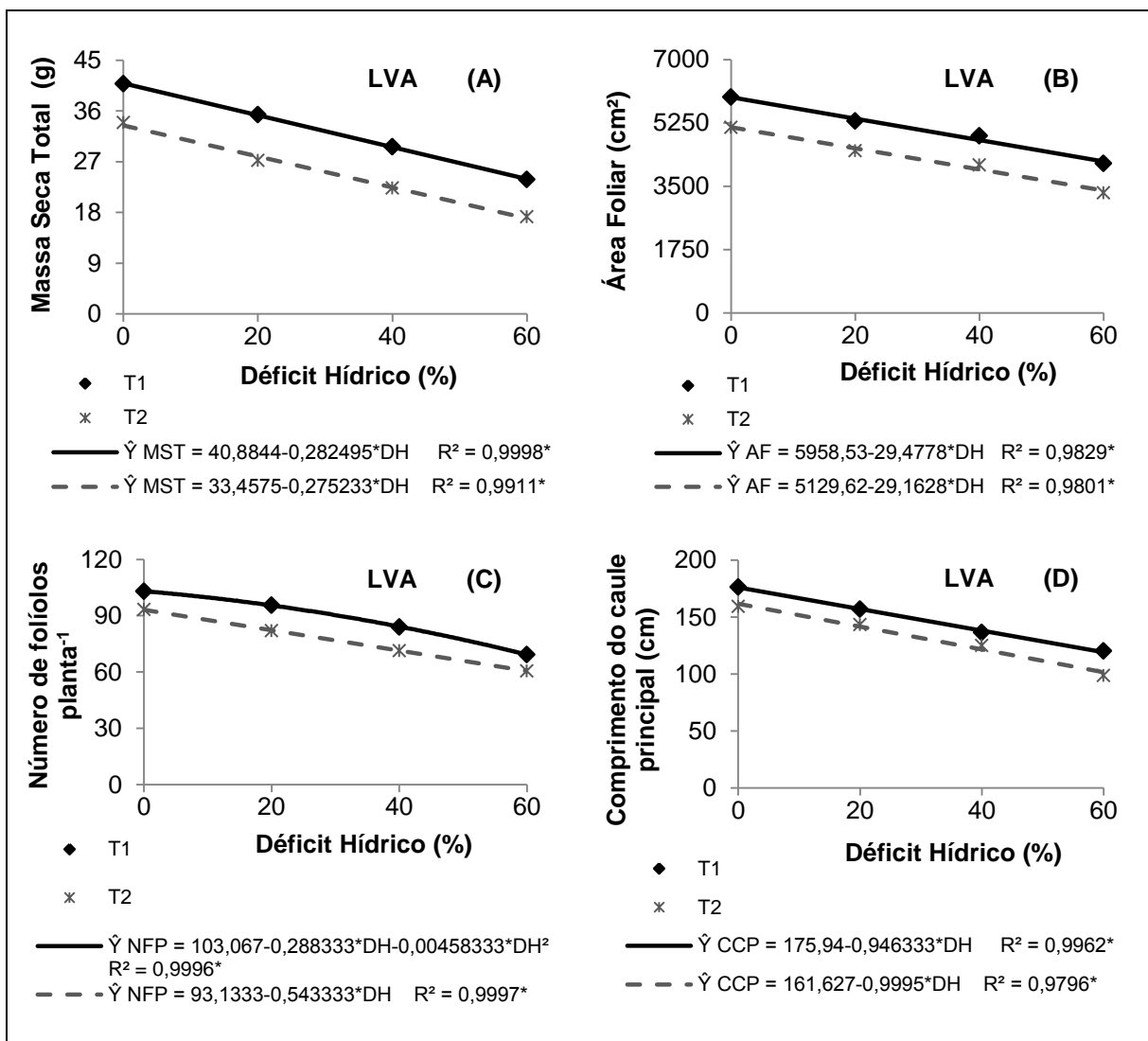
Observa-se que os níveis de déficit hídrico aplicados no solo influenciam significativamente o crescimento e a produção na fase fenológica R8 do feijoeiro comum, cultivado em um LVA (Figuras 24 e 25) e PVA (Figuras 26 e 27).

As variáveis MST (Figura 24A), AF (Figura 24B) e CCP (Figura 24D) cultivada no LVA foram reduzidas linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ), com exceção do NFP (Figura 24C) que apresentou comportamento quadrático para T<sub>1</sub> e linear para a T<sub>2</sub>.

Pelos resultados estimados pelas equações, verificaram-se decréscimos de aproximadamente 13, 27 e 41% na  $T_1$  e de 16, 33 e 49% na  $T_2$ , para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve reduções da ordem de 10, 20 e 30% na  $T_1$  e de 11, 23 e 34% na  $T_2$ , para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NFP, o decréscimo é de aproximadamente 7, 18 e 33% na  $T_1$  e de 12, 23 e 35% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Quanto a variável CCP, constata-se decréscimo da ordem de 11, 22 e 32% na  $T_1$  e de 12, 25 e 37% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparada com as plantas mantidas com a umidade próxima da capacidade de campo.



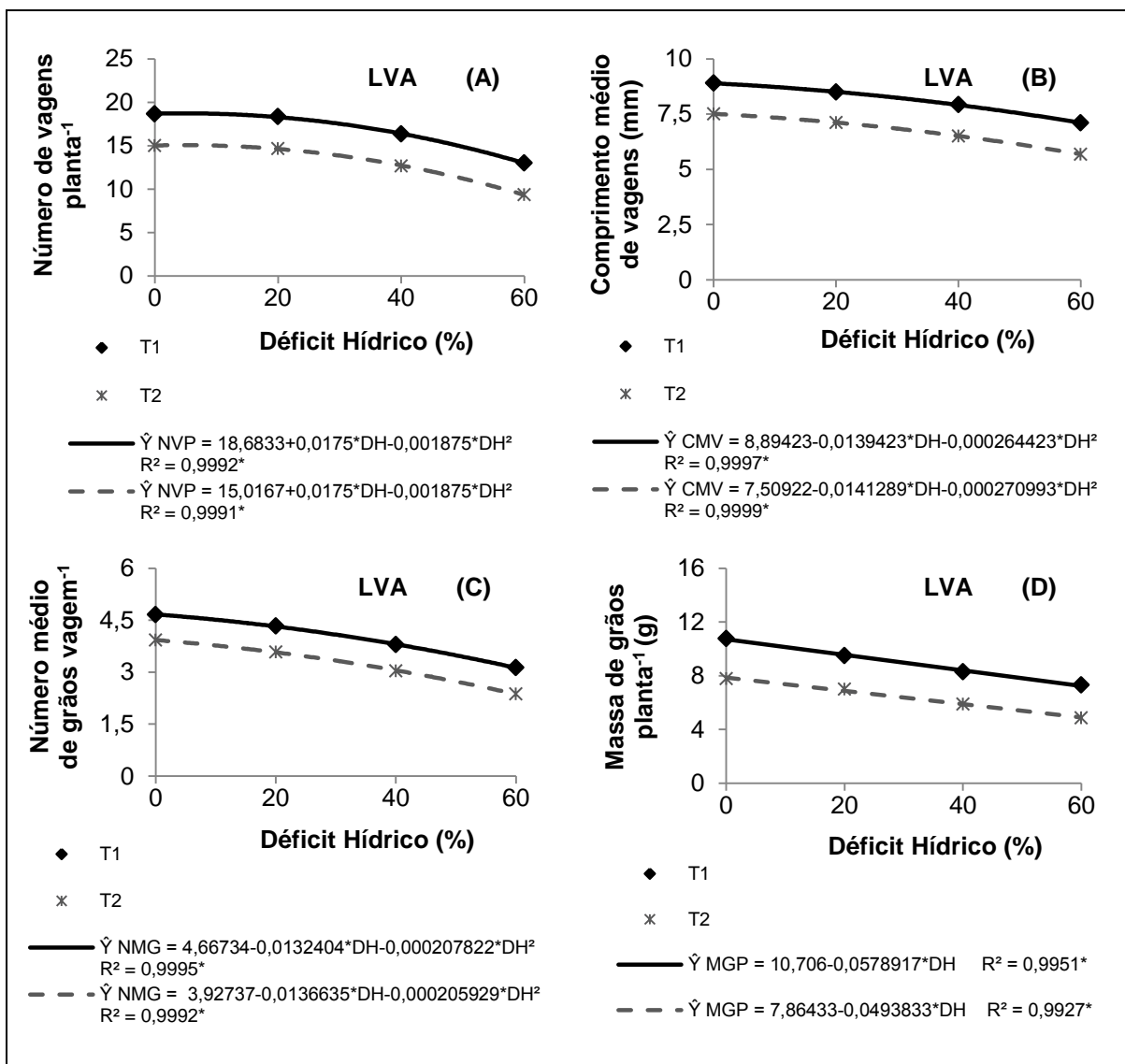
**Figura 24** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Nas plantas cultivadas no LVA, verifica-se comportamento quadrático para NVP (Figura 25A), CMV (Figura 25B) e NMG (Figura 25C) e comportamento linear para MGP (Figura 25D). Nos resultados estimados, observa-se redução de aproximadamente 2, 12 e 31% na T<sub>1</sub> e de 3, 15 e 38% na T<sub>2</sub> para o NVP submetida ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve decréscimos da ordem de 4, 11 e 20% na  $T_1$  e de 5, 13 e 24% na  $T_2$ , para o CMV das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NMG, as reduções são de aproximadamente 7, 18 e 33% na  $T_1$  e de 9, 22 e 40% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas sem déficit no LVA.

Para o componente MGP, observa-se redução de aproximadamente 11, 22 e 32% na  $T_1$  e de 13, 25 e 37% na  $T_2$  para as plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas mantidas com a umidade próxima da capacidade de campo no LVA.

Nota-se que os decréscimos das variáveis de crescimento e dos componentes de produção foram maiores no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 24, 25, 26 e 27). Estes resultados estão próximos aos obtidos por Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004) que verificaram reduções de aproximadamente 16, 32 e 49%; 8, 16 e 24%; e 3, 9 e 22% para o NVP, CMV e NGV, respectivamente, para os níveis de 80, 60 e 40% da água disponível no solo.



