ERISON MARTINS AMARAL

RESPIRAÇÃO DO SOLO SOB CONSÓRCIOS FORRAGEIROS PALMA-MILHETO-LEGUMINOSAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Serra Talhada, PE
2022

A
M
A
R
A
L

E

M

R
E
S
P
I
R
A
Ç
Ã
O

D
O

S
O
L
O

.
.
.

2
0
2
2

ERISON MARTINS AMARAL

RESPIRAÇÃO DO SOLO SOB CONSÓRCIOS FORRAGEIROS PALMA-MILHETO-LEGUMINOSAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza
Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa

Serra Talhada-PE
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A485r Amaral, Erison Martins
Respiração do Solo Sob Consórcios Forrageiros Palma-Milheto-Leguminosas no Semiárido Brasileiro / Erison Martins Amaral. - 2022.
44 f. : il.

Orientador: Eduardo Soares de Souza.
Coorientador: Luiz Guilherme Medeiros Pessoa.
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal , Serra Talhada, 2023.

1. Efluxo CO2. 2. Culturas forrageiras. 3. Policultivos. I. Souza, Eduardo Soares de, orient. II. Pessoa, Luiz Guilherme Medeiros, coorient. III. Título

CDD 581.15

ERISON MARTINS AMARAL

RESPIRAÇÃO DO SOLO SOB CONSÓRCIOS FORRAGEIROS PALMA-MILHETO-LEGUMINOSAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 25 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza
Orientador

Dr. José Romualdo de Sousa Lima – UFAPE/PGPA
Examinador Externo

Dr. Maurício Luiz de Mello Vieira Leite - UFRPE/UAST
Examinador Interno

“A todos aqueles que acreditam num futuro melhor”

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Severino Martins dos Santos e Ana Maria Martins Amaral, por todo amor, carinho, segurança e ajuda. Em seus nomes eu agradeço a todos os meus familiares;

Agradeço a minha companheira, Thanires Ramalho, por todo o respeito, amor, carinho, paciência e apoio. Em seu nome agradeço a todos os meus amigos mais próximos.

Agradeço a meu Orientador, Eduardo Soares de Souza, muito mais que um orientador, um professor, um amigo, a ele dediquei minha graduação, agora dedico o meu mestrado. Em seu nome agradeço a todos os professores que fizeram parte deste caminho.

Agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, o Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal por todo conhecimento compartilhado comigo e toda experiência de vida e profissional.

Agradeço ao Instituto Agronômico de Pernambuco por contribuir com o desenvolvimento desta pesquisa ao doar as sementes de Milheto.

[...] Eu olho para o mundo e eu noto que ele está girando ...
Nós certamente precisamos aprender com cada erro [...]

The Beatles – While My Guitar Gently Weeps

Resumo

A respiração do solo é um processo metabólico biológico que resulta na emissão de CO_2 para a atmosfera. Quantificar a respiração ajuda avaliar a saúde do solo, especialmente de espécies forrageiras para fins agrícolas. Compreender o efeito da combinação de diferentes grupos vegetais sobre a respiração do solo pode ajudar na construção de estratégias de convivência com o semiárido. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de consórcios forrageiros na variação da respiração do solo em ambiente semiárido e correlacioná-los com o incremento de biomassa aérea. Foi montado um experimento irrigado em campo, durante a estação seca, em um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo de parcela subdividida, 2 × 4. Estabeleceu-se quatro subparcelas cultivadas com palma (Palma solteira - P, Palma + Crotalária – PC, Palma + Guandu – PG, Palma + Leucena – PL) dentro de duas parcelas, presença e ausência de Milheto, resultando em quatro combinações de consórcios duplo e três combinações de consórcios triplos, mais a palma solteira como testemunha. Para analisar o efeito dos tratamentos na respiração, umidade e temperatura dos solos, foram realizadas medidas aos 35, 45 e 55 dias após o replantio (DAR) de todas as espécies, exceto para a palma. Nesses intervalos também foram obtidos os índices de área foliar (IAF) para descrever a dinâmica da cobertura vegetal dos tratamentos e o armazenamento total de água do solo (Δ). Como os valores de umidade e temperatura dos solos mantiveram-se constantes dentro de cada intervalo de tempo (DAR), a diferença na respiração dos solos se deu pela ação das plantas e microrganismos dos solos sob as diferentes formas de cultivo. Todos os consórcios com a presença de milheto aumentaram a respiração dos solos em quase 100% aos 45 e 55 DAR, exceto para o consórcio triplo PC + milheto. O índice de cobertura vegetal ou IAF variou apenas em função da presença do milheto, sendo maior nos consórcios triplos. Já o armazenamento de água no solo não variou nos tratamentos para cada período avaliado. Os cultivos de PC + Milheto, PG + Milheto e PL + Milheto são boas combinações de consórcios triplos, sendo o consórcio PG + Milheto o que apresentou maiores taxas de respiração do solo.

Palavras Chave: Policultivo, plantas forrageiras, Efluxo de CO_2, IAF, carbono.

Abstract

The soil respiration is a metabolic biologic process that leads to the CO_2 emission into the atmosphere. Getting quantitative odds of this respiration process, helps to assess the soil health, especially of forage species plants to agriculture purpose. To understand the effects of different vegetable groups combination over the soil respiration process, might be able to support on the building of strategies to live together with semiarid region. Thus, the main objective of this study is to assess the influence of forage species on the variation of soil respiration in semiarid environment corelated them with the increment of biomass. To carry out this study was built a field experiment of irrigation along a dry season of the year, in a completely randomized research design, in a split plot arrangement: 2x4. Four subplots cultivated with palm were established (Palm alone - P, Palm + sunn hemp – PC, Palm + Pigeon pea – PG, Palm + Leucaena – PL) within two plots, presence and absence of pearl millet, resulting in four combinations of double intercropping and three combinations of triple intercropping, plus a single palm as control. To analyze the effects about the treatment of respiration, of soil moisture and temperature, measurements were taken at 35, 45 and 55 days after replanting (DAR) for all species, except for a palm. At these intervals, leaf area indices (LAI) and the total soil water storage (Δ). As the soil moisture and temperature values kept on constant within each time interval (DAR), the difference in soil respiration was due to the action of soil plants and microorganisms under the different forms of cultivation. All this consorce of forage plants with the presence of millet increased soil respiration by almost 100% at 45 and 55 DAR, except for the triple PC + millet intercropping. The vegetation cover index or LAI varied only as a function of the presence of pearl millet, being higher in triple consorce. Regarding the storage of water in the soil, it did not vary in the treatments for each evaluated period. The crops of PC + Millet, PG + Millet and PL + Millet are good combinations of triple consorce, however the PG + Pearl consorce was the one that presented the highest rates of soil respiration.

Keywords: Polyculture, forage plants, CO_2 efflux, LAI, carbon.

Índice de figuras

Figura 1: Localização geográfica do campo experimental.....19
Figura 2: Área experimental com as combinações de consórcios de plantas forrageiras, em destaque ás parcelas com a presença de Milheto.....20
Figura 3: Analisador de gás infravermelho (IRGA) e termômetro medindo a respiração total e temperatura do solo nos consórcios Palma com Guandu, aos 35 DAR (A) e Palma com Milheto com Crotalária, aos 45 DAR (B).....22
Figura 4: Variação da umidade do solo (%) no tempo, após saturação, monitorada pelo FDR, para determinação da umidade na capacidade de campo.....23
Figura 5: Temperatura do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.....26
Figura 6: Umidade do solo, na camada 0 - 10 cm, para as formas de cultivo da palma e milheto aos 35, 45 e 55 DAR.....28
Figura 7: Respiração total do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.....30
Figura 8: Índice de Área Foliar para as formas de cultivo da palma e milheto aos 35, 45 e 55 DAR. 33
Figura 9: Armazenamento total de água no solo (Δ) no perfil de 0 - 30 cm aos 35, 45 e 55 DAR....35
Figura 10: Densidade do solo (ρs), camada 0 – 15 cm sob efeito dos tratamentos aos 60 DAR.....36

Sumário

Apresentação.....13
1. Introdução.....14
2. Contextualização.....15
3. Objetivos.....18
Geral.....18
Específicos.....18
4. Material e métodos.....18
Área experimental.....18
Instalação e condução experimental.....19
Respiração, umidade, armazenamento total de água no solo e temperatura do solo.....22
Índice de área foliar.....23
Densidade do solo.....24
Análise estatística.....24
5. Resultados e discussão.....24
6. Conclusões.....37
7. Considerações finais.....37
8. Referências bibliográficas.....38
9. Anexos.....45

Apresentação

A respiração do solo é resultante do processo metabólico dos organismos vivos e sua medida quantitativa é utilizada para calcular o balanço de carbono em um ecossistema. Em ambientes equilibrados, a ciclagem de nutrientes permite a renovação da matéria orgânica no solo e desenvolvimento das plantas. Essa disponibilidade de recursos e alimentos permite o livre desenvolvimento da vida que, consequentemente, respira. Os organismos fotossintetizantes ao sequestrarem carbono atmosférico, na forma de gás CO_2, metabolizam, transformam, transportam e incorporam à biomassa, contudo, ao realizarem o processo de respiração, produzem CO_2 que é liberado novamente na atmosfera. Proporcionalmente, esses indivíduos sequestram mais que emitem. De modo natural, ao senescerem, as plantas depositam carbono na forma de matéria orgânica, sob a superfície do solo, sendo a principal fonte de alimento para os organismos decompositores. Ao decompor matéria orgânica, os microrganismos se desenvolvem e, nesse processo, respiram e emitem CO_2 de volta para a atmosfera.

Como todo o corpo vegetal vivo e os microrganismos respiram e isolando esses componentes por setores tem-se, a respiração aérea, que envolve a copa das plantas e a respiração do solo, que contempla as raízes das plantas e os microrganismos. Por produzir o seu próprio alimento e respirar, a respiração das plantas é denominada autotrófica. Já os microrganismos por consomem matéria orgânica pra se desenvolver, sua respiração é denominada heterotrófica. A respiração é um fator inerente de cada indivíduo, sendo limitado pelo ambiente e seus recursos. Desta forma, quanto mais indivíduos presentes no mesmo ambiente, mais respiração há.

A respiração do solo é um forte indicador de equilíbrio ecológico e pode ser quantificado. Isolando uma pequena superfície do solo é possível acoplar equipamentos sensíveis ao CO_2. Estas medidas são fortes indicadores da qualidade do solo e pode ser utilizado para estudar florestas naturais, florestas plantadas, áreas de recuperação, cultivos agrícolas e pastagens. Portanto, a dissertação apresenta em corpo único conceitos, hipóteses, contextualizações e justificativas de um estudo realizado sob um olhar para o cultivo de plantas forrageiras consorciadas no semiárido tendo a respiração do solo e índices de cobertura aérea das plantas como auxiliadores de discussão.

1. Introdução

O estudo do balanço de carbono de agroecossistemas em clima semiárido auxilia na explicação dos efeitos da substituição da floresta natural por sistemas de produção agrícola ou pastagens (RAMESH et al., 2019; SHI et al., 2019). As plantas fixam CO_2 atmosférico pela fotossíntese, transforma, redistribui e compartimentaliza (KIRSCHBAUM et al., 2001). Em contrapartida, o processo de respiração autotrófica das raízes, associada a respiração heterotrófica dos organismos do solo, emitem CO_2 pra atmosfera (LAL, 2019; BARNARD et al., 2020) limitados pela temperatura e umidade do solo (SILVA et al., 2019), condicionados pelo ambiente, o clima, a vegetação, manejo do solo (LAL, 2019; SANTANA et al., 2019) e salinidade (DATTA et al., 2019; CHITDESHWARI et al., 2020). Estudar a respiração em ecossistemas e agroecossistemas, especialmente de clima semiárido, dá suporte na avaliação da saúde do solo e auxilia na justificativa de modificação do ambiente para fins agrícolas, principalmente multiculturais, como pastagens mistas, consórcios forrageiros, adubação verde e agroflorestas (ABBAS et al., 2020).

Conceitua-se respiração do solo como o processo de produção de energia e desenvolvimento metabólico que resulta na emissão de CO_2 para a atmosfera (YIQI; ZHOU, 2010). A liberação de CO_2 do solo é influenciada pelo crescimento das raízes das plantas e composição microbiana do solo, incluindo a respiração autotrófica pelas raízes das plantas e a respiração heterotrófica dos microrganismos do solo (ZHANG et al., 2020). A fração heterotrófica contribui com mais de 60% da respiração total do solo, pela constante atividade microbiológica de decomposição (ABS; FERRIÈRE, 2020). O processo de exsudação das raízes, a atividade enzimática microbiológica de decomposição e a respiração, das raízes e dos microrganismos, são preditores da respiração global do solo (BECKER; HOLZ, 2021). A respiração total é uma medida quantitativa que auxilia no entendimento do equilíbrio ecológico em um determinado ecossistema, refletindo diretamente no grau de impacto sobre o ambiente e que ajuda no manejo dos solos para fins agrícolas (LIMA et al., 2020).