**Figura 25** - Número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

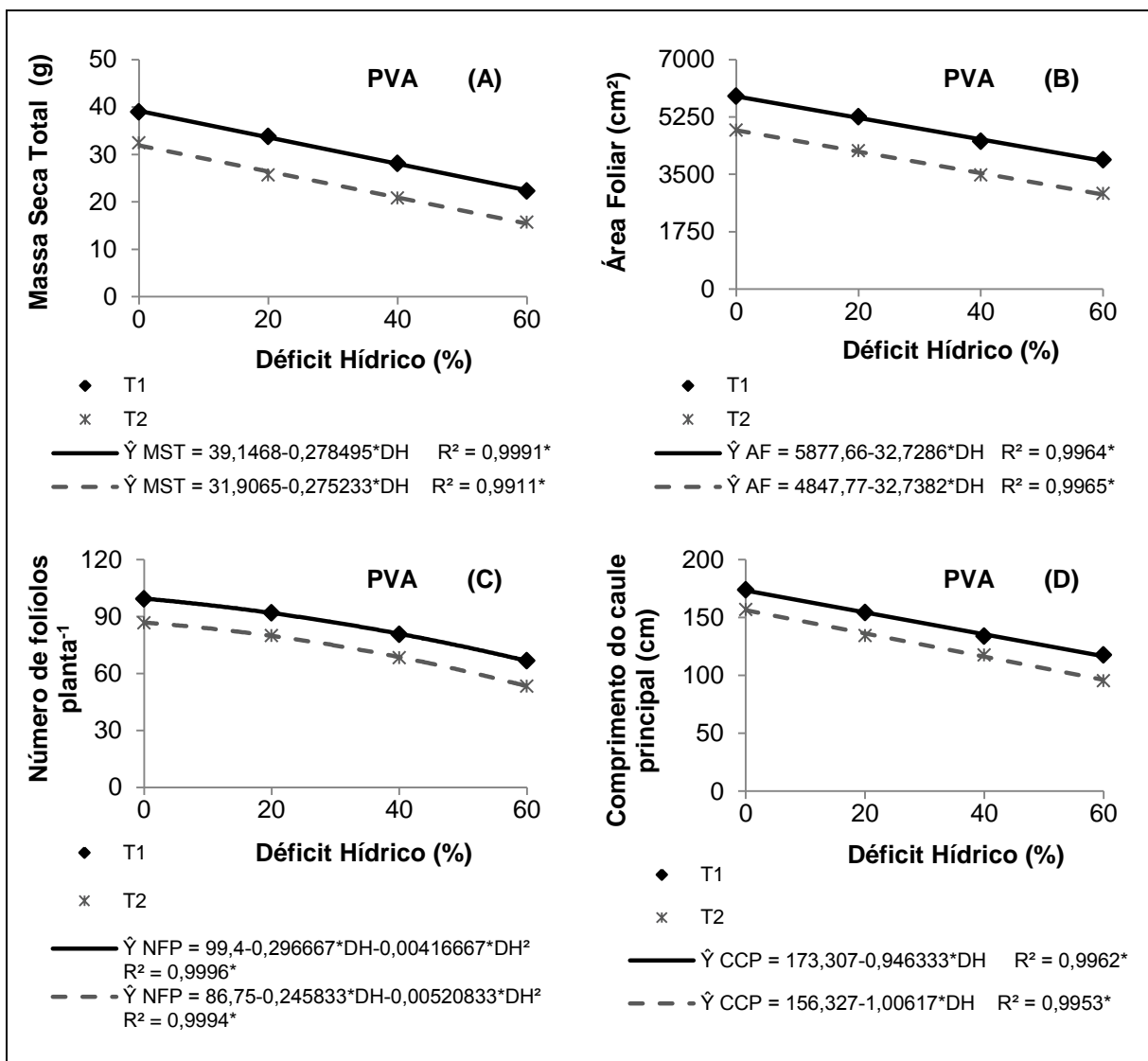
As variáveis MST (Figura 26A), AF (Figura 26B) e CCP (Figura 26D) das plantas cultivadas no PVA apresentam comportamento linear em função do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ), com exceção do NFP (Figura 26C) que apresenta comportamento quadrático para T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> adotadas para determinar a Cc.



Nos resultados estimados, observa-se redução de aproximadamente 14, 28 e 43% na  $T_1$  e de 17, 35 e 52% na  $T_2$ , para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve decréscimos da ordem de 11, 22 e 33% na  $T_1$  e de 14, 27 e 41% na  $T_2$ , para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NFP, a redução é de aproximadamente 7, 18 e 33% na  $T_1$  e de 8, 21 e 39% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Para a variável CCP, constata-se decréscimo da ordem de 10, 21 e 33% na  $T_1$  e de 13, 26 e 39% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.



**Figura 26** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

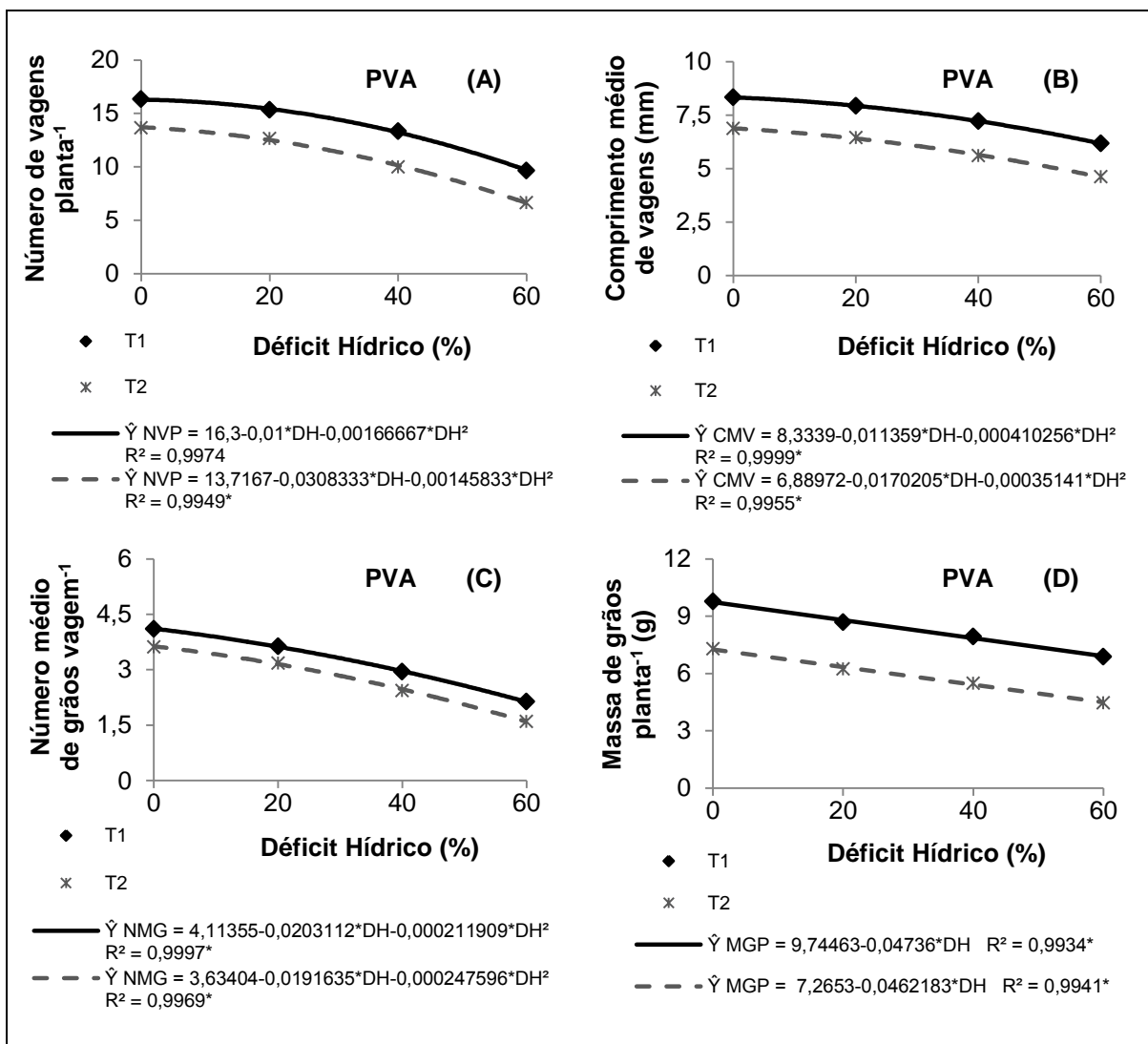
Nas plantas cultivadas no PVA, observa-se comportamento quadrático para NVP (Figura 27A), CMV (Figura 27B) e NMG (Figura 27C) e comportamento linear para MGP (Figura 27D). Pelos resultados estimados pelas equações, verifica-se decréscimo de aproximadamente 5, 19 e 40% na T<sub>1</sub> e de 9, 26 e 52% na T<sub>2</sub> para o NVP submetida ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve reduções da ordem de 5, 13 e 26% na  $T_1$  e de 7, 18 e 33% na  $T_2$ , para a CMV das plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NMG, as reduções são de aproximadamente 12, 28 e 48% na  $T_1$  e de 13, 32 e 52% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Para o componente MGP, verifica-se decréscimo de aproximadamente 10, 19 e 29% na  $T_1$  e de 12, 25 e 38% na  $T_2$  para as plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Constata-se que as reduções das variáveis de crescimento e dos componentes de produção são maiores no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 24, 25, 26 e 27). Estes resultados estão próximos aos obtidos por Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004) que verificaram reduções de aproximadamente 13, 23 e 30%; e 3, 8 e 13% para a massa de vagens por planta e massa de grãos por planta, respectivamente, para os níveis de 80, 60 e 40% da água disponível no solo.

Para Silveira e Stone (2006), a redução da produtividade do feijoeiro submetido ao déficit hídrico é devido à baixa porcentagem de vingamento das flores, associada à redução da massa dos grãos e do número de vagens por planta. Munoz-Perea e outros (2007), em condições de déficit hídrico severo, verificaram diferenças entre cultivares de feijoeiro quanto à eficiência de uso da água que variou de 1,5 a 4,4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

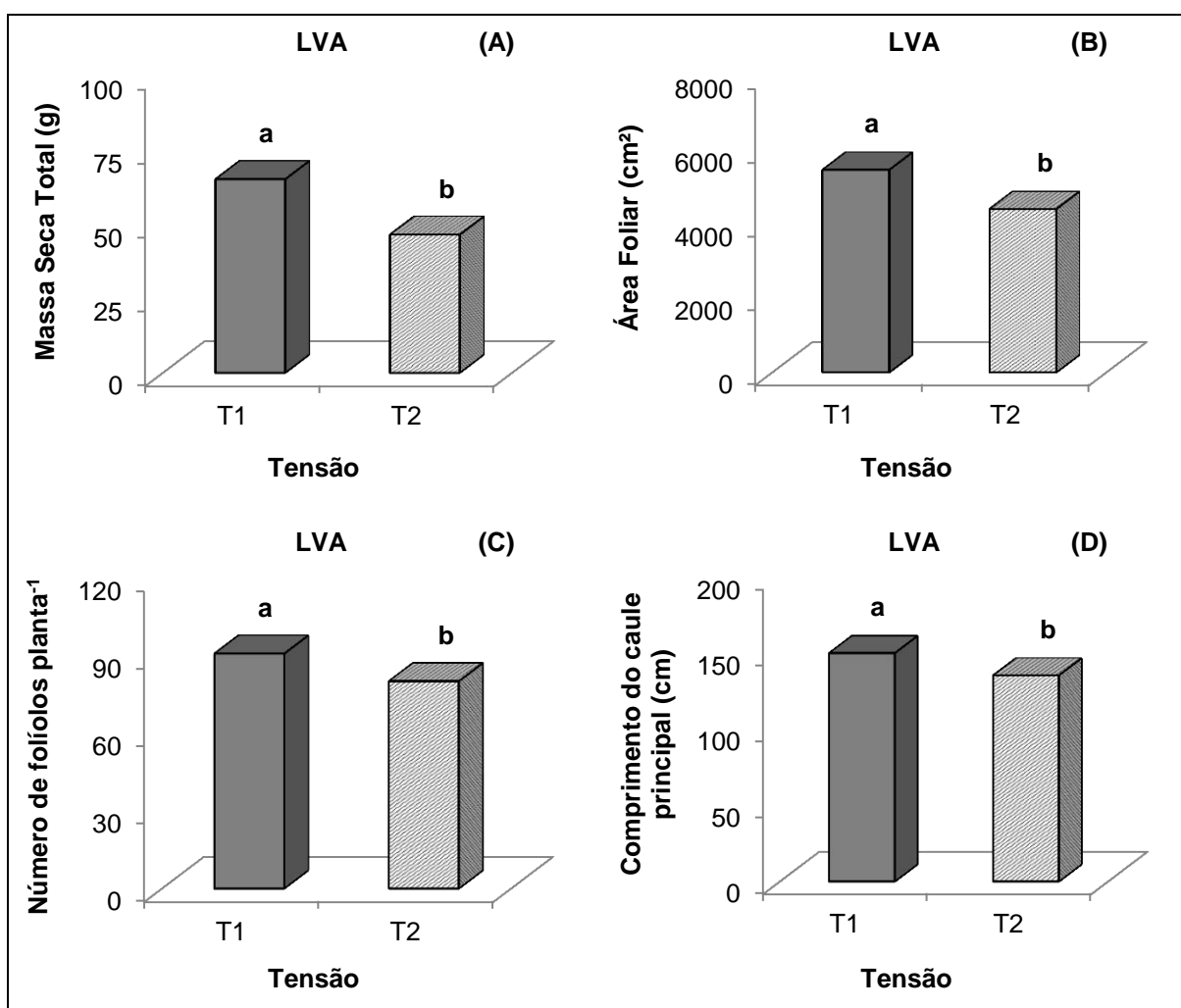


**Figura 27** - Número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R8 do feijoeiro, no PVA.

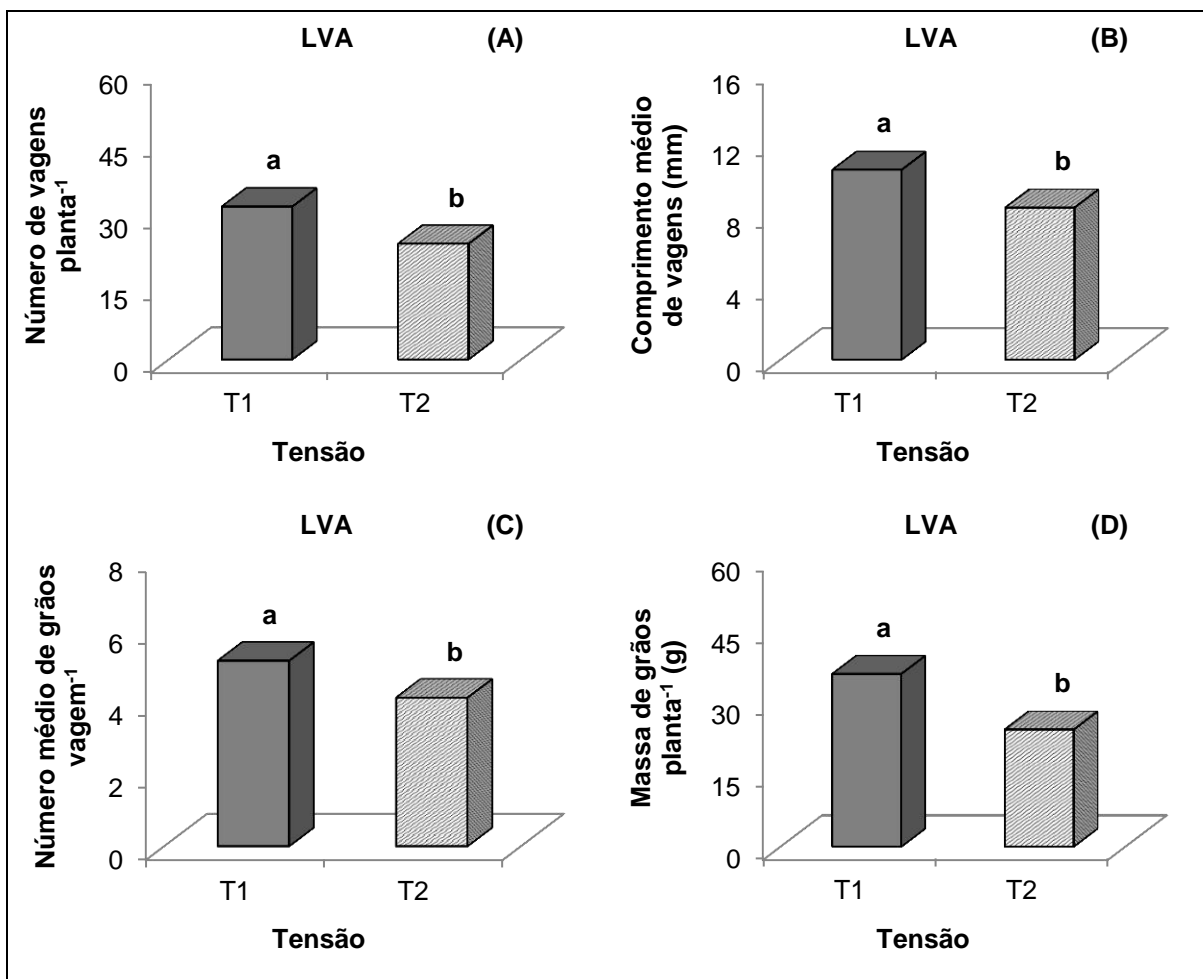
Houve respostas significativas ( $p < 0,05$ ) para as variáveis de crescimento (Figuras 28 e 30) e para os componentes de produção (Figuras 29 e 31) avaliados na fase fenológica R9, ou seja, na maturidade fisiológica do feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, cultivado no solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA), respectivamente, e submetidos aos níveis de tensão em estudo.

Na fase fenológica R9, a T<sub>1</sub> adotada para determinar a Cc proporcionou maior MST (40,2%), AF (24%), NFP (13,3%) e CCP (10,8%) nas plantas cultivadas no LVA (Figura 28), em relação às plantas submetidas à Cc definida pela T<sub>2</sub>, pelo fato do nível de água disponível no solo na T<sub>1</sub> ser superior a T<sub>2</sub>.

Para o feijoeiro cultivado no LVA (Figura 29), a T<sub>1</sub> também proporcionou maior NVP (32,2%), CMV (24,9%), NMG (24,8%) e MGP (47,5%), em relação às plantas submetidas à Cc determinada pela T<sub>2</sub>.