A biodiversidade torna a respiração total uma medida complexa, por causa da influência das fenologias das plantas de cobertura na rizosfera, da capacidade de interação com os fatores limitantes e condicionantes do ambiente que provocam as variações na respiração (BARRON-GAFFORD et al., 2011). Comparativamente, florestas nativas, principalmente de climas tropicais, apresentam maiores taxas de emissão de CO_2 do solo, e que normalmente são mais intensos nas estações chuvosas (ALMAGRO et al., 2009). Os ecossistemas terrestres liberam cerca de 60 Gt C ano^{-1} do solo, dos quais, 40% são provenientes de florestas tropicais (PEREIRA, 2018; KIM et al., 2019). Estima-se que 85% do CO_2 emitido por uma floresta vem do solo (FERREIRA, 2015). A

elevada variação de temperatura e umidade nesses solos favorece a produção e decomposição de matéria orgânica e, consequentemente, a emissão de CO_2 (MANTOVANELLI et al., 2016).

A substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas ou pastagens, alteram a dinâmica com o meio, decaindo os valores de respiração do solo e, em contrapartida, reduzem as taxas de absorção de CO_2 atmosférico (DUSZA, 2020). O incremento de fitomassa aérea e dos índices de cobertura vegetal para fins agrícolas e de acordo com o uso do solo, influencia diretamente na respiração do solo (ZHANG et al., 2020). Os agroecossistemas forrageiros formam uma cobertura vegetativa estratégica na mitigação das mudanças climáticas, visto que ocupam 13% da área de cultivo global, contudo, as medidas de respiração total do solo nesses ambientes ainda estão sendo estudadas (FRANCIONI et al., 2020). O tipo de vegetação, finalidade de uso, pastejo, corte ou pousio são cruciais nos níveis de emissão desse gás (FER et al., 2020).

Estudos indicaram que diferentes níveis de corte, ou pastejo, de espécies forrageiras, em curto prazo, não afetaram significativamente as taxas da respiração total dos solos, permitindo assim um uso mais intensivo destes ambientes (FRANCIONI et al., 2020). Portanto, a utilização de espécies forrageiras consorciadas pode melhorar a disponibilidade de alimento animal e a saúde de solos de ambientes de clima semiárido, como o brasileiro. O incremento de biomassa aérea de um sistema multicultivo favorece à emissão de CO_2 por respiração do solo, ao mesmo tempo que condiciona o aumento da taxa de sequestro de CO_2 atmosférico, interferindo no balanço de carbono (LINDNER, 2016). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de consórcios de plantas forrageiras irrigadas sobre a respiração total do solo e no incremento do índice de cobertura vegetal.

2. Contextualização

Segundo a classificação de Köppen, 15% da superfície terrestre tem o clima classificado como semiárido, abrigando quase 15% da população mundial (KOTTEK et al., 2006; HUANG et al., 2016). São ecossistemas sensíveis às mudanças climáticas e severamente comprometida pela ação antrópica, principalmente pela agricultura (GARCIA-FRANCO et al., 2018). Historicamente, o manejo agrícola nesses ambientes declinaram a qualidade dos solos, da água e no aumento da emissão de gases de efeito estufa atmosféricos (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019). A conversão de áreas degradadas em policultivos forrageiros surge como estratégia tecnológica para a ciclagem de nutrientes, manutenção da umidade e redução da emissão de carbono em agroecossistemas de regiões semiáridas (PEREIRA FILHO et al., 2019; SOUZA et al., 2019). Quantificar a contribuição desses agroecossistemas na emissão e captação de CO_2 atmosférico dá suporte à justificativa de

adoção de tecnologias alternativas de produção de alimento e subsistência da agricultura no semiárido (MEDEIROS et al., 2020).

A partir da visão socioeconômica ambiental, as problemáticas das regiões semiáridas não se agravam, exclusivamente, pelas secas cíclicas, mas também como um resultado de uma formação estrutural histórica do caráter exploratório dos recursos naturais locais (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019). Como consequência, os índices de desertificação crescem constantemente em decorrência da perda de biodiversidade, redução da capacidade de retenção de água, infertilidade do solo, erosão e salinidade (AFRASINEI et al., 2017). Atualmente, a preocupação com a preservação desses ecossistemas fomenta pesquisas direcionadas a recuperação de florestas, pastagens e áreas de grande potencial agricultável (ZETHOF et al., 2019). Tais estudos comprovam que o balanço de carbono no sistema é favorecido a partir da implementação de sistemas multiculturais nesses ambientes (FELICIANO et al., 2018; LIU et al., 2018; RAMESH et al., 2019; MEDEIROS et al., 2020).

A conversão de áreas degradadas em pastagens, quando comparadas a reflorestamento ou cultivo agrícola, sequestra mais carbono e melhora sua dinâmica no solo (RAMESH et al., 2019), pois as forrageiras adaptadas ao clima semiárido investem em biomassa radicular, eficiência no uso da água e poder competitivo (MacADAM; NELSON, 2020) melhorando as condições do microambiente. O consórcio de diferentes grupos forrageiros é uma alternativa para a resiliência das pastagens no semiárido (SOUZA et al., 2019), pois aumentam a dinâmica de carbono (STAGNARI et al., 2017; MEDEIROS et al., 2020). O consórcio de forrageiras favorece a recuperação de áreas degradadas, sequestram e otimizam o CO_2 atmosférico, regulam a respiração total no solo e dão subsídio à produção de alimento animal.

As perspectivas futuras para criação animal no semiárido envolvem o cultivo de plantas mais tolerantes ao deficit hídrico e elevadas temperaturas, principais intempéries destes ambientes (GUSHA et al., 2015). O cacto Palma (*Opuntia stricta* Haw.),uma das principais culturas estudadas e cultivadas no semiárido brasileiro, possui uma alta relação água-biomassa, excelente armazenamento de água, e devido ao seu valor energético, alto coeficiente de digestibilidade e grande adaptabilidade às condições climáticas. É uma alternativa para suprir a falta de alimento e água para os animais em períodos de restrição hídrica e alimentar (SOUZA et al., 2019). Um estudo desenvolvido por Silva et al. (2014) no semiárido sergipano em 2009, concluiu que é possível adensar a palma e melhorar a produção de biomassa. Neste estudo, nas densidade de 10.000 e 80.000 plantas ha^{-1}, teve uma produção de 100 e 400 t ha^{-1} de massa verde, e 5,8 e 20,2 t ha^{-1} de massa seca, respectivamente. Contudo, a palma forrageira não é uma planta rica em fibra, por isso,

recomenda-se o fornecimento de outras forrageiras para suprir essa demanda nutricional, com destaque para leguminosas e principalmente gramíneas (DINIZ et al., 2017).

No que diz respeito ao cultivo de gramínea forrageira no semiárido, o milheto (*Pennisetum glaucum*) é uma das principais alternativas, com bons níveis de armazenamento e eficiência hídrica, energia, sais minerais e fibra, além de tolerância moderada a salinidade, estresses hídricos e térmicos (SOUZA et al., 2019; ROCHA FILHO et al., 2021). A variedade produzida pelo Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), a IPA BULK 1 se destaca como sendo uma das mais produtivas, com um ciclo que varia entre 70 e 120 dias, sendo uma excelente alternativa para produção de silagem (LIRA et al., 2017). O milheto se destaca das demais gramíneas de corte para produção de forragem, pois é uma cultura com baixa demanda hídrica, exigindo em média 350 mm de água por ciclo, enquanto o sorgo e o milho requer 14 e 42% a mais de água, respectivamente (ULLAH et al., 2017).

As gramíneas forrageiras, no entanto, apresentam um teor relativamente baixo de proteínas quando comparadas as leguminosas forrageiras (DAS et al., 2015). No que diz respeito a recuperação de pastagens ou áreas degradadas, a utilização de leguminosas, principalmente forrageiras, são as mais indicadas (TERRA et al., 2019). Recuperar áreas degradadas plantando leguminosas apresenta várias vantagens, destacando-se a capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio, reduzindo a utilização de fertilizantes químicos nitrogenados (MEENA; LAL, 2018). Para a alimentação animal, as leguminosas forrageiras apresentam maior teor de proteína bruta, menor proporção de parede celular e boa digestibilidade da matéria seca (CAPSTAFF; MILLER, 2018).

Dentre as leguminosas, o feijão guandu (*Cajanus cajan*) destaca-se por ser altamente tolerante às condições adversas de ambientes semiáridos (MUSOKWA; MAFONGOYA, 2021). Trata-se de uma cultura largamente usada como forrageira, porém no semiárido brasileiro, seus grãos são amplamente utilizados na alimentação humana (BENEVIDES et al., 2019); a crotalária (*Crotalaria juncea*) é uma cultura de ciclo rápido e excelente desenvolvimento em ambientes tropicais, com grande capacidade de fixar nitrogênio no solo, sendo um ótimo recurso para a adubação verde (DAS et al., 2020); e a leucena (*Leucaena leucocephala*), planta arbóreo-arbustiva, destaca-se por apresentar excelente taxa de rebrota, elevada capacidade adaptativa e alta palatabilidade (SANTOS et al., 2017). Portanto, tem-se assim plantas com diferentes aptidões e que permitem múltiplas colheitas, mesmo sendo cultivadas em um mesmo espaço.

3. Objetivos

- **Geral**

Avaliar a influência de consórcios de plantas forrageiras irrigadas na variação da respiração total do solo em ambiente semiárido.

- **Específicos**

  - Avaliar a variação da respiração total no solo em diferentes combinações de consórcios: Palma *vs* leguminosas *vs* milheto;

  - Avaliar a variação na respiração do solo em função do incremento de biomassa aérea;

  - Avaliar o efeito dos cultivos na estrutura do solo em superfície;

4. Material e métodos

- **Área experimental**

O experimento foi conduzido em campo, na comunidade Souto (7° 52' 05.5" S & 38° 02' 27.3" W) (Figura 1), situada na porção territorial do vale do Pajeú do município de Triunfo, Sertão do estado de Pernambuco, Brasil. A vegetação predominante é a Caatinga e o clima é classificado por Köppen como Bsh, como semiárido quente e seco, com precipitações médias anuais de 645 mm e temperaturas de 25°C (KOTTEK et al., 2006).

Mapa de Localização

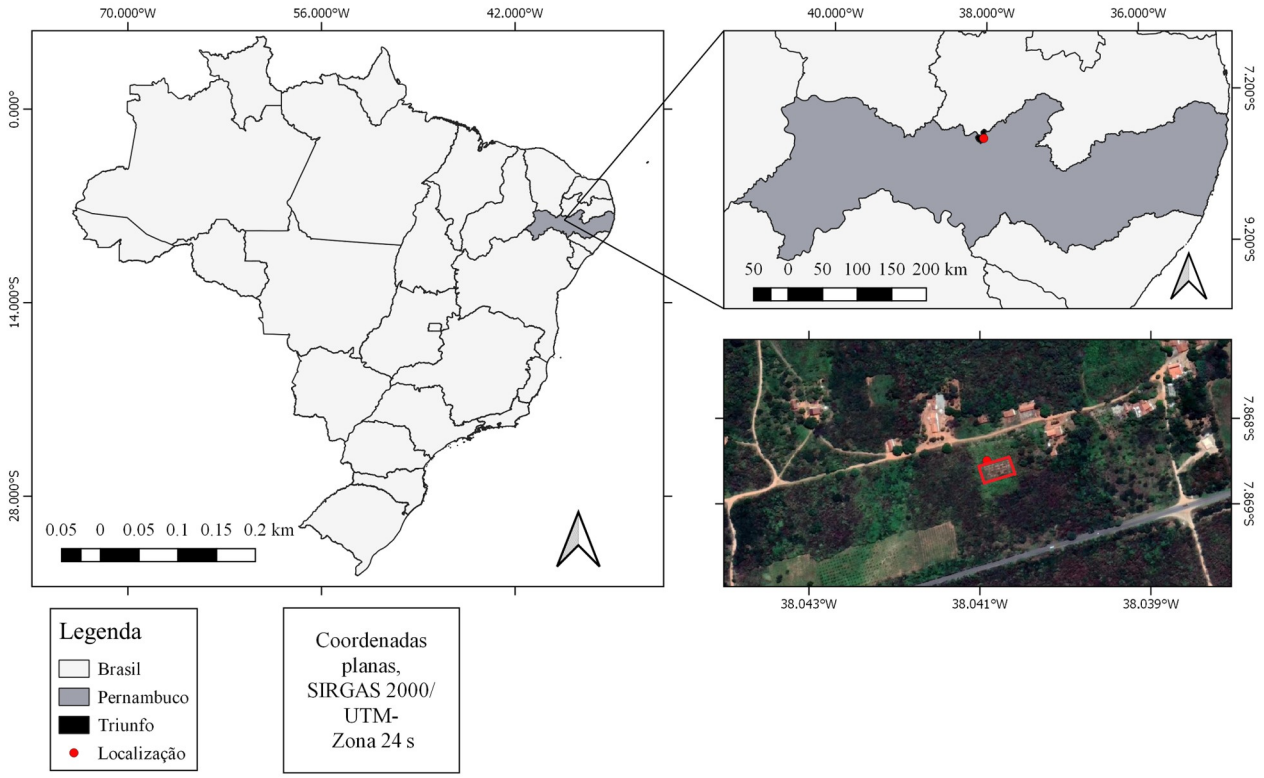


Figura 1: Localização geográfica do campo experimental.