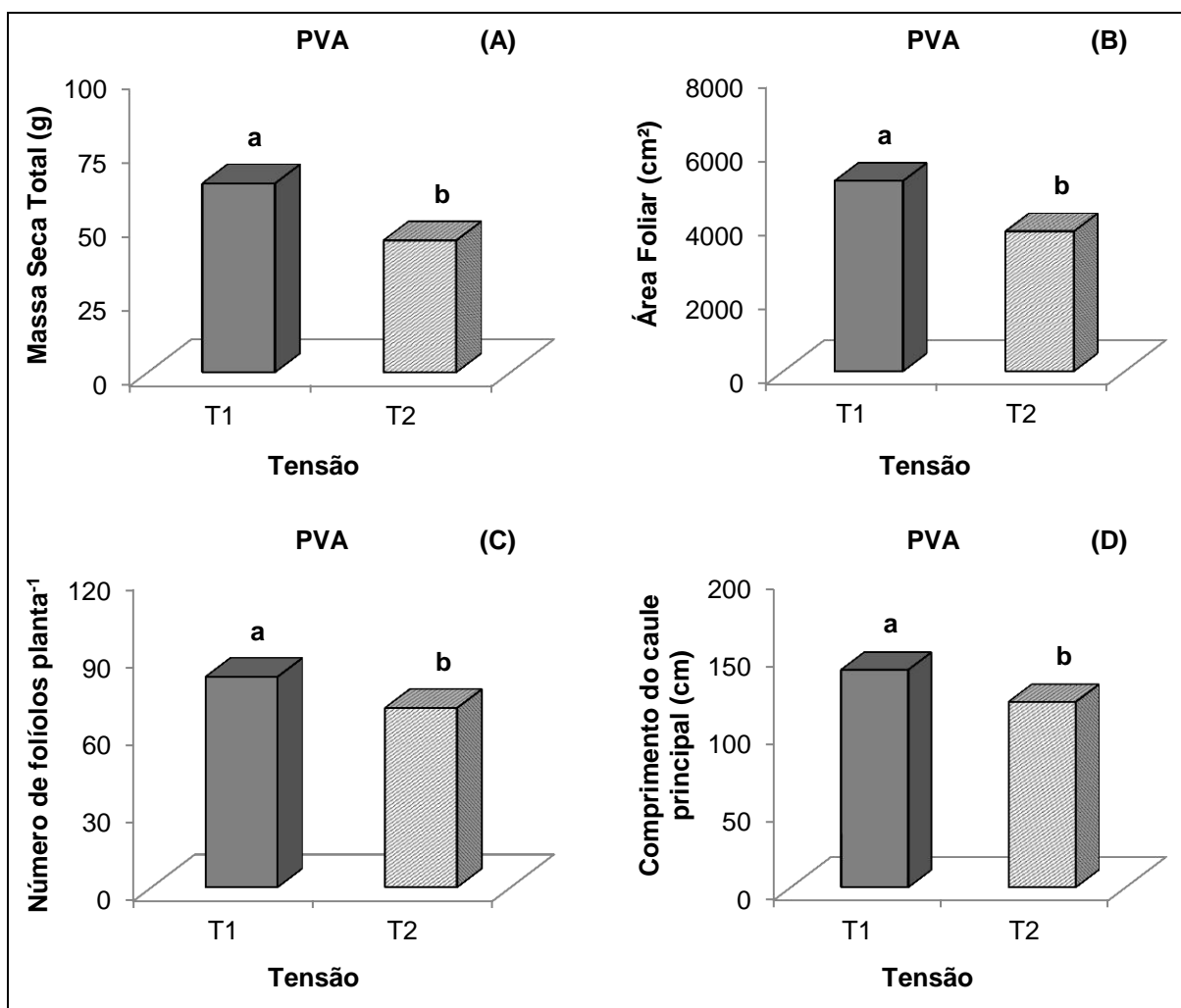
**Figura 28** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).



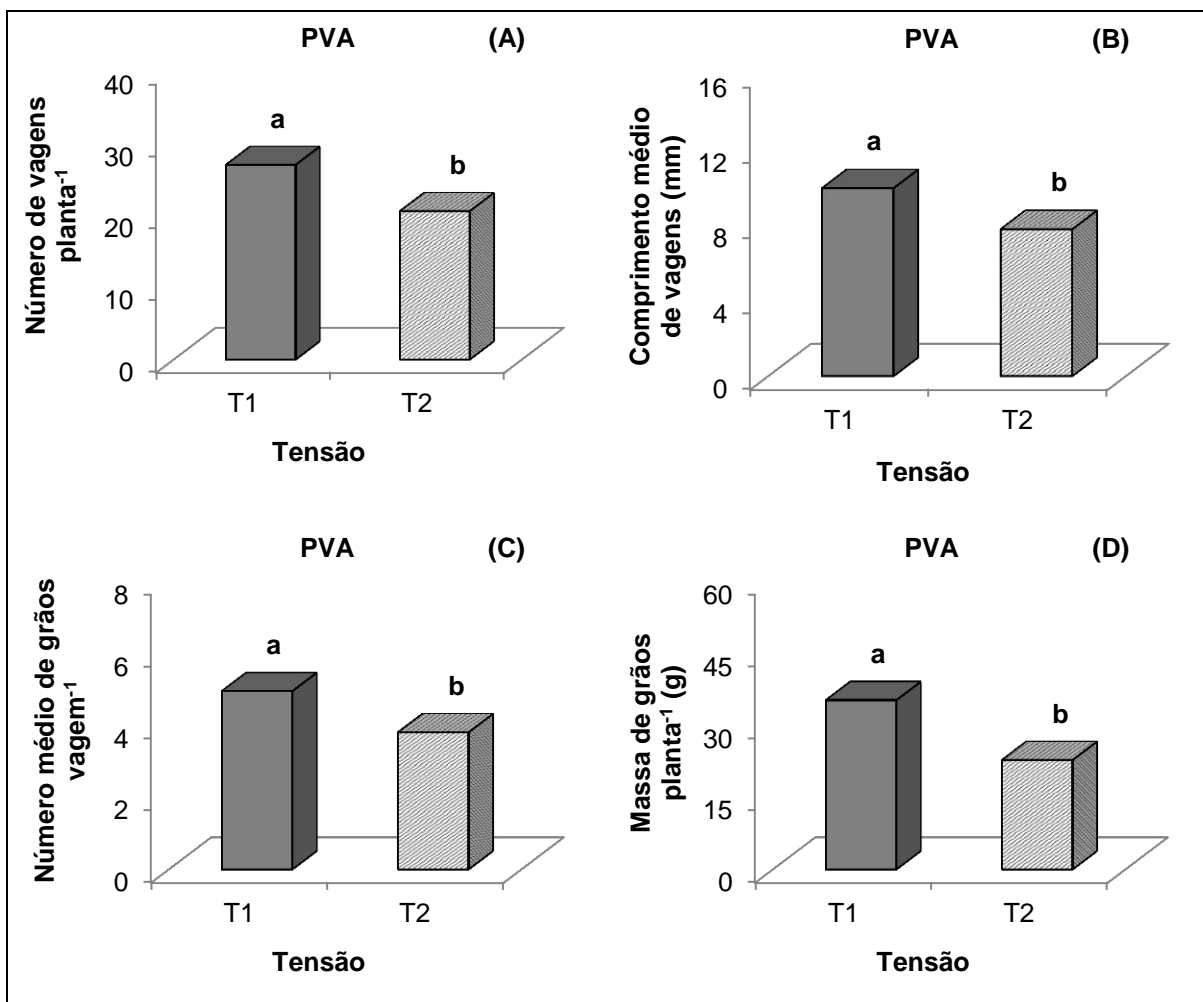
**Figura 29** - Valores médios obtidos para número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Para o feijoeiro cultivado no PVA (Figura 30), a T<sub>1</sub> adotada para definir a Cc proporcionou maior MST (43,3%), AF (36%), NFP (17,3%) e CCP (17,4%), em relação às plantas submetidas à Cc definida pela T<sub>2</sub>. Observa-se que os valores de MST, AF, NFP e CCP determinados na fase fenológica R9 do feijoeiro cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com o aumento do nível de déficit hídrico no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Vale e outros (2012).

Comportamento análogo foi observado para os componentes de produção do feijoeiro cultivado no PVA (Figura 31), pois a T<sub>1</sub> também proporcionou maior NVP (31,2%), CMV (27,9%), NMG (30%) e MGP (54,7%), em relação às plantas submetidas à Cc determinada pela T<sub>2</sub>.



**Figura 30** - Valores médios obtidos para massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).



**Figura 31** - Valores médios obtidos para número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos níveis de tensão, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Verifica-se, na fase fenológica R9, que os níveis de déficit hídrico no solo, influenciam significativamente o crescimento e a produção do feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, cultivado em um LVA (Figuras 32 e 33) e PVA (Figuras 34 e 35). Nesse contexto, as variáveis MST (Figura 32A), AF (Figura 32B) e CCP (Figura 32D) cultivadas no LVA foram reduzidas linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ), exceto o NFP (Figura 32C) que apresentou comportamento quadrático para T<sub>1</sub> e linear para a T<sub>2</sub>.

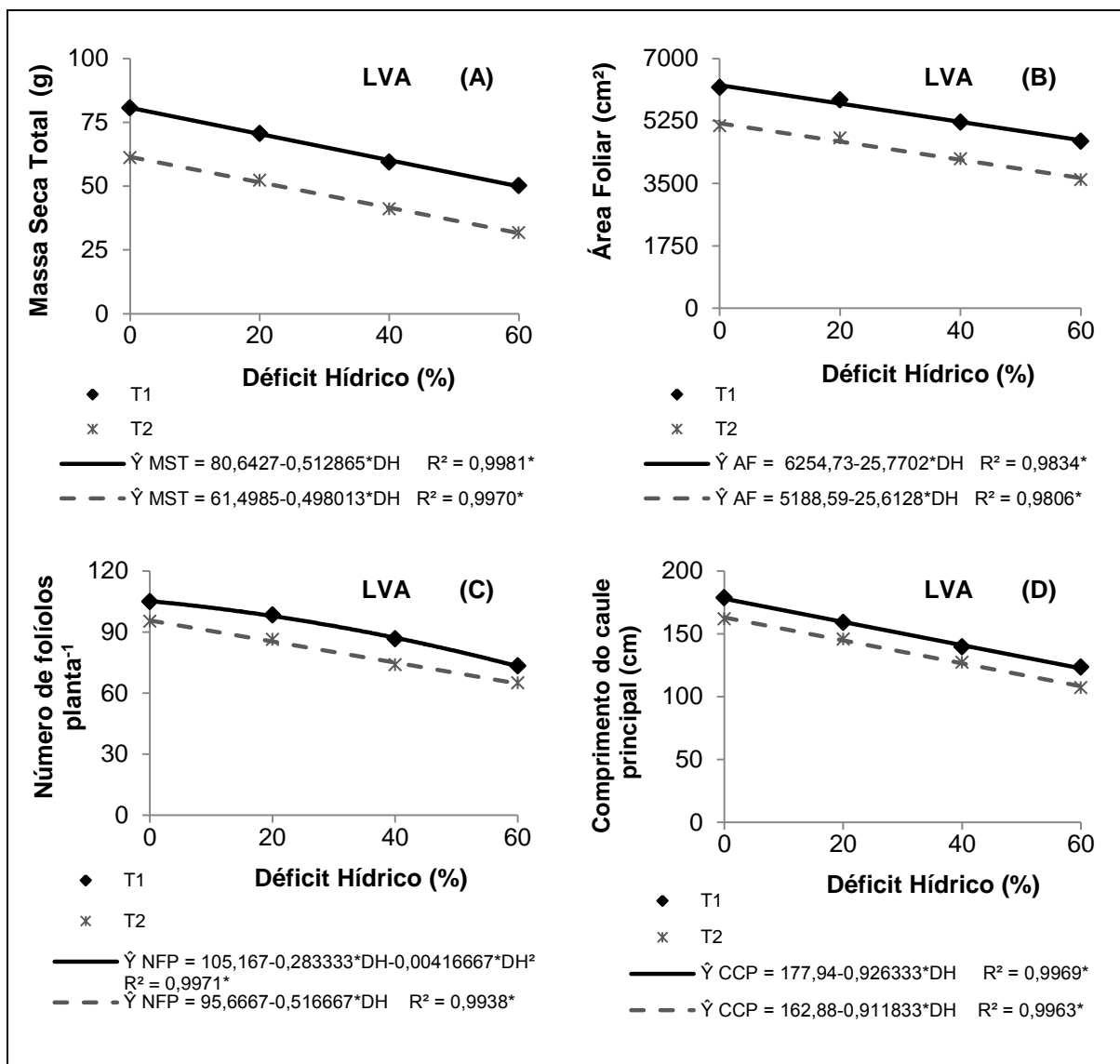


Nos resultados estimados, observa-se redução da ordem de 12, 25 e 38% na  $T_1$  e de 16, 32 e 49% na  $T_2$  para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve decréscimos de aproximadamente 8, 16 e 25% na  $T_1$  e de 10, 20 e 30% na  $T_2$  para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NFP, a redução é da ordem de 7, 17 e 30% na  $T_1$  e de 11, 22 e 32% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no LVA.

Para a variável CCP, constata-se redução de cerca de 10, 20 e 31% na  $T_1$  e de 11, 22 e 34% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no LVA.

Nesse sentido, vale ressaltar que a planta inicia o processo de senescência na fase fenológica R9, que resulta a paralisação da produção de massa seca e a partir desse momento, começa a prevalecer os fenômenos de translocação de fotoassimilados em substituição ao de crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2004).



**Figura 32** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

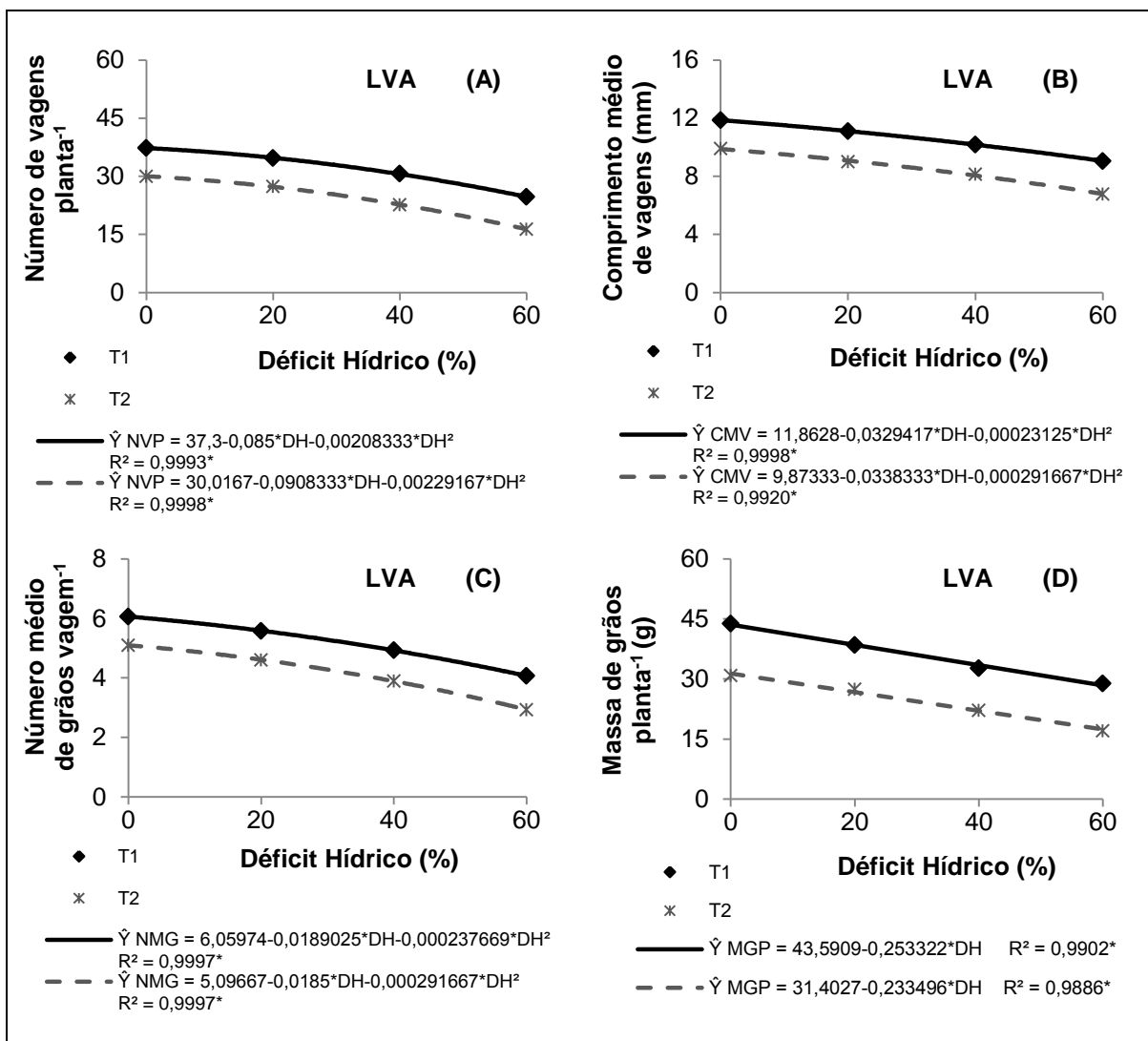
Nas plantas cultivadas no LVA, observa-se comportamento quadrático para NVP (Figura 33A), CMV (Figura 33B) e NMG (Figura 33C) e comportamento linear para MGP (Figura 33D). Nos resultados obtidos, verifica-se decréscimo da ordem de 13, 27 e 40% na T<sub>1</sub> e de 14, 31 e 51% na T<sub>2</sub> para o NVP submetida ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve reduções de aproximadamente 11, 22 e 33% na  $T_1$  e de 14, 27 e 41% na  $T_2$ , para o CMV das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NMG, as reduções são de aproximadamente 12, 23 e 35% na  $T_1$  e de 15, 29 e 44% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no LVA.

Para o componente MGP, verifica-se decréscimo da ordem de 10, 20 e 31% na  $T_1$  e de 13, 28 e 42% na  $T_2$  para as plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no LVA.

Nota-se que as reduções das variáveis de crescimento e dos componentes de produção na fase fenológica R9 são maiores no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 32, 33, 34 e 35).

Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004) ao analisarem o efeito da variação dos níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e a produção de feijão-caupi em solo de textura arenosa.



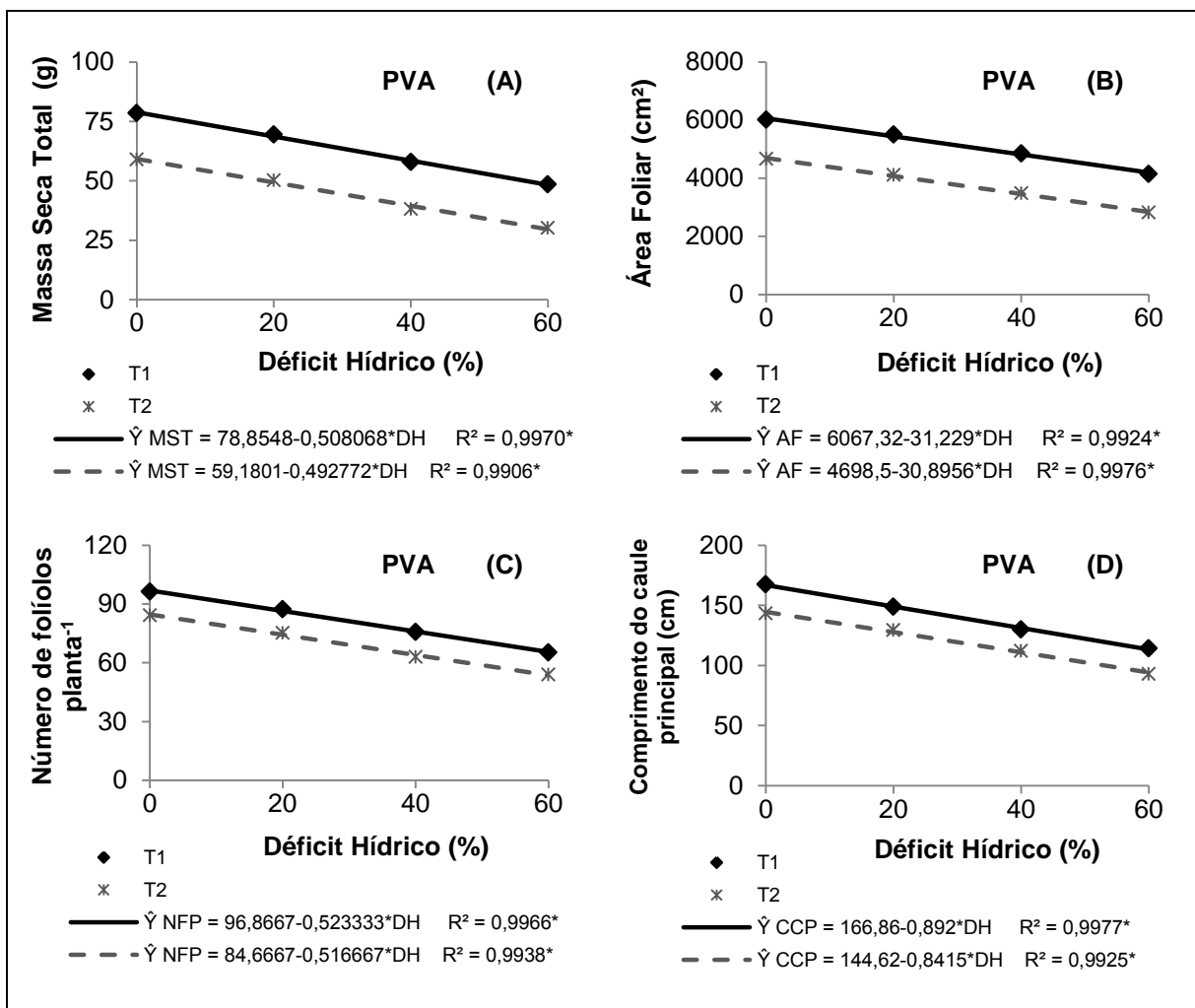
**Figura 33** - Número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