O solo é um Neossolo litólico (JACOMINE et al., 1983), plano com declividade menor que 10%, explorado por agricultura de subsistência no período de 2014 – 2020, tendo como as principais práticas agrícolas a queimada, aração e o cultivo em consórcio. A área de 800 m^2 (40 x 20 m), antes ocupada por uma vegetação nativa predominantemente arbustiva, não apresentava indivíduos arbóreos que promovesse sombreamento. Toda a vegetação foi manualmente removida, em janeiro de 2020. Em uma malha de dezesseis pontos distribuídos na área foram amostrados solos para determinação da densidade do solo, densidade de partícula e classe textural, seguindo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). A densidade média do solo para a camada de 0-15 cm foi de 1,49 ± 0,06 g cm^{-3}, o que mostra uma uniformidade na área experimental. A densidade média das partículas foi de 2,55 ± 0,02 g cm^{-3}. A textura do solo foi classificada como franco arenosa para todos os pontos amostrais.

- **Instalação e condução experimental**

Foram cultivadas cinco espécies vegetais para compor três grupos de plantas forrageiras em consórcio: i) A palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw.); ii) três leguminosas, guandu (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e leucena (*Leucaena leucocephala*); iii) uma gramínea,

milheto (*Pennisetum glaucum*). A palma forrageira *cv* orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* Haw.) foi a única espécie mantida em todas as parcelas experimentais (Figura 2).

Figura 2: Área experimental com as combinações de consórcios de plantas forrageiras, em destaque ás parcelas com a presença de Milheto.

A palma foi a primeira espécie vegetal a ser plantada na área experimental, em 28 de fevereiro de 2021. A palma semente foi advinda de um plantio local, sendo plantado cladódios de segunda e terceira ordem nas parcelas. Foram três linhas de cinco indivíduos cada, espaçados a 50 cm para manter uma densidade de 25.000 plantas por ha. A densidade de plantas de palma adotada segue trabalhos cujos valores variaram entre 20.000 a 100.000 plantas ha^{-1} (PEREIRA et al., 2018), 10.000 a 50.000 plantas ha^{-1} (GALVÃO-JUNIOR et al., 2014) deste clone. Antes do cultivo das outras espécies, em 20 de setembro de 2021, um corte de uniformização foi conduzido, deixando apenas a palma semente.

As demais espécies foram semeadas em 25 de agosto de 2021. Contudo, para estabelecer a uniformidade do plantel, foi realizado um replantio das parcelas em 04 de setembro de 2021, considerado este o instante inicial. As sementes de milheto (variedade IPA BULK-1-BF) foram semeadas em linha, intercaladas com as de palma (50 cm), espaçadas a cada 40 cm, em sulcos, numa densidade de plantas de 250.000 indivíduos por ha.

A crotalária foi adquirida comercialmente enquanto o guandu e a leucena foram adquiridas através de banco de sementes crioulas local, safra/colheita 2020. As três leguminosas tiveram as mesmas densidades de cultivo de 200.000 plantas ha^{-1} (50 cm entre linhas, 40 cm entre sulcos, quatro sementes por sulco). Para Pereira et al. (2005) esta densidade de plantas está dentro da faixa

de plantio da crotalária. Com relação ao guandu, Souza et al. (2007) concluem que para a produção de semente a densidade máxima deve ser de 150.000 plantas ha^{-1}, contudo, aumento da densidade é viável quando a finalidade de uso é destinada ao corte e à produção de feno/silagem. A superpopulação se aplica apenas para a leucena, pois, ao analisá-la como árvore, essa densidade se torna inviável. Segundo Drummond & Ribaski (2010), uma população de 40.000 planta ha^{-1}, com ciclos de corte de 3 vezes ao ano, pode produzir até 7,5 t ha^{-1} por ano de matéria seca.

A população de leucena foi adotada para manter um plantel que sobrevivesse as limitações ambientais. Foram semeados cinco indivíduos por sulco para garantir uma maior produção no primeiro ciclo e depois de uma estabilização, eliminou-se 80% das plantas de leucena por unidade experimental, ou seja, manteve-se um individuo por sulco, resultando numa população de 50.000 plantas ha^{-1}. Apenas a cultura leucena recebeu o desbaste.

Com a ausência de fontes de variações locais (classe textural, densidade do solo, relevo e sombreamento) optou-se por um experimento em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para analisar a influência do consórcio na respiração do solo e no desenvolvimento vegetativo, foi implantado um DIC em arranjo de parcela subdividida, com 8 tratamentos e 5 repetições (croqui experimental anexos 01 e 02). A área de cada parcela é de 400 m^2 (20 x 20m), e cada subparcela tem área de 30 m^2 (3 x 2 m, por 5 repetições). Cada unidade experimental mede 6 m^2 (3 x 2 m), sendo a área útil de 2 m^2 (2 x 1 m). Os tratamentos são as combinações entre os dois fatores (milheto e formas de cultivo da Palma). O fator primário, ou parcela refere-se a ausência (SEM) ou presença (COM) de milheto, já a subparcela é o que denominamos de formas de cultivo da palma, compostos por Palma Solteira (P) como testemunha, Palma + Crotalária (PC), Palma + Guandu (PG) e Palma + Leucena (PL).

Após 50 dias do replantio foram registrados apenas dois eventos de chuva que acumularam 60 mm. Para manter o pleno desenvolvimento das espécies e garantir apenas o efeito destes indivíduos sobre as variáveis respostas, foi proposto a irrigação a partir de um sistema pressurizado por gotejamento.

Foram instaladas linhas de gotejadores espaçadas a cada 50 cm, com distância entre emissores de 20 cm e vazão média de 2,6 l h^{-1}, em 15 de agosto de 2021. A água foi obtida a partir de um poço semi-artesiano, cujo pH e condutividade elétrica (CE) é de 5,6 e 3,9 dS m^{-1}, respectivamente. Um volume de água diário de apenas 2000 l/dia, garantiu uma lâmina de irrigação constante de 6,5 mm por unidade experimental. Devido ao baixo volume de água e a baixa velocidade de reposição, o sistema de irrigação foi dividido em 5 partes, cada um responsável por 4 linhas, irrigando simultaneamente 8 parcelas experimentais. Para haver maior controle no volume

irrigado, cada sistema era mantido ligado por 15 minutos, sempre de forma aleatória para não promover diferenciação de parcelas.

Para a demarcação das características de cada cultura durante o período experimental, foram levantadas as informações sobre as fases do desenvolvimento das plantas, tanto vegetativas quanto reprodutivas (floração e frutificação). Em relação a cultura da palma, também contabilizou-se o número médio de cladódios emitidos após o corte de uniformização.

- **Respiração, umidade, armazenamento total de água no solo e temperatura do solo**

A respiração total do solo (R_S) foi quantificada a partir de um analisador de gás por infravermelho (IRGA LI6400-XT –LI-COR), baseado na absorção de radiação na banda do infravermelho (l > 0,7 mm) pelo CO_2, conectado a uma câmara de retenção de CO_2 ($\mu mol_C\ m^2\ s^{-1}$) (LI-6400-09, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA), acoplado ao cilindro cravado no solo, até sua estabilização. As aferições da respiração total se deram após 35, 45 e 55 dias após o replantio (DAR), e para cada tempo, foram realizadas duas medidas de R_S por parcela. As aferições eram aleatórias entre as parcelas, afim de eliminar o efeito do ganho de temperatura ao longo do dia, pois as medidas iniciavam às 09 horas e terminavam às 15 horas, para 35, 45 e 55 DAR (Figura 3).

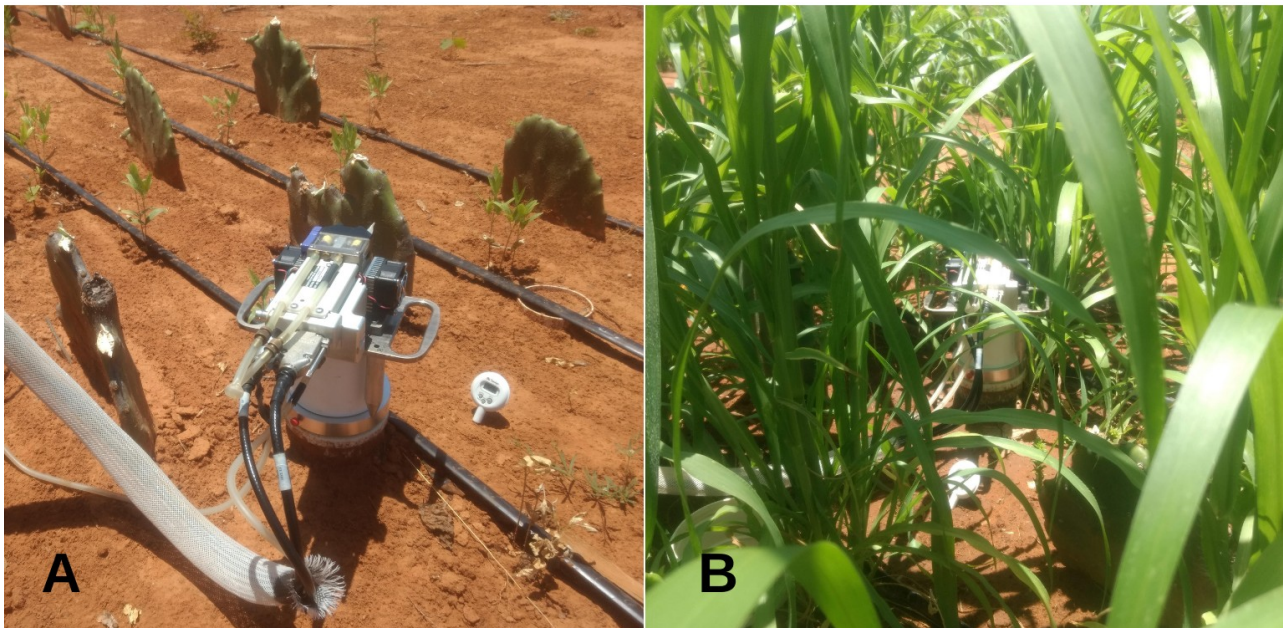


Figura 3: Analisador de gás infravermelho (IRGA) e termômetro medindo a respiração total e temperatura do solo nos consórcios Palma com Guandu, aos 35 DAR (A) e Palma com Milheto com Crotalária, aos 45 DAR (B).

A umidade do solo (θ) foi aferida simultaneamente as medidas da respiração, através de tubos de acesso de PVC com 30 cm de profundidade, sendo monitorada a partir da sonda Diviner FDR (SENTEK®), instalados em 10 de junho de 2021. Conforme proposto por Resende et al., (2017), foram utilizados neste experimento eletrotubos pretos, na qual foi necessário realizar uma

calibração previa para as constantes dielétricas do ar e da água sob influência do material, seguindo a metologia proposta no manual do aparelho. Após calibração do aparelho e instalação do tubo, o solo foi umedecido até atingir a saturação e a variação de umidade foi monitorada a partir da sonda FDR, até os níveis de umidade ficarem próximos de uma estabilização no tempo. Por esta calibração, foi possível constatar que, após 48 h, o valor médio para a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) foi de aproximadamente 20% para a camada de 0-20 cm (Figura 4). O FDR monitorou as umidades das camadas de 00 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 – 30 cm de espessuras, expressando os dados em %, para todas as parcelas, no respectivo instante da medida da respiração total. Para avaliar o efeito sob a respiração do solo, foram utilizados os valores correspondentes á camada de 0-10 cm.

O armazenamento total de água no solo (Δ) foi obtido pelos valores médios de umidade do solo nos perfis monitorados em razão da profundidade total monitorada (0 – 30 cm). Já a temperatura da superfície do solo (T_S) foi aferida por um termômetro digital portátil de haste (MINIPA – MV-363) para cada medida da respiração, monitorando os primeiros 15 cm do solo.

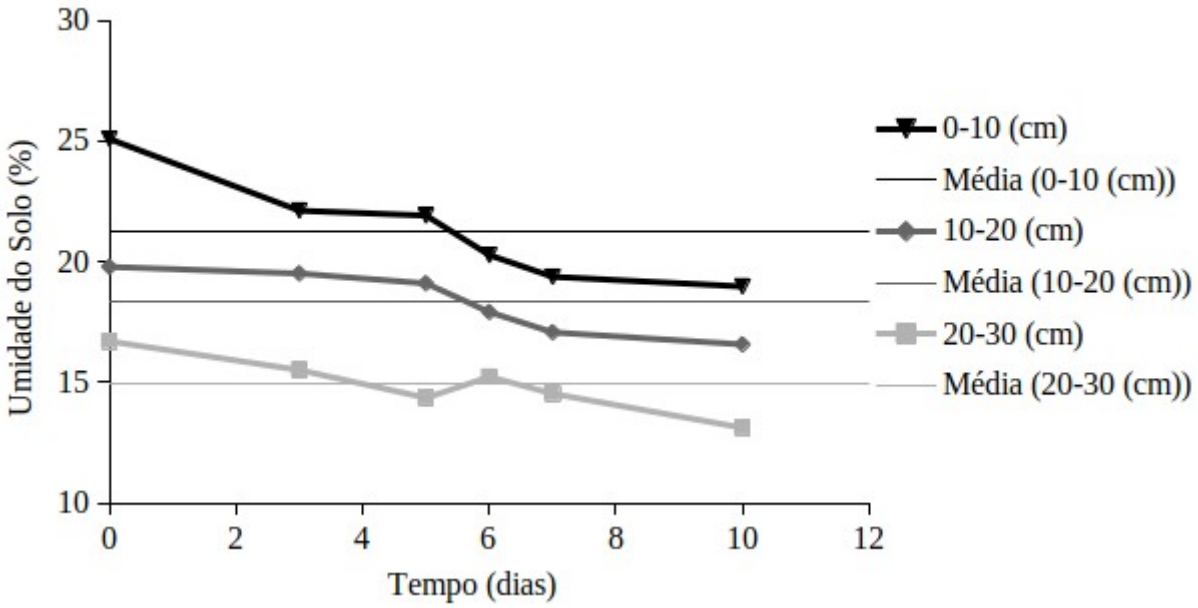


Figura 4: Variação da umidade do solo (%) no tempo, após saturação, monitorada pelo FDR, para determinação da umidade na capacidade de campo.