As variáveis MST (Figura 34A), AF (Figura 34B), NFP (Figura 34C) e CCP (Figura 34D) cultivadas no PVA apresentaram comportamento linear em função do nível de déficit hídrico no solo ( $p < 0,05$ ). Pelos resultados estimados pelas equações, verifica-se decréscimo da ordem de 13, 26 e 39% na T<sub>1</sub> e de 17, 33 e 50% na T<sub>2</sub> para a MST das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve reduções de aproximadamente 10, 21 e 31% na  $T_1$  e de 13, 26 e 39% na  $T_2$  para a AF das plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NFP, o decréscimo é da ordem de 11, 22 e 32% na  $T_1$  e de 12, 24 e 37% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Para a variável CCP, nota-se decréscimo da ordem de 11, 21 e 32% na  $T_1$  e de 12, 23 e 35% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Resultados semelhantes foram obtidos por Dardengo, Reis e Passos (2009) ao avaliarem a influência da umidade na capacidade de campo determinada nas tensões de 0,006; 0,010; e 0,033 MPa em diferentes níveis de déficit hídrico (DH = 0%, DH = 33% e DH = 67%) no crescimento inicial do cafeeiro Conilon cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo.



**Figura 34** - Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C) e comprimento do caule principal (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Nas plantas cultivadas no PVA, observa-se comportamento linear na  $T_1$  e quadrático na  $T_2$  para NVP (Figura 35A), e linear para CMV (Figura 35B), NMG (Figura 35C) e MGP (Figura 35D). Nos resultados obtidos, verifica-se redução da ordem de 13, 27 e 40% na  $T_1$  e de 14, 31 e 51% na  $T_2$  para o NVP submetida ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve decréscimos de aproximadamente 11, 22 e 33% na  $T_1$  e de 14, 27 e 41% na  $T_2$  para o CMV das plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e

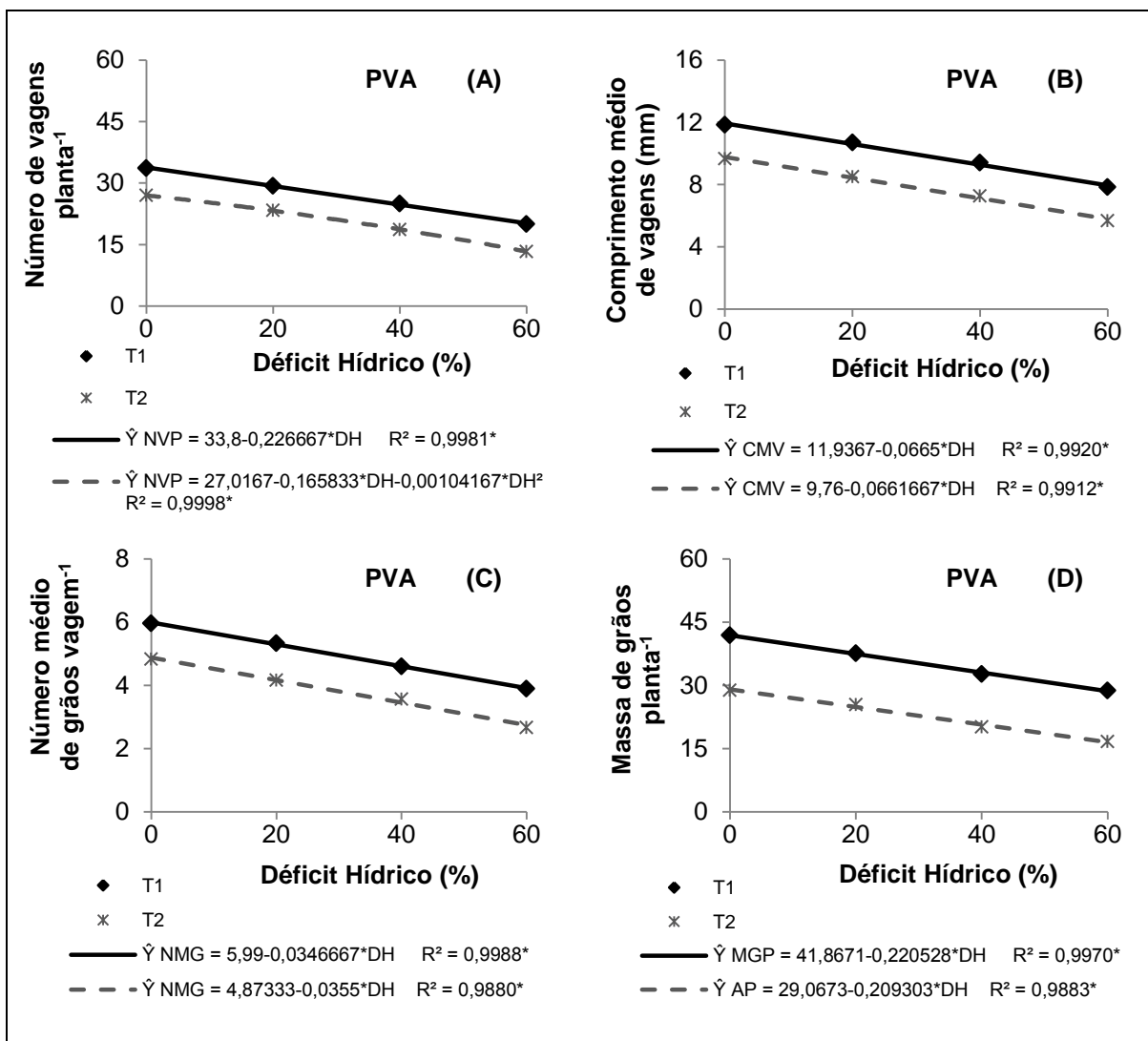
60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NMG, os decréscimos foram da ordem de 12, 23 e 35% na  $T_1$  e de 15, 29 e 44% na  $T_2$  para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Para o componente MGP, observa-se redução da ordem de 11, 21 e 32% na  $T_1$  e de 14, 29 e 43% na  $T_2$  para as plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Nota-se que o nível de déficit hídrico no solo igual a 60% é crítico para o crescimento e a produção do feijoeiro cultivado em um LVA (Figuras 32 e 33) e PVA (Figuras 34 e 35). De acordo com Silveira e Stone (2006), a restrição hídrica não afeta apenas o crescimento, mas também a produção das culturas, efeito que se manifesta principalmente no atraso do ciclo da cultura, redução no estande, no número de vagens por planta, na massa das vagens e grãos, influenciando diretamente a produção.

Para Silveira e Stone (2006), o nível de água disponível no solo em função dos níveis de tensão em estudo afeta significativamente o crescimento e a produção da cultura por reduzir o potencial hídrico foliar, a expansão foliar, o número de vagens por planta e a massa de vagens e grãos por planta.

Guimarães e outros (2011), ao avaliarem diferentes genótipos de feijoeiro comum sob déficit hídrico, verificaram que as produtividades médias dos dois anos de condução (2006 e 2007) dos experimentos foram de 863 e 2.084 kg ha<sup>-1</sup>, com e sem déficit hídrico, respectivamente. Portanto, os genótipos sofreram uma redução média de 58,6% da produtividade devido ao déficit hídrico e a ocorrência de altas temperaturas registradas durante o desenvolvimento das plantas.



**Figura 35** - Número de vagens por planta (A), comprimento médio de vagens por planta (B), número médio de grãos por vagem (C) e massa de grãos por planta (D) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

A redução do nível de água disponível no solo influenciou significativamente o crescimento e a produção do feijoeiro comum cultivado em solos de textura argilosa e média. Resultados similares foram obtidos por Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004) ao avaliarem o efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e a produção de grãos verdes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar IPA 206, cultivado em solo de textura arenosa.



O rendimento do feijoeiro é afetado pela condição hídrica do solo, sendo que tanto o déficit quanto o excesso de água no solo, nas diferentes fases fenológicas da cultura, causam redução na produtividade em diferentes proporções.

Para vários autores, entre os quais estão Taiz e Zeiger (2004), quando as plantas são submetidas a restrições hídricas reduzem a turgescência e a expansão celular, o que ocasiona redução no alongamento do caule e na expansão foliar. Além disso, o crescimento das plantas é diretamente afetado pela translocação de fotoassimilados para as raízes que em condições de déficit hídrico é limitada.

Tendo em vista que as folhas são os núcleos de produção da fotossíntese e que as outras partes da planta dependem da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão comum, o estresse hídrico nesta cultura, compromete a exportação de fotoassimilados, e dessa forma contribuem para os decréscimos de crescimento e produção das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

De acordo com Larcher (2006), a ocorrência de déficit hídrico durante o desenvolvimento das plantas causa redução progressiva da turgescência protoplasmática e aumento na concentração de solutos, o que resulta em um distúrbio na função celular responsável pelo déficit funcional e pela degradação das estruturas protoplasmáticas.

Para o mesmo autor, a redução da perda de água pela redução da superfície de transpiração da planta, para evitar a dessecação, é uma das medidas comportamentais, entre outras, de resistência ao déficit hídrico, que reflete na morfologia das plantas. Nesse contexto, a redução da superfície de transpiração é realizada rápida e reversivelmente pelo desdobramento e enrolamento das folhas. Este fato também foi verificado para o feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, principalmente, nos níveis de déficit hídrico igual a 40 e 60% da água disponível para cada nível de tensão em estudo.

Pelos resultados obtidos em cada fase fenológica avaliada, constata-se por meio das equações de regressão analisadas, para as variáveis de crescimento (Figuras 14, 15, 18, 19, 24, 26, 32 e 34) e de produção (Figuras 25, 27, 33 e 35), ampla diferença do crescimento e da produção da cultivar Ouro Negro frente às restrições hídricas atribuídas pelos tratamentos, com reduções significativas, à medida que a disponibilidade de água no solo foi reduzida. Além disso, estes resultados permitem afirmar que os níveis de 40 e 60% da água disponível no solo são críticos para esta cultivar.

Os componentes NFP e NVP foram afetados pelos níveis de déficit hídrico no solo para cada nível de tensão em estudo e com mais severidade do que ocorreu aos outros componentes analisados. De acordo com Leite e outros (2000), este comportamento pode ser explicado como um dos mecanismos de resistência à seca, utilizado pela cultura, no sentido de buscar melhores condições para superar o déficit hídrico, produzindo menor quantidade de folhas e de vagens.

Por sua vez, Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004), ao avaliarem o efeito da variação dos níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e a produção de feijão-caupi, também observaram que o número de vagens por planta diminuiu com o aumento da restrição hídrica. Para estes autores, a redução desse componente é o principal fator de redução na produção de grãos de feijão-caupi.

Miorini, Saad e Menegale (2011), ao analisarem a influência da supressão de água em uma das fases fenológicas (emergência, vegetativa, floração, enchimento de grãos, maturação) em comparação com a irrigação em nenhuma e em todas as fases, utilizando como indicadores os componentes da produção do feijão do grupo Carioca, constataram que o número médio de vagens por planta foi o componente de produção mais afetado pelos níveis de déficits hídricos impostos pelos tratamentos.

A ocorrência de déficit hídrico no início da fase vegetativa do feijoeiro induz à redução do crescimento e da área foliar, o que resulta em menor número de flores e de vagens por planta, e de grãos por vagem (SILVEIRA; STONE, 2006). De acordo com Taiz e Zeiger (2004), a resposta das plantas ao déficit hídrico no solo, consiste no decréscimo da expansão foliar, no fechamento dos estômatos, na aceleração da senescência e da abscisão das folhas, na redução de brotação, de polinização e na translocação de fotoassimilados para a formação de grãos.

Os níveis de déficit hídrico no solo de 40 e 60% da água disponível exerceram efeitos negativos sobre as variáveis de crescimento e de produção para o feijoeiro comum, principalmente sobre a área foliar e o número de vagens por planta, o que evidencia um importante mecanismo de resistência das plantas ao estresse hídrico.

## 5 CONCLUSÕES

O potencial hídrico foliar antemanhã do feijoeiro comum cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo decresce à medida que aumenta o nível de déficit hídrico no solo.

As plantas submetidas à capacidade de campo determinada pela tensão de 0,010 MPa apresentam maior turgescência em ambos os solos.

O conteúdo de água no solo de 40 e 60% da água disponível exercem efeitos negativos sobre o potencial hídrico foliar antemanhã em todas as fases fenológicas avaliadas, independente da tensão adotada na determinação da capacidade de campo.

Maiores efeitos negativos da redução da disponibilidade de água no solo em todas as variáveis de crescimento e produção analisadas foram observados nas fases fenológicas R8 e R9 do feijoeiro.

O acúmulo de massa seca total do feijoeiro comum sob  $DH = 60\%$  da água disponível no solo foi reduzido em média a 45% e 49% em relação às plantas que não receberam déficit hídrico no LVA e no PAV, respectivamente.

O maior crescimento e a maior produtividade do feijoeiro comum foram observados na capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa em ambos os solos.

A produção de grãos do feijoeiro sob  $DH = 60\%$  foi reduzida em média a 35% e 38% em relação às plantas que não receberam déficit hídrico no LVA e no PAV, respectivamente.

Os níveis de déficit hídrico de 40 e 60% da água disponível no solo são críticos para o feijoeiro comum, cultivado em solos de textura média e argilosa, independente da tensão adotada na determinação da capacidade de campo.

## 6 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. A. de A.; FERREIRA, A. C. de B. Manejo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. atual. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 87-114.
- BARRETO, C. V. G. et al. Efeito da profundidade e espaçamento de instalação de gotejadores no potencial hídrico das folhas de cafeeiro em solo argiloso, **Coffee Science**, Lavras, MG, v. 4, n. 2, p. 114-125, 2009.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009, 625 p.
- CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 77-86, 2011.
- CASINI, F. et al. Consequences on water retention properties of double-porosity features in a compacted silt. **Acta Geotechnica**, Vienna, AUT, v. 7, n. 2 p. 1-12, 2012.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras, MG: UFLA, 2009. 234 p.
- CATUCHI, T. A. et al. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2012.
- CHIU, C. F.; YAN, W. M.; YUEN, K. V. Reliability analysis of soil-water characteristics curve and its application to slope stability analysis. **Engineering Geology**, Duluth, MN, USA, v. 135-136, n. 15, p. 83-91, 2012.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2012/2013 décimo primeiro levantamento, setembro/2013/Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília, DF: CONAB, 2013. 30 p.
- CORREIA, G. G. et al. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de Tabuleiro Costeiro Paraibanos. **Caatinga**, Mossoró, RN, v.21, n. 3, p. 156-162, 2008.
- COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. da S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n. 2, p. 515-523, 2008.

COSTA, J. R. da.; PINHO, J. L. N. de.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.

DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro Conilon. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 25, n. 6, p. 1-14, 2009.

DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da capacidade de campo na taxa de crescimento do cafeeiro Conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 1, p. 42-47, 2010.

DOURADO NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 57, n.1, p.191-192, 2000.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba, RS: Agropecuária, 2000. 385 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

ENDRES, L. et al. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.14, n. 1, p. 11-16, 2010.

FIDALSKI, J. et al. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and citrus rootstocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 917-924, 2010.

FREIRE, J. C. et al. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.

GOMES, E. P. et al. P. Desempenho agrônômico do feijoeiro comum de terceira safra sob irrigação na região Noroeste do Paraná. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, PR, v. 33, n. 3, p. 899-910, 2012.

GUIMARÃES, C. M. et al. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n.7, p. 649-656, 2011.

JORGE, R. F.; CORÁ, J. E.; BARBOSA, J. C. Número mínimo de tensões para determinação da curva característica de retenção de água de um Latossolo Vermelho eutrófico sob sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1831-1840, 2010.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo, RS: UPS, 2008, 212 p.

KLEIN, V. A. et al. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com Psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, SP: Rima, 2006, 550p.

LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, SP, v.75, n. 1, p. 9-20, 2000.

LOPES, A. da S. et al. Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 42, n. 1, p. 51-56, 2011.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV. 2009, 355 p.

MARTINS, J. D. et al. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 15, n. 3, p. 324-334, 2010.

MENDES, R. M. S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.

MIORINI, T. J. J.; SAAD, J. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, SP, v. 16, n. 4, p. 360-368, 2011.

MOLINA, J. C. et al. Response of common bean cultivars and lines to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 1, n. 4, p. 363-372, 2001.

MUNOZ-PEREA, C. G. et al. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. **Euphytica**, Wageningen, NLD, v. 155, n. 3, p. 393-402, 2007.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção do feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 174-177, 2004.

NASCIMENTO, S. P. do. et al. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 8, p. 853–860, 2011.

NÓBREGA, J. Q. et al. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J. et al. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: Embrapa-SEA, 1991. p.189-253.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, R. B. de. et al. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Capixaba Precoce). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 3, p. 343-350, 2008.

OLIVEIRA, L. F. C. de. et al. Comportamento fisiológico de cafeeiros submetidos a diferentes disponibilidades de água no solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 25, n. 3, p. 83-91, 2009.

PAULA JÚNIOR, T. J. de. et al. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: PAULA JÚNIOR, T. J. de.; VENZON, M. (Coords). **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte, MG: EPAMIG, 2007. p. 331-342.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. da S.; PEREIRA, G. T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e de cultivo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, PR, v. 31, n. 3, p. 453-459, 2009.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Dublin, IRL, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.



REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, SP: Manole. 1990, 188 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, versão 9.1. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 2007. CD-ROM.

SANTOS, G. G. et al. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: Validity of the S-index. **Comptes Rendus Geoscience**, Paris, FRA, v. 343, n. 4, p. 295-301, 2011.

SCHOLANDER, P. F. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, USA, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965.

SILVA, W. G. da. et al. Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 16, n. 9, p. 978-984, 2012.

SILVEIRA, P. M. da.; STONE, L. F. Irrigação. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de.; BOREM, A. (Eds) **Feijão**. 2. ed. atual. Viçosa, MG: UFV, 2006, p. 171-211.

SORATTO, R. P. et al. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, PR, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2004, 719 p.

TATAGIBA, S. D. et al. Variabilidade diurna e sazonal das trocas gasosas e do potencial de água das folhas de clones de Eucalyptus. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 225-237, 2008.

TORMENA, C. A. et al. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.65, n. 1, p. 56-60, 2008.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do solo**. 6 ed.; Tradução de DOURADO NETO, D.; DOURADO, M. N. O (Durval Dourado Neto; Manuella Nóbrega Dourado). São Paulo, SP: ANDREI, 2007, 718 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. Biblioteca Central. **Normalização e apresentação de trabalhos científicos e acadêmicos**. Vitória, ES, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. Biblioteca Central.  
**Normalização de referências:** NBR 6023:2002. Vitória, ES, 2006.