- **Índice de área foliar**

O índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área do dossel e a superfície do solo por ela ocupada, em m^2 m^{-2} e foi obtido pelo ceptômetro Accupar LP-80 (METER ENVIRONMENT). A

média foi definida para quatro valores obtidas por mensurações ao norte, sul, leste e oeste da área útil experimental, com o ceptômetro sob a superfície do solo. Os valores IAF foram obtidos simultaneamente às medidas de respiração do solo.

- **Densidade do solo**

Para analisar a influência dos tratamentos na estrutura do solo foram coletadas amostras de solo com um amostrador de Uhland (UHLAND, 1951) para determinação da densidade do solo (ρ). Foram amostrados os primeiros 15 cm do solo, em cilindros com um volume de 90 cm^3. Um conjunto de amostras foram coletadas antes da implantação do experimento, para determinar a densidade do solo inicial. As amostras de solo pós tratamentos foram coletadas aos 60 DAR.

- **Análise estatística**

Os dados da R_S, θ, T_S, IAF, Δ e ρ foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificação da suposição de normalidade e ao teste de Levene para verificação da homoscedasticidade. Apenas os dados que apresentaram inconsistências quanto a normalidade precisaram ser transformados, sendo submetidos a análise BoxCox (OSBORNE, 2010), para determinação do valor de λ (fator de transformação):

$$y_\lambda = y^\lambda, para(\lambda \neq 0) \quad (1)$$

e

$$y_\lambda = \log y, para(\lambda = 0) \quad (2)$$

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de probabilidade de 5%, pelo pacote ExpDes.pt (FERREIRA et al., 2013), no Rstudio (R CORE TEAM, 2020). Com relação aos dados de ρ, os valores iniciais foram utilizadas como tratamento adicional.

5. Resultados e discussão

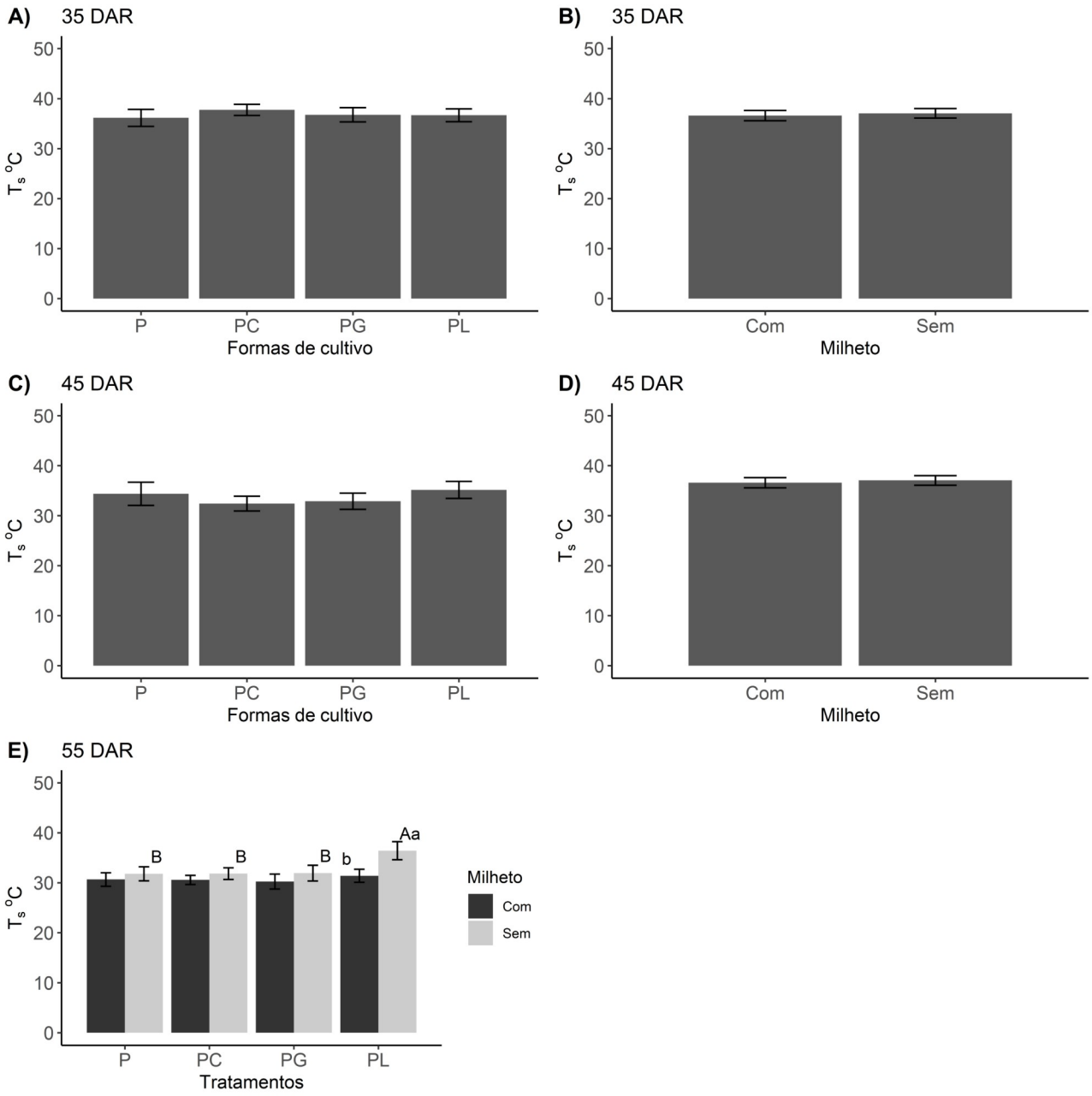
As espécies forrageiras apresentaram bom desenvolvimento durante o período experimental. As plantas de palma, após o corte de uniformização, emitiram mais de 95% de novos cladódios, em média de 11 novos cladódios por planta. O milheto completou seu ciclo de desenvolvimento aos 60 DAR, emitindo a panícula em mais de 75% dos indivíduos em todas as parcelas. A cultura que melhor apresentou desenvolvimento foi a Crotalária, pois aos 30 DAR, alguns indivíduos aleatórios já apresentavam florescimento. Aos 45 DAR, a Crotalária encontrava-se em pleno florescimento, mantendo-se assim até os 60 DAR, quando a frutificação atingiu a maturação. O Guandu apresentou apenas o desenvolvimento vegetativo, apesar de alguns indivíduos senescerem devido as condições

hídricas. O menor desempenho apresentado foi da Leucena, com poucos indivíduos atingindo os 30 cm de altura.

Os dados referentes a θ e T_S, apresentaram regularidade nos pré-requisitos para análise de variância (normalidade de resíduos e homoscedasticidade), contudo, a respiração do solo, aos 35 e 45 DAR, precisaram ser transformados para obtenção da normalidade, com os valores do fator de transformação λ no box cox (Equação 1) iguais a -0,3650 e -0,3527, respectivamente. Já para o IAF, apenas aos 35 DAR que apresentou irregularidade dos pré-requisitos, obtendo um valor de transformação λ igual a -0,7661. Os gráficos foram plotados a partir dos dados não transformados, mas a comparação estatística das médias foram feitas a partir dos dados transformados no método box cox.

Para explicar o fenômeno da respiração do solo total, é necessário conhecer os efeitos dos fatores limitantes, a T_S (Figura 5) e θ (Figura 6), que atuam simultaneamente e sinergicamente sobre os agentes condicionantes, influenciada pelas condições de clima, tempo e cobertura do solo, que diminui a incidência de radiação sob a superfície, devido ao efeito de interceptação pelo dossel da vegetação.

A camada superficial do solo concentra a maior densidade de raízes, microbiologia do solo, por consequência da matéria orgânica e nutrientes do solo, sendo estes os principais responsáveis pelos níveis de CO_2 emitidos pela respiração total. Além disso, a cobertura vegetal atua diretamente para minimizar a incidência de radiação que atinge o solo, promovendo a manutenção da temperatura (GIRI; VARMA, 2020).



DAR - Dias após o replantio; Ts – Temperatura do solo; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milheto; Sem - Ausência de milheto. Letras minusculas diferentes divergem entre si ao teste de tukey (0,05) para a presença ou ausência de milheto dentro de cada nível da Forma de cultivo da palma. Letras maiúsculas diferentes divergem entre si ao teste de Tukey (0,05) no mesmo nível de milheto entre os sistemas.

Figura 5: Temperatura do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.

Não houve efeito de interação estatística entre parcela e subparcela (p-valor 0,48 e 0,40, respectivamente) para T_s do solo aos 35 e 45 DAR (Figura 5A, 5B, 5C e 5D). A interação entre os tratamentos para T_s se deu apenas aos 55 DAR (p-valor 0,03). A média da T_s do solo para as formas

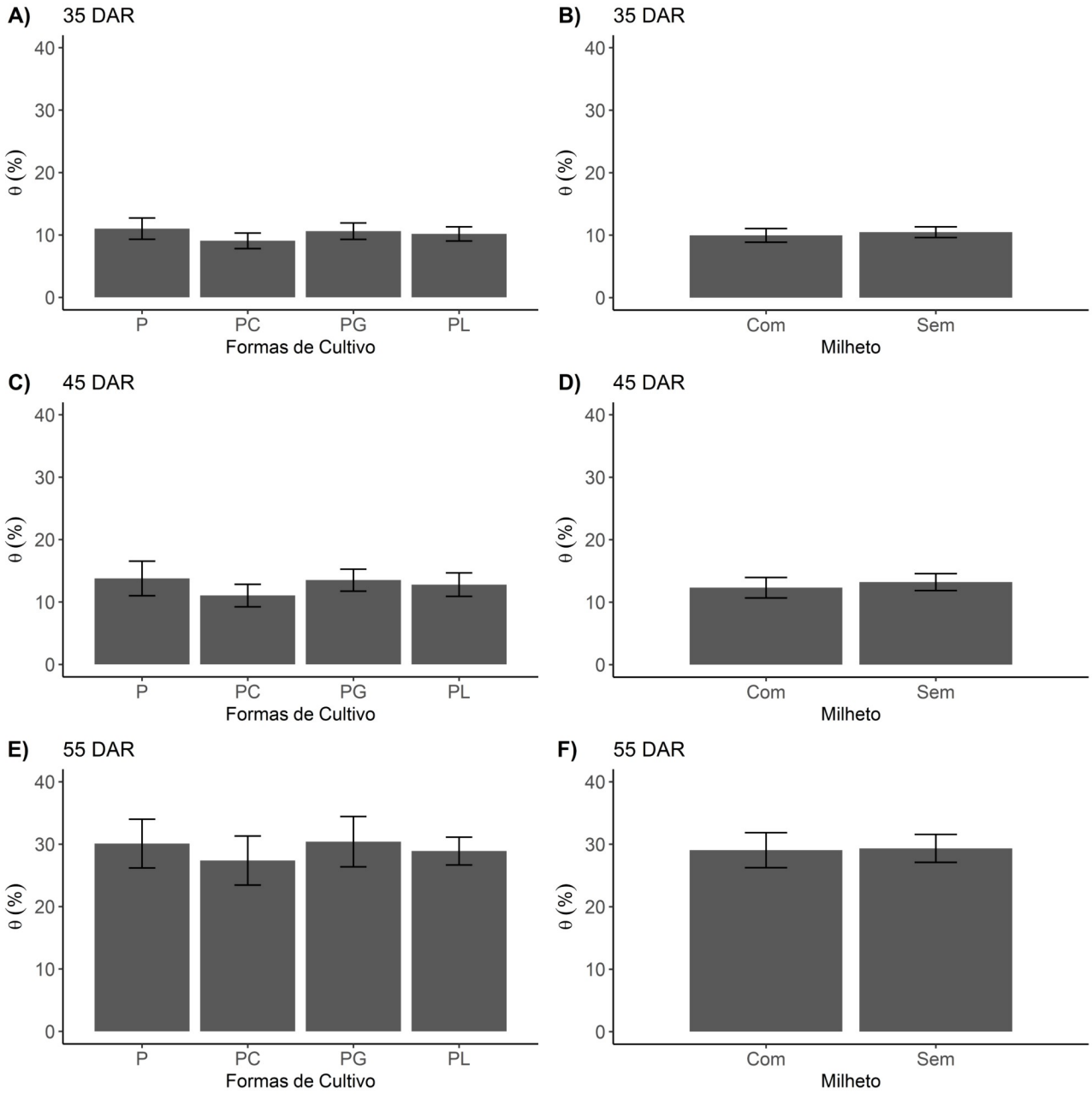
de cultivo da palma aos 35 DAR (Figura 5A) são semelhantes, pois neste estágio as plantas estavam em desenvolvimento e a cobertura do dossel era baixa. No efeito simples da presença de milheto os 35 DAR (Figura 5B), também houve uma diferença.

Durante a estação de seca na região semiárida, entre maio e outubro (SPARACINO et al., 2021), os índices de radiação fotossinteticamente ativa superam os 2000 μmol m^2 s^{-1}, atingindo temperaturas médias do ar acima dos 30°C (SOUZA et al., 2018). Essa radiação incidente na superfície do solo eleva sua temperatura, que varia de acordo com o dossel vegetal (BEZERRA et al., 2021). Em cultivos irrigados, mesmo durante as estações de seca, o fornecimento de água ajuda na manutenção da temperatura do solo (DONATONI et al., 2021). Outro fator é o desenvolvimento acelerado de culturas de caráter forrageiro, principalmente de ciclo C_3 e C_4 (SOUZA et al., 2018).

Aos 45 DAR, comparando tanto as formas de cultivo (Figura 5C) como as condições de ausência e presença do milheto (Figura 5D), não houve diferença entre as médias. A medida que aumenta o desenvolvimento vegetativo, a dinâmica do dossel ajuda diminuir a incidência de radiação e consequentemente reduz a T_s do solo. O destaque para a T_s do solo se dá aos 55 DAR (Figura 5E) quando se percebe um efeito de interação entre os fatores (formas de cultivo *vs* condição com a presença e ausência de milheto).

Apesar do saldo acumulado de chuvas entre 45 e 55 DAR (60 mm) reduzir a T_S do solo em aproximadamente 5°C, no consórcio PL seu valor médio superou a dos outros tratamentos, ficando até mesmo acima da temperatura média da Palma solteira, que, por característica, apresenta a menor taxa de cobertura vegetal, logo, maior exposição do solo. Tal comportamento não é apresentado para este mesmo consórcio (PL) na presença de milheto. Supomos que há uma interação entre Palma-Leucena que contribua para elevar a temperatura do solo. Para as demais formas de cultivo, a T_S manteve-se constante.

A temperatura é uma variável importante na manutenção da vida, diretamente relacionada com a radiação que ao promover fotossíntese e aumento na respiração das plantas, condiciona um incremento da biomassa vegetal e, por consequência, influenciam na θ, por evapotranspiração (KLUGE et al., 2015). Em outras palavras, a θ é afetada pela temperatura e pelo dossel, mesmo em cultivos irrigados (Figura 6).



DAR - Dias após o replantio; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milheto; Sem - Ausência de milheto.

Figura 6: Umidade do solo, na camada 0 - 10 cm, para as formas de cultivo da palma e milheto aos 35, 45 e 55 DAR.

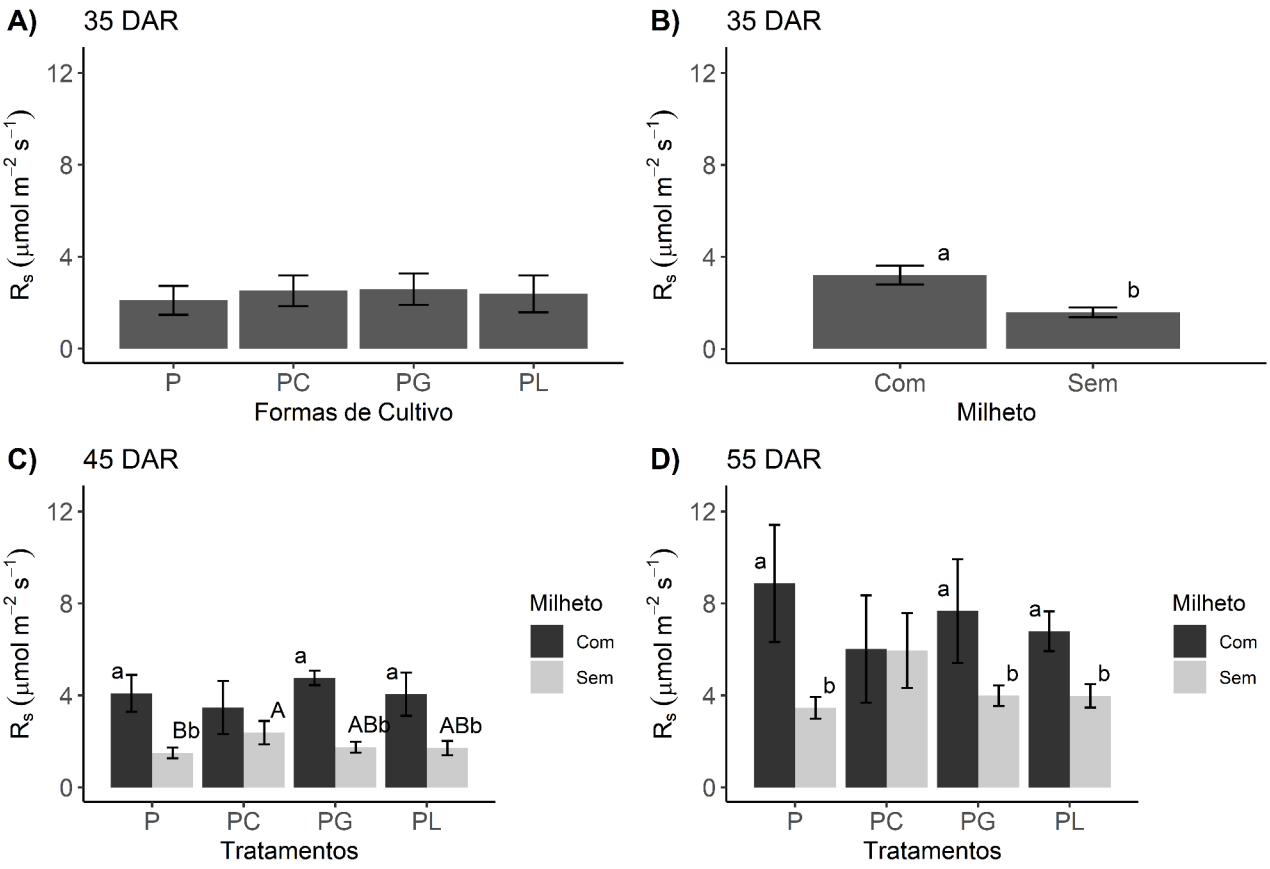
A umidade do solo (θ) não apresentou diferença entre as médias dos tratamentos para nenhum dos dias. Dos 35 aos 45 DAR, a irrigação manteve a umidade do solo constante. Aos 55 DAR, a chuva acumulada elevou a θ em mais de duas vezes, contudo, o comportamento dos indivíduos vegetais apresentaram similaridades ao longo do tempo. No consórcio cujos indivíduos apresentaram maiores incrementos de biomassa (crotalária), ou onde a demanda hídrica foi maior (consórcios triplos) há uma tendência nos valores de umidade em apresentarem valores médios

menores Isso demonstra que a umidade favoreceu o desenvolvimento das espécies e consequentemente influenciou na respiração destes indivíduos.

Dos 35 aos 45 DAR, apesar da irrigação, o solo se manteve com uma umidade próximo de 50% da capacidade de campo (θ_{cc} = 0,2 $m^3 m^{-3}$). Ao 55 DAR, após as chuvas, a umidade ultrapassou a capacidade de campo, sobretudo na camada mais superficial. Isso provocou efeitos adversos aos cultivos, principalmente no que diz respeito a competitividade entre as plantas consorciadas, contribuindo para a redução do metabolismo vegetativo.

Uma vez que a T_S e a θ, fatores limitantes da respiração total do solo, são constantes em cada período de avaliação, e que estes não foram interferidos pela cobertura vegetal a variação na R_S total, é resultante da interação ou competição entre os indivíduos e da atividade microbiana (ROBY et al., 2019). Quanto mais equilibrado for o sistema, maior o nível de interação entre os fatores, e maior é a taxa de respiração, correlacionado com o maior sequestro de carbono atmosférico, portanto, o sistema que apresentar maiores valores da respiração total está indicando ser um sistema ecologicamente mais estável, pois favorece para uma maior saúde do solo (BARRON-GAFFORD et al., 2011, DUSZA et al., 2020).

Apesar de inicialmente a contribuição microbiológica ter sido constante para todos os tratamentos, as plantas nos consórcios interagiram de forma diferente com a microbiota do solo. Isso favoreceu um desenvolvimento microbiológico desigual entre os distintos consórcios que promoveram alterações no efluxo. Essa sinergia das plantas consorciadas com a microbiologia do solo intensificou a variação na respiração total entre os tratamentos aos 45 e 50 DAR (Figura 7C e 7D).



DAR - Dias após o replantio; Rs – Respiração do solo; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milheto; Sem - Ausência de milheto. Letras minúsculas iguais, de acordo com o teste de Tukey (0,05), não diferem entre os consórcios com e sem milheto dentro de cada nível da forma de cultivo da palma. Letras maiúsculas iguais, de acordo com o teste de Tukey (0,05), não diferem para o mesmo nível de milheto entre as formas de cultivo da palma.

Figura 7: Respiração total do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.

Aos 35 DAR não houve efeito de interação, com diferença apenas na parcela. Nesse momento os solos sob todos as formas de cultivo com a palma apresentaram R_S semelhante (Figura 7A). A maior diferença se encontra na parcela, onde a respiração nos solos com milheto (consórcios triplos) é o dobro dos solos sem milheto (consórcios duplos e a palma solteira) (Figura 7B). A R_S respondeu diretamente a concentração de raízes e o desenvolvimento das plantas. Há ainda um efeito competitivo entre eles, que provoca uma aceleração no metabolismo devido a escassez de recursos (CASAGRANDE et al., 2014).

Aos 45 DAR, detectou-se uma diferença entre os tratamentos, com efeito de interação entre os fatores (Formas de cultivo: Milheto, p-valor 0,009). Com o incremento de biomassa no tempo, os tratamentos com milheto tiveram a respiração do solo quase três vezes maior que os tratamentos sem (Figura 7C). Apesar disso, entre os tratamentos, a presença do milheto não fez variar as médias. Na ausência do milheto a variação de R_S entre os tratamentos provém do desenvolvimento

proeminente das leguminosas em relação a palma solteira. Os solos com o consórcio PC sem milheto obtiveram os maiores valores da R_S, diferindo apenas da Palma solteira (P). As demais formas de cultivo tiveram valores médios semelhantes aos da palma solteira.

As maiores variações da respiração do solo se deram aos 55 DAR, também havendo interação entre os fatores (p-valor 0,02). Não houve diferença entre os tratamentos, tanto na ausência como na presença de milheto. Comparando os valores de R_s nos solos de cada forma de cultivo dentro do fator milheto, com exceção do cultivo consorciado com crotalária (PC), todas as outras formas de cultivo apresentaram diferença, ou seja, a presença de milheto nos consórcios aumentou as taxas de respiração em comparação aos cultivos onde o milheto é ausente.

O aumento expressivo da R_s aos 55 DAR foi influenciado pelo aumento de θ e a redução de T_S, que aceleraram o desenvolvimento vegetativo das plantas e atividade microbiológica dos solos consorciados, exceto para a Palma Solteira, que, apesar do aumento da R_s no tempo (Figura 7C e 7D), não apresentou grandes variações. A palma como sendo uma representante das Cactaceae, de metabolismo CAM, em vez de separar as reações dependentes da luz e o uso do CO_2 no ciclo de Calvin no espaço, separa estes processos no tempo (ALVES et al., 2020). A noite, ao abrir seus estômatos, a palma possibilita a difusão do CO_2 para o interior dos cladódios, reduzindo a taxa de desenvolvimento vegetativo sob circunstâncias adversas, demorando a apresentar respostas sob condições favoráveis ao desenvolvimento (SILVA MACEDO et al., 2020). Isso implica dizer que no consórcio PM, o milheto é o responsável pelo aumento na R_s e pela diferença significativa, padrão observado em todos os tratamentos e no tempo (Figura 7). As variações nas condições hídricas fazem com que a palma forrageira tenha seu metabolismo modificado e passe a ter comportamento CAM facultativo, apresentando o metabolismo fotossintético C3. Consequentemente, como o metabolismo é diurno, a respiração aumenta (EPIFÂNIO, 2019).

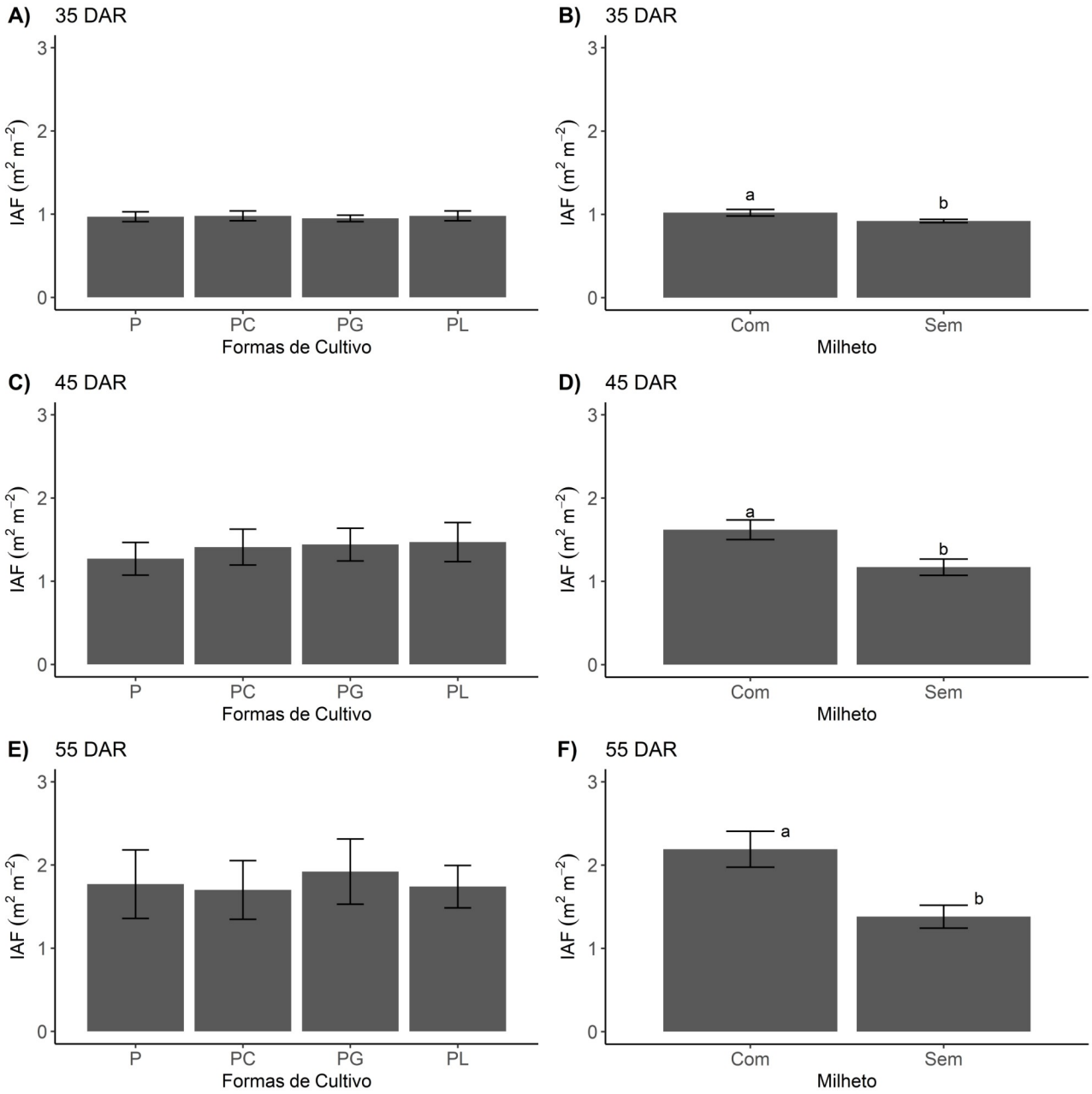
O milheto é uma gramínea tropical de metabolismo C4, onde as reações dependentes da luz e o Ciclo de Calvin estão fisicamente separados. As reações dependentes da luz acontecem nas células do mesófilo (tecido esponjoso no meio da folha), enquanto que o Ciclo de Calvin acontecem em células especiais ao redor das nervuras (SILVA et al., 2020). Além disso, o rendimento energético metabólico é maior, ou seja, produzem moléculas com 4 carbonos na cadeia e, embora a fotorrespiração seja otimizada, tendendo ao mínimo necessário, o efeito da maior assimilação de C é incorporado na biomassa e na aceleração do desenvolvimento. Uma vez que os fatores externos sejam favoráveis ao crescimento da planta, ocorre um aumento na taxa de respiração da planta (AMORIM et al., 2017).

A crotalária é uma leguminosa de ciclo rápido (aproximadamente 60 dias) e possui crescimento determinado. Aos 55 DAR, mais de 90% das plantas de crotalária apresentaram pleno

florescimento e frutificação. Isso intensificou a competição entre os indivíduos, resultando num ambiente de difícil desenvolvimento, refletido na respiração do solo. O Feijão Guandu é uma leguminosa bianual descendente de uma variedade crioula mais adaptada ao ambiente semiárido e de desenvolvimento vegetativo lento. Mesmo sob irrigação, o desenvolvimento do Feijão Guandu foi minimizado pela temperatura média elevada no período seco. A Leucena é a única leguminosa de caráter arbóreo, e que por apresentar um desenvolvimento muito lento, pouco contribuiu para a respiração do solo consorciado.

Com a T_S e θ constantes para os tratamentos para cada intervalo de tempo (DAR), as diferenças detectadas na R_S é decorrente dos efeitos de interação *vs* competição entre as respirações das raízes dos indivíduos consorciados e as respirações heterotróficas da microbiota do solo. Os conflitos entre organismos vegetais e microbiológicos pelos recursos, refletem diretamente no desenvolvimento das plantas, resultando numa heterogeneidade de dossel (SHEN et al., 2009).

O IAF permite compreender a influência da dinâmica de cobertura vegetal dos distintos consórcios sobre respiração do solo. Como os valores de umidade e temperatura do solo, dentro de cada intervalo de tempo (35, 45 e 55 DAR), foram praticamente os mesmos entre tratamentos, a variação de R_s é uma resposta das atividades heterotróficas e autotróficas ao longo do desenvolvimento vegetativo detectado com as medidas de IAF (Figura 8).



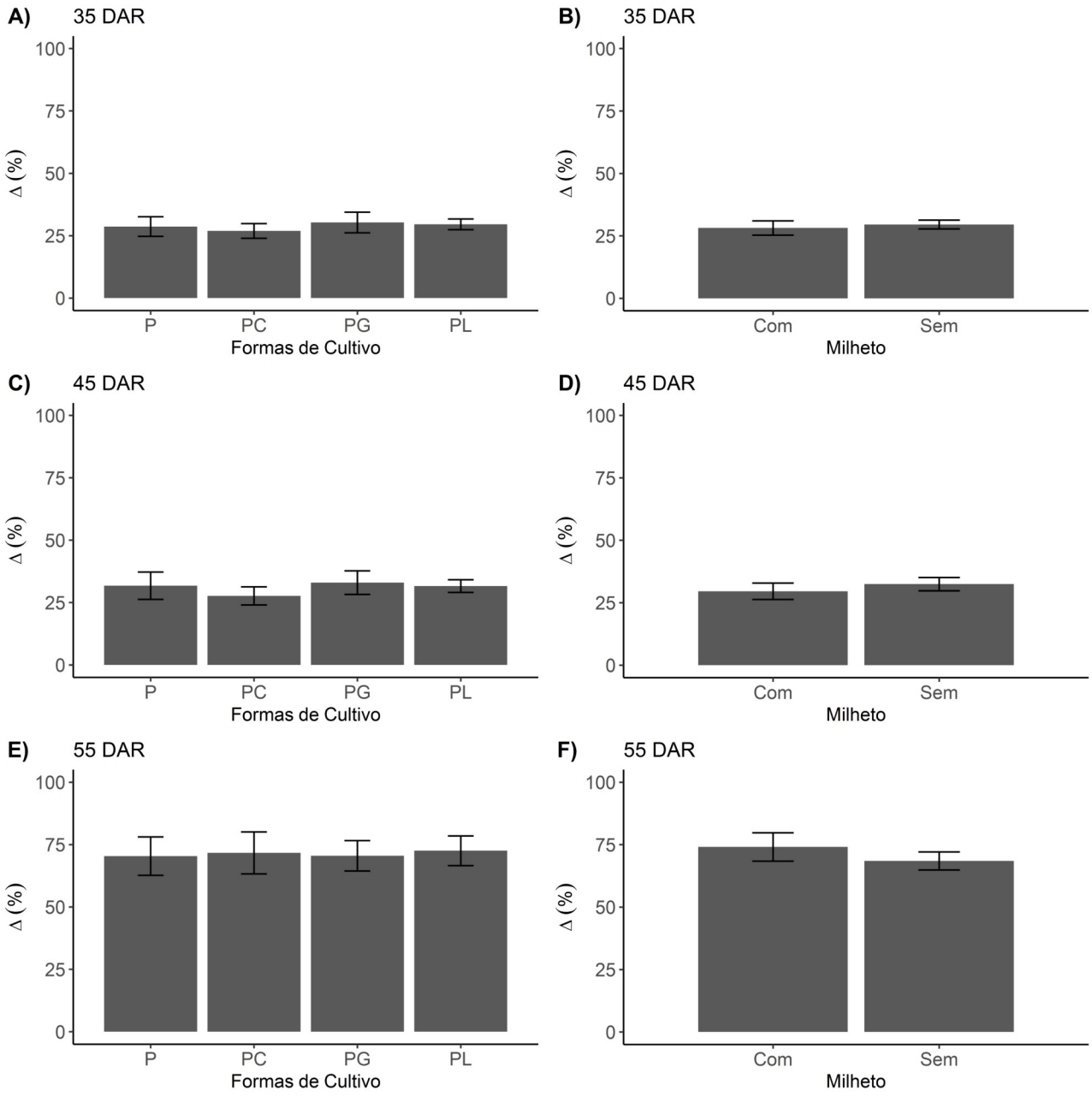
DAR - Dias após o replantio; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milheto; Sem - Ausência de milheto. Letras minusculas semelhantes não diferem entre sí ao teste tukey (0,05).

Figura 8: Índice de Área Foliar para as formas de cultivo da palma e milheto aos 35, 45 e 55 DAR.

Não houve efeito de interação entre os fatores para nenhum dos intervalos de tempo estudados, havendo diferença apenas no fator milheto isoladamente. Aos 35, 45 e 55 DAR, as formas de cultivo mantiveram entre si os IAF constantes e uniformes (Figuras 8A, 8C e 8E), com um incremento médio no IAF de 0,5 m^2 m^{-2} para cada 10 dias. As principais diferenças entre os tratamentos está no fator milheto, onde a sua presença elevou o IAF do consórcio em aproximadamente 30%, comparado aos tratamentos sem milheto. O IAF é uma medida de desenvolvimento vegetativo, pois revela a variação da área de cobertura vegetal no espaço e no

tempo (SANTOS, 2009). Isso corrobora com os dados de respiração, pois o aumento nas taxas de respiração do solo, acompanharam o incremento na biomassa aérea, tanto entre os tratamentos como no tempo.

As diferenças de temperatura e umidade do solo nos tratamentos refletiram nas variações da respiração, e que o incremento de biomassa variou em função do tipo de cobertura vegetal, tal variação reflete um uso eficiente dos recursos locais nos ambientes consorciados, na maior disponibilidade hídrica e eficiência do uso da água (Figura 9).



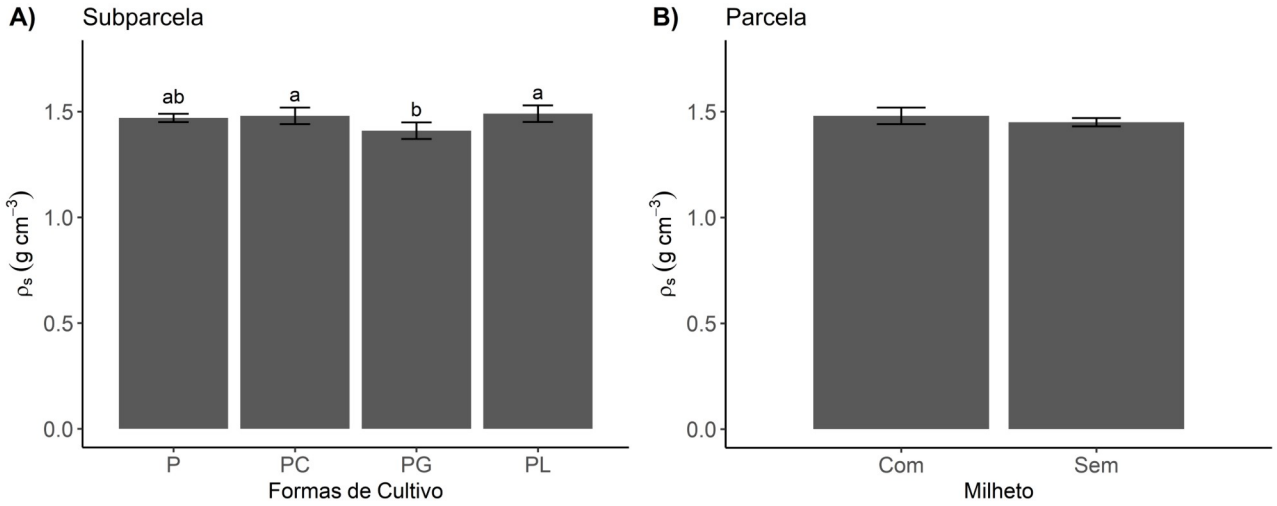
DAR - Dias após o replantio; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milheto; Sem - Ausência de milheto.

Figura 9: Armazenamento total de água no solo (Δ) no perfil de 0 - 30 cm aos 35, 45 e 55 DAR.

Não houve diferença no armazenamento total de água no solo entre os tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR. Assim como a umidade do solo (θ), aos 35 e 45 DAR a irrigação manteve os níveis de água constantes, embora baixos, e nesses instantes o desenvolvimento das plantas foi menor, o que refletiu na R_S e no IAF, e na temperatura do solo mais elevado devido a maior exposição do solo ao sol. Já aos 55 DAR, após as chuvas, a quantidade de água armazenada triplicou (Figura 9E e

9F), aumentando a disponibilidade de água no solo e favorecendo o crescimento das plantas a respiração e o controle de temperatura do solo.

O aumento da respiração do solo com o incremento de biomassa aérea, é resultante de uma maior atividade das raízes. O efeito desse crescimento resulta na reestruturação do solo, retratado pela densidade do solo (Figura 10), em decorrência da expansão radicular.



P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milheto; Sem - Ausência de milheto. Letras minusculas semelhantes não diferem entre sí ao teste tukey (0,05).

Figura 10: Densidade do solo (ρs), camada 0 – 15 cm sob efeito dos tratamentos aos 60 DAR.

A densidade média inicial do solo, antes da implementação do experimento, foi de 1,49 ± 0,07 g cm^{-3}. Ao comparar a parcela adicional com a média geral do fatorial, 1,46 ± 0,06 g cm^{-3}, constata-se que não houve diferença entre eles, ou seja, a combinação dos fatores não alterou a densidade do solo no período experimental (p-valor: 0,4). Também não houve efeito de interação entre os fatores e, ao analisar os efeitos simples sobre a densidade do solo (Figura 10B), tem-se que a parcela não apresentou diferença entre seus fatores, ausência e presença de milheto. Contudo, nas subparcelas (Figura 10A), houve diferença nos valores médios de ρ_s entre os solos das distintas formas de cultivo, onde os consórcios com o guandu provocaram redução da densidade do solo.

6. Conclusões

A respiração do solo variou entre as diferentes combinações de cultivos com destaque para os consórcios triplos, aos 45 e 55 DAR, em decorrência da presença do milheto.

Nos consórcios duplos, a respiração do solo foi mais influenciada pela presença da leguminosa crotalária, enquanto nos consórcios triplos, a leguminosa guandu foi superior.

O fator limitante que mais contribuiu com a respiração do solo foi a umidade, com aumento de mais de 100% entre 35 e 55 DAR. Isso resultou num aumento da cobertura vegetal, relacionado ao IAF, que de 35 até 55 DAR dobrou o seu valor. Além disso, a presença do milheto nos consórcios elevou em mais de 40% o IAF.

A densidade do solo não foi alterada pela combinação dos tratamentos, e apenas a média geral simples das culturas da palma e do guandu reduziram em aproximadamente 5% a densidade do solo.

7. Considerações finais

Uma vez que as variáveis limitantes da respiração do solo foram consideradas constantes entres os tratamentos dentro de cada intervalo de tempo, apenas a influência do sistema radicular das plantas consorciadas, somadas as contribuições microbiológicas, foram responsáveis pela variação na respiração do solo.

A respiração do solo respondeu de forma positiva ao incremento de biomassa apoiada pelo aumento no IAF, ainda mais acentuado no consórcio triplo. A respiração do solo mostrou que os tratamentos avaliados beneficiam à atividade agrícola no semiárido, e podem ser usados como mecanismos de produção de alimento para criação animal, mesmo sob um sistema de irrigação até mesmo deficitário.

Recomendamos o consórcio triplo, com as culturas bases de Palma e Milheto, representando o grupo dos cactos e das gramíneas, respectivamente. O terceiro elemento, do grupo das leguminosas, recomendamos de acordo com a necessidade de rapidez na obtenção da biomassa. Para uma demanda de curto intervalo de tempo, recomendamos a crotalária, que em menos de 60 dias após o plantio entrou em fase de floração e frutificação. Se o objetivo for obtenção de alimento não apenas para animal, mas também humano, recomendamos o feijão-guandu, através dos grãos. É uma cultura bienal e com capacidade de produção de grãos a partir dos 120 dias após plantio, tolera bem o período seco e produz significativamente bem no 2° ano. Para um planejamento de períodos longos, a leucena é a mais indicada, pois é uma espécie arbórea, com grande volume de biomassa, alta taxa de rebrota e tolerante a seca.

8. Referências bibliográficas

ABBAS, F.; HAMMAD, H. M.; ISHAQ, W.; FAROOQUE, A. A.; BAKHAT, H. F.; ZIA, Z.; CERDÀ, A. A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. **Journal of environmental management**, v. 268, p. 110319. 2020.

ABS, E.; FERRIÈRE, R. Modeling Microbial Dynamics and Heterotrophic Soil Respiration: Effect of Climate Change. In K, Dontsova, Z, Balogh-Brunstad, G, Le Roux (Eds.), Biogeochemical Cycles: **Ecological Drivers and Environmental Impact.** v. 251, p. 103-129. John Wiley & Sons, 2020.

AFRASINEI, G. M.; MELIS, M. T.; BUTTAU, C.; ARRAS, C.; PISTIS, M.; ZERRIM, A.; GHIGLIERI, G. Classification methods for detecting and evaluating changes in desertification-related features in arid and semiarid environments. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, v. 2, n. 1, p. 1-19, 2017.

ALMAGRO, M.; LÓPEZ, J.; QUEREJETA, J. I.; MARTÍNEZ-MENA, M. Temperature dependence of soil CO_2 efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 3, p. 594-605, 2009.

ALVES, F. A. L.; SANTOS, D. C.; SIQUEIRA, S. M.; CONCEIÇÃO SILVA, M.; MELLO, D. R. Metabolismo fotossintético de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 25, n. 2. 2020.

AMORIM, D. S.; SILVA, A. L.; SOUSA, S. V.; DE SOUSA, P. H. A. A.; REIS, Á. L. A. Caracterização e restrições de forrageiras indicadas para as diferentes espécies de animais de produção–revisão. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 1, p. 215-237. 2017.

BARNARD, R. L.; BLAZEWICZ, S. J.; FIRESTONE, M. K. Rewetting of soil: Revisiting the origin of soil CO_2 emissions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 147, p. 107819. 2020.

BARRON-GAFFORD, G. A.; SCOTT, R. L.; JENERETTE, G. D.; HUXMAN, T. E. The relative controls of temperature, soil moisture, and plant functional group on soil CO_2 efflux at diel, seasonal, and annual scales. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 116, n. G1, 2011.

BECKER, J. N.; HOLZ, M. Hot or not? connecting rhizosphere hotspots to total soil respiration. **Plant and Soil**, v. 464, p. 1-11, 2021.

BENEVIDES, C. M. J,; SANTOS, A. D. J. S.; LIMA, L. S. D. S.; TRINDADE, B. A.; LOPES, M. V.; SOUZA MONTES, S.; SOUZA, A. C. S. Aspectos tecnológicos do subproduto de panc (farinhas de *Cajanus cajan* e *Phaseolus lunatus*): fortalecimento da agricultura familiar. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23221-23233, 2019.

BEZERRA, H. N.; BEZERRA, J. M.; SOBRINHO, J. E.; SILVA, W. B.; RÊGO, A. T. A. Avaliação espaço-temporal do saldo de radiação para área heterogênea em região semiárida. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 38, n. 3, 2021.

CAPSTAFF, N. M.; MILLER, A. J. Improving the yield and nutritional quality of forage crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 535, 2018.

CASAGRANDE, D. R.; DE KÁSSIA GOMES, F.; DE SÁ, O. A. A. L.; LARA, M. A. S. Compatibilidade entre gramíneas e leguminosas em pastagens consorciadas. **QuaeWork: a method to assess work organization (duration and regulation) at farm-scale**, 307. 2014.

CAVALCANTE JÚNIOR, R. G.; VASCONCELOS FREITAS, M. A.; DA SILVA, N. F.; DE AZEVEDO FILHO, F. R. Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian semi-arid region. **Energies**, v. 12, n. 5, p. 904, 2019.

CHITDESHWARI, T.; KARTHIKEYAN, S.; SIVAKUMAR, U. Bioremediation of Salt Affected Soils. Technological advances in enhancing productivity of salt affected soils. **Today & tomorrow's printers and publishers**. p. 743-770. 2020.

DAS, K.; BISWAKARMA, N.; ZHIIPAO, R.; KUMAR, A.; GHASAL, P. C.; POONIYA, V. Significance and Management of Green Manures. **In Soil Health** (pp. 197-217). Springer, Cham. 2020.

DAS, L. K.; KUNDU, S. S.; KUMAR, D.; DATT, C. Fractionation of carbohydrate and protein content of some forage feeds of ruminants for nutritive evaluation. **Veterinary World**, v. 8, n. 2, p. 197, 2015.

DATTA, A.; SETIA, R.; BARMAN, A.; GUO, Y.; BASAK, N. Carbon Dynamics in Salt-Affected Soils. **In Research Developments in Saline Agriculture**. p. 369-389. 2019.

DINIZ, W. J. D. S.; SILVA, T. G. F. D.; FERREIRA, J. M. D. S.; SANTOS, D. C. D.; MOURA, M. S. B. D.; ARAÚJO, G. G. L. D.; ZOLNIER, S. Consórcio de palma forrageira e sorgo em diferentes lâminas de irrigação no Semiárido Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 724-733, 2017.

DONATONI, K. A. P.; BIANCHO, L. E.; APARECIDO, C. F. F.; CARVALHO, J. B. Temperatura do solo em áreas irrigadas com diferentes coberturas vegetais. **Unifunec científica multidisciplinar**, v. 10, n. 12, p. 1-13, 2021.

DOUBI, B. T. S.; KOUASSI, K. I.; KOUAKOU, K. L.; KOFFI, K. K.; BAUDOIN, J. P.; ZORO, B. I. A. Existing competitive indices in the intercropping system of *Manihot esculenta Crantz* and *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley. **Journal of Plant Interactions,** v. 11, n. 1, p. 178-185, 2016.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. Leucena (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E). 2010.

DUSZA, Y.; SANCHEZ-CAÑETE, E. P.; LE GALLIARD, J. F.; FERRIERE, R.; CHOLLET, S.; MASSOL, F.; BARRON-GAFFORD, G. A. Biotic soil-plant interaction processes explain most of hysteretic soil CO_2 efflux response to temperature in cross-factorial mesocosm experiment. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.

EPIFÂNIO, N. M. L. S.; Descritores morfológicos e indicador de metabolismo fotossintético em clones de Palma forrageira . Tese. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, 2019.

FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: **Ed. Universitária da UFPE**, p. 81-104. 2005.

FELICIANO, D.; LEDO, A.; HILLIER, J.; NAYAK, D. R. Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions?. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 254, p. 117-129, 2018.

FÉR, M.; KODEŠOVÁ, R.; KALKUŠOVÁ, B.; KLEMENT, A.; NIKODEM, A. An empirical model for describing the influence of water content and concentration of sulfamethoxazole (antibiotic) in soil on the total net CO_2 efflux. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 68, n. 4, p. 351-358, 2020.

FERREIRA, C. R. P. C. Respiração do solo em áreas de caatinga e de pastagem no agreste de Pernambuco. 2015.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental designs package. R package version 1.1. 2.. 2013. 2013.

FRANCIONI, M.; LAI, R.; D'OTTAVIO, P.; TROZZO, L.; KISHIMOTO-MO, A. W.; BUDIMIR, K.; TODERI, M. Soil respiration dynamics in forage-based and cereal-based cropping systems in central Italy. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 3, p. 10, 2020.

GALVÃO-JUNIOR, J. G. B; SILVA, J. B. A.; MORAIS, J. H. G.; DE LIMA, R. N. Cactus in ruminant feeding: culture and use. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014.

GARCIA-FRANCO, N.; HOBLEY, E.; HÜBNER, R.; WIESMEIER, M. Climate-smart soil management in semiarid regions. **In Soil management and climate change,** p. 349-368, 2018.

GIRI, B.; VARMA, A. Soil Health. Cham: **Springer International Publishing**. 2020.

GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; NGONGONI, N. T.; NCUBE, S. Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. **Animal Feed Science and Technology**, v. 206, p. 1-7, 2015.

HUANG, J.; JI, M.; XIE, Y.; WANG, S.; HE, Y.; RAN, J. Global semi-arid climate change over last 60 years. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 3-4, p. 1131-1150, 2016.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: **MA-DPP: SUDENE-DRN**, v. 2, 1973.

KHONDE, P.; CONGO, R. D.; TSHIABUKOLE, K.; CONGO, R. D.; KANKOLONGO, M.; CONGO, R. D.; NKONGOLO, K. Evaluation of yield and competition indices for intercropped eight maize varieties, soybean and cowpea in the zone of savanna of South-West RD Congo. **Open Access Library Journal**, v. 5, n. 01, p. 1, 2018.

KIM, D.; LEE, M. I.; SEO, E. Improvement of soil respiration parameterization in a dynamic global vegetation model and its impact on the simulation of terrestrial carbon fluxes. **Journal of Climate**, v. 32, n. 1, p. 127-143, 2019.

KIRSCHBAUM, M. U. F.; EAMUS, D.; GIFFORD, R. M.; ROXBURGH, S. H.; SANDS, P. J. Definitions of some ecological terms commonly used in carbon accounting. Cooperative **Research Centre for Carbon Accounting**, Canberra, p. 2-5. 2001.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; DA SILVA, P. P. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, 56-73. 2015.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. 2006.

LAL, R. Carbon cycling in global drylands. **Current climate change reports**, v. 5, n. 3, p. 221-232. 2019.

LALONDE, R. G.; PRESCOTT, C. E. Partitioning heterotrophic and rhizospheric soil respiration in a mature Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, n. 8, p. 1287-1297. 2007.

LEMOS, M.; FERREIRA-NETO, M.; FERNANDES, C. S.; LIMA, Y. B.; DIAS, N. D. S.; MEDEIROS, J. F.; SÁ, F. V. s. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 185, p. 104372, 2021.

LIMA, J. R. D. S.; SOUZA, R. M. S.; SANTOS, E. S. D.; SOUZA, E. S. D.; OLIVEIRA, J. E. D. S.; MEDEIROS, É. V. D.; HAMMECKER, C. Impacts of land-use changes on soil respiration in the semi-arid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44. p. 19, 2020.

LIRA, M. A.; MELLO, A. C.; CUNHA, M. V.; MÉRCIA, V.; SANTOS, F.; DUBEUX JR, J.C.; APOLINÁRIO V. X. O. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. **Arquivos Latino-Americanos de Produção Animal**, v. 25, não. 1-2, 2017.

LIU, X.; YANG, T.; WANG, Q.; HUANG, F.; LI, L. Dynamics of soil carbon and nitrogen stocks after afforestation in arid and semi-arid regions: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1658-1664, 2018.

MACADAM, J. W.; NELSON, C. J. Plant-Water Relations in Forage Crops. **Forages: The Science of Grassland Agriculture**, v. 2, p. 113-126. 2020.

MANTOVANELLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, P. C. D. S.; SILVA, D. A. P.; CUNHA, J. M. D.; SOARES, M. D. R. Distribuição espacial da emissão de CO_2 e atributos do solo sob campo nativo na região de Humaitá, Amazonas. **Sociedade & Natureza,** v. 28, p. 273-284, 2016.

MEDEIROS, A. D. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C. D.; GOMES, T. C. D. A. Losses and gains of soil organic carbon in grasslands in the Brazilian semi-arid region. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 3, 2020.

MEENA, R. S.; LAL, R. Legumes and sustainable use of soils. In Legumes for Soil Health and Sustainable Management. **Springer**, Singapore, p. 1-31. 2018.

MUSOKWA, M.; MAFONGOYA, P. Pigeonpea Yield and Water Use Efficiency: A Savior under Climate Change-Induced Water Stress. **Agronomy,** v. 11, n. 1, p. 5, 2021.

OSBORNE, J. Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation. **Practical Assessment, Research, and Evaluation**, v. 15, n. 1, p. 12, 2010.

PEREIRA FILHO, A.; TEIXEIRA FILHO, J. E.; SALVIANO, A. M.; YURI, J. E.; GIONGO, V. Nutrient cycling in multifunctional agroecosystems with the use of plant cocktail as cover crop and green manure in the semi-arid. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 5, p. 241-251, 2019.

PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPINDOLA, J. A. A. Desempenho agronômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E). n. 82, p. 4, 2005.

PEREIRA, J.; CAMPOS, F. S.; CAVALCANTE, A. B.; CORREIA, A. A. V.; GOIS, G. C.; SILVA, T. G. F.; VOLTOLINI, T. V. Número e participação de cladódios por ordem na palma forrageira cultivada em diferentes densidades. **In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE).** In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL DA UFRPE-UAST, 2.; 2018, Serra Talhada. Mudanças climáticas e avanços tecnológicos na produção animal. Serra Talhada: UFRPE Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2018.

PEREIRA, V. G. Efluxo de CO_2 em diferentes sistemas de cultivo. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2018.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/. 2020.

RAMESH, T.; BOLAN, N. S.; KIRKHAM, M. B.; WIJESEKARA, H.; KANCHIKERIMATH, M.; RAO, C. S.; FREEMAN II, O. W. Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. **Advances in agronomy**, v. 156, p. 1-107, 2019.

RESENDE, R. S.; BATISTA, W. R. M.; AMORIM, J. Calibração do sensor de capacitância Diviner 2000 utilizando tubos de acesso padrão e alternativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI,** v. 11, n. 5, 1662-1669. 2017.

ROBY, M. C.; SCOTT, R. L.; BARRON-GAFFORD, G. A.; HAMERLYNCK, E. P.; MOORE, D. J. Environmental and vegetative controls on soil CO_2 efflux in three semiarid ecosystems. **Soil Systems**, v. 3, n. 1, p. 6. 2019.

ROCHA FILHO, R. R.; SANTOS, D. C.; VÉRAS, A. S. C.; SIQUEIRA, M. C. B.; NOVAES, L. P.; MORA-LUNA, R.; FERREIRA, M. A. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas?. **Journal of Arid Environments**, v. 186, p. 104426, 2021.

SANTANA, M. S.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; GIONGO, V.; MENEZES, R. S. C.; DE JESUS, K. N.; DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; PRIMO, D. C. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 16, e00205. 2019.

SANTOS, E. E. F.; SILVA, T. N.; SILVA, C. L.; SANTOS, M. H. L. C.; MOURA, W. N. D.; SOUZA RIBEIRO, D. Atributos químicos de solo cultivado com palma forrageira sob irrigação com água salobra. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e698997531-e698997531, 2020.

SANTOS, K. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. K. A.; ARAÚJO, G. G. L.; FAGUNDES, G. M.; YBARRA, N. G.; ABDALLA, A. L. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. **Livestock Science**, v. 195, p. 118-124, 2017.

SANTOS, N. L. Avaliação do capim-tanzânia manejado com Diferentes IAF residuais sob lotação Rotacionada por cabras bôer x saanen. 2009.

SHEN, G.; YU, M.; HU, X. S.; MI, X.; REN, H.; SUN, I. F.; MA, K. Species–area relationships explained by the joint effects of dispersal limitation and habitat heterogeneity. **Ecology**, v. 90, n. 11, p. 3033-3041. 2009.

SHI, W. Y.; ZHU, X. C.; ZHANG, F. B.; WANG, K. B.; DENG, L.; MA, M. G. Soil carbon biogeochemistry in arid and semiarid forests. In Applied Geochemistry with Case Studies on Geological Formations, Exploration Techniques and Environmental Issues. **IntechOpen**. 2019.

SILVA MACÊDO, A. J.; NETO, J. M. C.; DE OLIVEIRA, L. B.; EDVAN, R. L.; SANTOS, E. M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão de Literatura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62967-62987. 2020.

SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SANTOS, L. A. C.; SOARES, M. D. R.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da emissão de CO_2, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.18, n.1, 119-126. 2019.

SILVA, J. R. I.; JARDIM, A. M. D. R. F.; DE SOUZA, E. S.; JUNIOR, G. B.; LEITE, M. L. D. M. V.; SOUZA, R.; ANTONINO, A. C. D. Inter-relação de técnica de manejo de água e solo aplicadas a cultura do milheto: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e569974503-e569974503. 2020.

SILVA, L. M. D.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. D. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 2064-2071, 2014.

SILVA, R. M. D.; LIMA, E. J. D.; SANTOS, D. C. D.; BADJI, C. A.; OLIVEIRA, J. T. C.; MOREIRA, K. A. Avaliação de indutores de resistência no controle de *Dactylopius opuntiae* em genótipos de *Opuntia spp*. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 18, p. 533-542, 2021.

SOUZA, F. H. D.; FRIGERI, T.; MOREIRA, A.; GODOY, R. Produção de sementes de guandu. Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E). n. 69, p. 68. 2007.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no Semiárido Pernambucano. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado** (ALICE). v. 8, n. 1, 041-055. 2015.

SOUZA, M. D. S.; DA SILVA, T. G. F.; DE SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. D. R.; ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N.; ALVES, H. M. N. Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. **Amazonian Journal of Plant Research,** v. 3, n. 4, p. 417-430, 2019.

SPARACINO, J.; ARGIBAY, D. S.; ESPINDOLA, G. Caracterização de Longo Prazo (35 Anos) das Estações Secas e Chuvosas no Semiárido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 377-391, 2021.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. Manual de métodos de análise do solo. 3. ed. Brasília: **Embrapa,** p. 573. 2017.

TERRA, A. B. C.; FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V.; SILVA, N. C. D. E. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias (Portugal)**, v. 42, n. 2, pág. 305-313, 2019.

UHLAND, R. E. Rapid method for determining soil moisture. S**oil Science Society of America Journal**, v. 15, p. 391-393, 1951.

ULLAH, A.; AHMAD, A.; KHALIQ, T.; AKHTAR, J. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 762-773, 2017.

YIQI, L; ZHOU, X. Soil respiration and the environment. 1° Edição. San Diego. **Elsevier**, 2010.

ZETHOF, J. H.; CAMMERAAT, E. L.; NADAL-ROMERO, E. The enhancing effect of afforestation over secondary succession on soil quality under semiarid climate conditions. **Science of the Total Environment**, v. 652, p. 1090-1101, 2019.

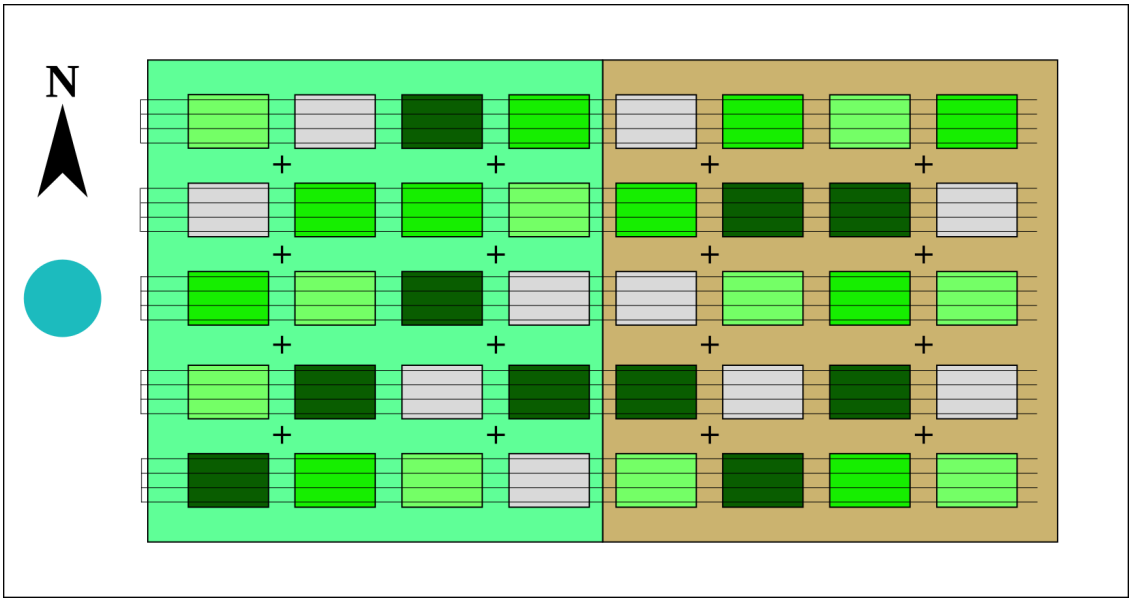
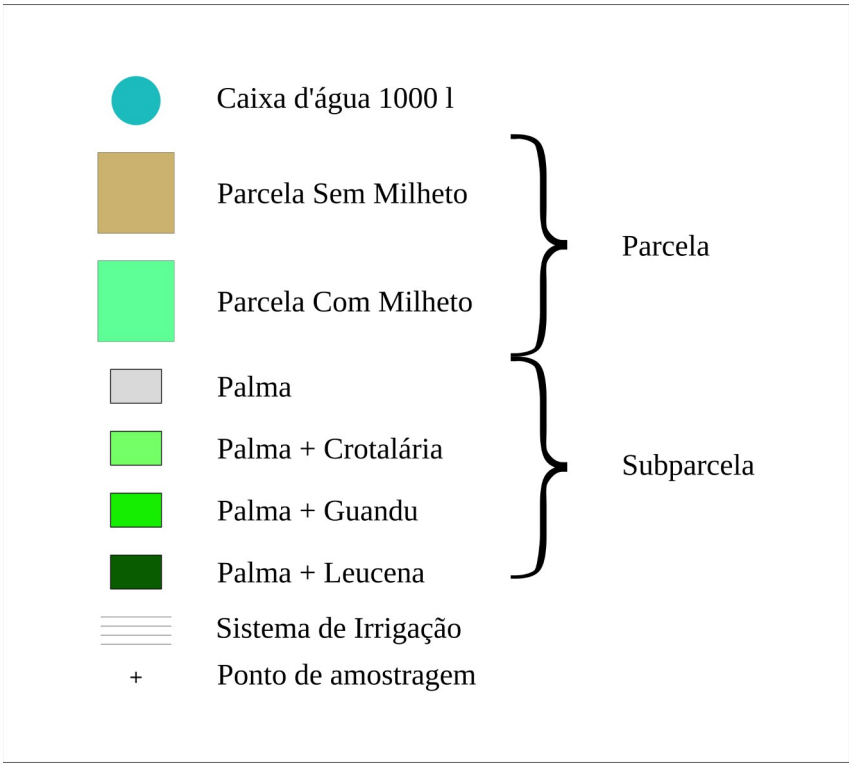
ZETHOF, JH, CAMMERAAT, EL, E NADAL-ROMERO, E. O efeito potencializador da arborização sobre a sucessão secundária na qualidade do solo em condições de clima semiárido. **Ciência do Ambiente Total**, v. 652, p. 1090-1101, 2019.

ZHANG, G.; YANG, Z.; DONG, S. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. **Field Crops Research**, v. 124, n. 1, p. 66-73, 2011.

ZHANG, Y.; ZHAO, W.; FU, L.; ZHAO, C.; JIA, A. Land use conversion influences soil respiration across a desert-oasis ecoregion in Northwest China, with consideration of cold season CO_2 efflux and its significance. Catena, v. 188, p. 1-10, 2020.

9. Anexos

01. Croqui experimental



02. Legenda do Croqui;