VALE, N. M. do. et al. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, Florianópolis, SC, v. 25, n. 3, p. 135-144, 2012.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, USA, v. 44, n. 1, p. 892-898, 1980.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão**. 2 ed. atual. Viçosa, MG: UFV, 2006. p.115-142.

## APÊNDICES

**Apêndice A** – Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) do feijoeiro comum, nas fases fenológicas V4, R5, R8 e R9<sup>1</sup>, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		$\psi_{am}$ (V4)	$\psi_{am}$ (R5)	$\psi_{am}$ (R8)	$\psi_{am}$ (R9)
Tensão	1	0,1270*	0,0722*	0,1491*	0,1611*
Déficit Hídrico	3	0,0838*	0,0679*	0,0742*	0,1576*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,0020 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,0007	0,0005	0,0005	0,0018
Média Geral		0,33	0,39	0,62	1,07
Coeficiente de Variação (%)		8,02	6,00	3,68	3,97

<sup>1</sup>V4 – Terceira folha trifoliolada expandida; R5 – Prefloração ; R8 – Enchimento de grãos; e R9 – Maturação fisiológica.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice B** – Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{am}$ ) do feijoeiro comum, nas fases fenológicas V4, R5, R8 e R9<sup>1</sup>, cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		$\psi_{am}$ (V4)	$\psi_{am}$ (R5)	$\psi_{am}$ (R8)	$\psi_{am}$ (R9)
Tensão	1	0,0608*	0,0509*	0,1386*	0,1849*
Déficit Hídrico	3	0,1028*	0,0865*	0,0960*	0,1691*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,0017 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,0006	0,0004	0,0007	0,0016
Média Geral		0,37	0,44	0,67	1,11
Coeficiente de Variação (%)		6,62	4,55	3,95	3,60

<sup>1</sup>V4 – Terceira folha trifoliolada expandida; R5 – Prefloração ; R8 – Enchimento de grãos; e R9 – Maturação fisiológica.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice C** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica V4<sup>1</sup>, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	9,8509*	307360,6667*	54,0000*	1820,0417*
Déficit Hídrico	3	16,3979*	398969,6667*	169,1667*	2524,4861*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,1371 <sup>ns</sup>	370,5556 <sup>ns</sup>	0,7778 <sup>ns</sup>	1,5972 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,0715	798,9167	1,0417	5,7917
Média Geral		4,83	850,00	17,75	74,71
Coeficiente de Variação (%)		5,54	3,33	5,75	3,22

<sup>1</sup>V4 – Terceira folha trifoliolada expandida.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice D** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R5<sup>1</sup>, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	68,1717*	2433977,0417*	247,0417*	2394,0038*
Déficit Hídrico	3	84,1056*	3557752,0417*	1672,8194*	3426,0604*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,3106 <sup>ns</sup>	7916,1528 <sup>ns</sup>	10,4861 <sup>ns</sup>	25,6582 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,5388	40637,0833	7,6667	20,9475
Média Geral		15,22	4433,70	78,38	135,52
Coeficiente de Variação (%)		4,82	4,55	3,53	3,38

<sup>1</sup>R5 – Prefloração.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice E** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R8<sup>1</sup>, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	311,8253 *	2434614,0000*	748,1667*	1518,4504*
Déficit Hídrico	3	311,3856*	3560857,3333*	1230,2778*	3791,9915*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,6606 <sup>ns</sup>	7926,4444 <sup>ns</sup>	8,5000 <sup>ns</sup>	29,1860 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	2,4418	40613,6667	8,7083	18,9579
Média Geral		28,81	4659,00	82,42	139,60
Coeficiente de Variação (%)		5,42	4,33	3,58	3,12

<sup>1</sup>R8 – Enchimento de grãos.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice F** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R9<sup>1</sup>, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	2097,8408*	6219023,1268*	682,6667*	1290,6667*
Déficit Hídrico	3	1023,2930*	2733821,2321*	1110,5556*	3398,1111*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,4497 <sup>ns</sup>	2227,0478 <sup>ns</sup>	6,1111 <sup>ns</sup>	7,0000 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	6,4464	46151,7381	8,4583	18,458333
Média Geral		55,91	4929,25	85,50	142,83
Coeficiente de Variação (%)		4,54	4,36	3,40	3,01

<sup>1</sup>R9 – Maturidade fisiológica.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice G** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica V4<sup>1</sup>, cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	8,4230*	349617,2065*	63,3750*	1797,4704*
Déficit Hídrico	3	9,2224*	334097,6420*	123,8194*	2535,5671*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,0173 <sup>ns</sup>	173,1271 <sup>ns</sup>	0,3750 <sup>ns</sup>	1,6549 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,1102	2788,2762	1,0000	12,4825
Média Geral		3,61	733,58	14,79	69,66
Coeficiente de Variação (%)		9,20	7,20	6,76	5,07

<sup>1</sup>V4 – Terceira folha trifoliolada expandida.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice H** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R5<sup>1</sup>, cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	89,3397*	2105745,0417*	459,3750*	3581,9267*
Déficit Hídrico	3	66,2773*	5511393,2440*	1503,1528*	3092,2711*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,0155 <sup>ns</sup>	3776,1266 <sup>ns</sup>	3,3750 <sup>ns</sup>	9,3711 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,6128	26995,5202	5,8750	23,9017
Média Geral		14,55	3940,87	74,29	129,30
Coeficiente de Variação (%)		5,38	4,17	3,23	3,78

<sup>1</sup>R5 – Prefloração.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice I** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R8<sup>1</sup>, cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	306,0847*	1960776,6502*	580,1667*	2101,8817*
Déficit Hídrico	3	306,8348*	3648119,2267*	1254,9444*	3801,1483*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,7897 <sup>ns</sup>	38785,5366 <sup>ns</sup>	4,2778 <sup>ns</sup>	11,7483 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	2,4980	39303,9553	9,6667	23,4233
Média Geral		27,22	4479,46	79,75	135,53
Coeficiente de Variação (%)		5,81	4,43	3,90	3,57

<sup>1</sup>R8 – Enchimento de grãos.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice J** – Resumo da análise de variância de massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule principal (CCP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R9<sup>1</sup>, cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MST	AF	NFP	CCP
Tensão	1	2215,4895*	11077209,3750*	864,0000*	2577,1538*
Déficit Hídrico	3	1005,3448*	3871083,5972*	1084,6667*	3006,4138*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,6540 <sup>ns</sup>	1148,1528 <sup>ns</sup>	0,4444 <sup>ns</sup>	10,7493 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	6,3877	35345,8750	9,0000	22,6921
Média Geral		54,00	4451,13	75,17	129,74
Coeficiente de Variação (%)		4,68	4,22	3,99	3,67

<sup>1</sup>R9 – Maturidade fisiológica.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice K** – Resumo da análise de variância de número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens por planta (CMV), número médio de grãos por vagem (NMG) e massa de grãos por plantas (MGP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R8<sup>1</sup>, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		NVP	CMV	NMG	MGP
Tensão	1	48,1667*	8,7604*	3,3004*	40,1373*
Déficit Hídrico	3	50,1111*	3,9960*	2,5249*	11,5137*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,7222 <sup>ns</sup>	0,0871 <sup>ns</sup>	0,0038 <sup>ns</sup>	0,1125 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,4167	0,0400	0,0150	0,3161
Média Geral		14,33	7,50	3,61	7,68
Coeficiente de Variação (%)		4,50	2,67	3,39	7,32

<sup>1</sup>R8 – Enchimento de grãos.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice L** – Resumo da análise de variância de número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens por planta (CMV), número médio de grãos por vagem (NMG) e massa de grãos por plantas (MGP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R9<sup>1</sup>, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		NVP	CMV	NMG	MGP
Tensão	1	360,3750*	26,8817*	6,3038*	806,4555*
Déficit Hídrico	3	198,2639*	10,1672*	4,8715*	237,4453*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,3750 <sup>ns</sup>	0,0094 <sup>ns</sup>	0,0093 <sup>ns</sup>	1,6119 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	2,0417	0,2604	0,0308	4,6228
Média Geral		27,96	9,51	4,65	30,19
Coeficiente de Variação (%)		5,11	5,37	3,77	7,12

<sup>1</sup>R9 – Maturidade fisiológica.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.



**Apêndice M** – Resumo da análise de variância de número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens por planta (CMV), número médio de grãos por vagem (NMG) e massa de grãos por plantas (MGP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R8<sup>1</sup>, cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		NVP	CMV	NMG	MGP
Tensão	1	54,0000*	4,7704*	1,2604*	35,6021*
Déficit Hídrico	3	47,5556*	8,8004*	2,2949*	6,3860*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,4444 <sup>ns</sup>	0,0204 <sup>ns</sup>	0,0082 <sup>ns</sup>	0,3168 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,3333	0,0167	0,0104	0,1331
Média Geral		12,17	7,02	3,06	7,11
Coeficiente de Variação (%)		4,74	1,84	3,33	5,13

<sup>1</sup>R8 – Enchimento de grãos.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.

**Apêndice N** – Resumo da análise de variância de número de vagens por planta (NVP), comprimento médio de vagens por planta (CMV), número médio de grãos por vagem (NMG) e massa de grãos por plantas (MGP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R9<sup>1</sup>, cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		NVP	CMV	NMG	MGP
Tensão	1	247,0417*	28,1667*	7,8204*	937,5000*
Déficit Hídrico	3	207,7083*	17,6983*	4,9360*	191,4444*
Tensão*Déficit Hídrico	3	0,1528 <sup>ns</sup>	0,0011 <sup>ns</sup>	0,0104 <sup>ns</sup>	0,2778 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	3,0833	0,1583	0,0175	4,4583
Média Geral		23,79	8,86	4,38	29,00
Coeficiente de Variação (%)		7,38	4,49	3,02	7,28

<sup>1</sup>R9 – Maturidade fisiológica.

\*Significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo.