

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Componentes do balanço hídrico e a dinâmica hídrica em sistemas  
agropecuários na Amazônia Ocidental avaliados em cenários atuais e de  
mudança climática**

**Erbesson de Souza Brito**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de  
Plantas.

**Piracicaba  
2022**

**Erbesson de Souza Brito**  
**Bacharel em Engenharia Agrônômica**

**Componentes do balanço hídrico e a dinâmica hídrica em sistemas agropecuários  
na Amazônia Ocidental avaliados em cenários atuais e de mudança climática**  
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **QUIRIJN DE JONG VAN LIER**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba**  
**2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Brito, Erbesson de Souza

Componentes do balanço hídrico e a dinâmica hídrica em sistemas agropecuários na Amazônia Ocidental avaliados em cenários atuais e de mudança climática / Erbesson de Souza Brito. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

114 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Acre 2. Modelagem inversa 3. Modelo hidrológico 4. Mudanças climáticas. I.  
Título

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àquelas que são o tripé da miha vida, a minha mãe, Maria Angelina, a minha irmã Meiriane Brito e minha querida noiva, Rafaela da Costa Farias, a quem devo eterno agradecimento pelo apoio em todos os momentos.

Em memoria a meu pai, Aldemir de Souza Brito.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu refúgio e minha fortaleza, a quem confio a minha vida e pela interseção da mãe Maria.

Ao professor Dr. Quirijn de Jong van Lier, pelo apoio concedido para realização deste trabalho, pela orientação, pela amizade e por acreditar na realização deste trabalho. Meu respeito, admiração e gratidão pelo profissionalismo e contribuição de forma excepcional na minha formação como profissional e como pessoa.

Ao professor Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, pelo suporte no momento que mais precisei, quando estive com problemas de saúde física e mental. Meu respeito, admiração e gratidão serão eternos.

À Universidade de São Paulo, à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pela infraestrutura exemplar que proporcionou meu crescimento profissional e pessoal. Aos colegas e funcionários do Laboratório de Física do Solo pelo auxílio e suporte na realização deste trabalho. Em especial agradeço ao meu amigo Arthur, pelo seu apoio no momento que mais precisei por motivos de saúde. Serei eternamente grato.

Ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Esalq/USP, pelo suporte técnico, apoio acadêmico e financeiro para realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro, por meio da concessão de bolsa de doutorado (Processo N° 2018/ 33002037006P9).

À Embrapa Acre, pelo apoio financeiro para realização do trabalho de campo para as coletas de solo, através do ACORDO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA, vinculado ao Termo de Cooperação Geral SAIC 10200.15/0159-4, com a colaboração do pesquisador Falberni de Souza Costa.

À minha noiva, pelo companheirismo, carinho, amor e por todo apoio que me deste nesta fase da minha vida. Foi uma das minhas inspirações para continuar lutando e me dedicando á este trabalho e a minha vida.

## EPÍGRAFE

“Professores brilhantes ensinam para uma profissão. Professores fascinantes ensinam para a vida”

**(Augusto Cury)**

“Maior que a tristeza de não haver vencido é a vergonha de não ter lutado”

**(Rui Barbosa)**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Os solos do Acre.....	13
2.2. Supressão da floresta nativa e sistemas de cultivos agropecuários no Acre.....	14
2.3. Efeitos da supressão da floresta nas propriedades de solos do Acre.....	16
2.4. Mudanças climáticas .....	17
2.5. Modelagem agrohidrológica .....	19
2.6. Calibração de modelos .....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3.1. Localização das regiões de estudo.....	23
3.1.1. Mâncio Lima .....	24
3.1.2. Rio Branco .....	28
3.1.3. Senador Guimard .....	31
3.2. Coleta de solo, propriedades físicas e medições dos potenciais matriciais de água no solo .....	34
3.3. Parâmetros hidráulicos do solo.....	36
3.4. Dados meteorológicos e de cultura.....	39
3.5. Simulação dos componentes do balanço hídrico .....	42
3.6. Geração de cenários climáticos futuros .....	43
3.7. Análise estatística .....	44
4. RESULTADOS.....	45
4.1. Parâmetros hidráulicos .....	45
4.2. Validação .....	47
4.3. Propriedades físicas .....	49
4.4. Retenção de água no solo e condutividade hidráulica .....	53
4.5. Componentes do balanço hídrico e análise de sensibilidade.....	58
4.6. Cenários climáticos futuros e componentes do balanço hídrico.....	65
5. DISCUSSÃO .....	77
6. CONCLUSÕES .....	89
REFERÊNCIAS.....	91

APÊNDICES ..... 109



## RESUMO

### Componentes do balanço hídrico e a dinâmica hídrica em sistemas agropecuários na Amazônia Ocidental avaliados em cenários atuais e de mudança climática

O desenvolvimento de sistemas agropecuários sustentáveis é um desafio global. A sustentabilidade inclui a questão hídrica, determinada em parte pelas propriedades hidráulicas do solo e como se alteram pelos sistemas de uso e manejo. A parametrização hidráulica de solos amazônicos é um dos maiores desafios para a área da física do solo nessa região e a modelagem inversa pode ser uma importante ferramenta, bem como a determinação do balanço hídrico em função das características climáticas pode ser feito através de modelos hidrológicos. Objetivou-se, neste estudo, a parametrização hidráulica de solos por modelagem inversa, com o modelo *Soil Water Atmosphere and Plant* - SWAP acoplado ao programa *Parameter Estimation* - PEST, e a partir dessa parametrização determinar os componentes do balanço hídrico e o efeito de cenários climáticos para o período de 2040-2069 na dinâmica hídrica na Amazônia Ocidental. Para isso, foram coletadas amostras de solos com estrutura preservada e deformada nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm em Mâncio Lima (ML) em área de Floresta nativa (FN), pastagem (PA) e cultivo de milho em sistema convencional e plantio direto sob um Argissolo Amarelo, em Rio Branco (RBR) em área de FN e PA sob um Argissolo Vermelho-Amarelo e em Senador Guimard (SG) em áreas de FN, PA e cultivo de milho em sistema plantio convencional sob um Latossolo Vermelho. Além disso, em cada local foram instalados sensores em uma das áreas para monitoramento dos potenciais matriciais ao longo do tempo nas respectivas profundidades de amostragem. Foram determinadas em laboratório a densidade (Ds) e a porosidade do solo (PT), e por modelagem inversa com os dados dos sensores no campo foram determinados os parâmetros da curva de retenção de água e a condutividade hidráulica. A partir da parametrização hidráulica foram simulados os componentes do balanço hídrico: interceptação, transpiração, evaporação, *runoff* e drenagem profunda. Por fim, foram gerados cenários climáticos através do protocolo descrito pelo projeto *Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project* (AgMIP) em áreas de FN e PA, gerando dois cenários em ML, RBR e SG: Cenário 1, mais quente com um leve incremento na precipitação e Cenário 2, mais quente e com menos chuva. A parametrização hidráulica do solo por modelagem inversa foi realizada satisfatoriamente; a supressão da FN para introdução de sistema agropecuários: aumentou a densidade; reduziu condutividade hidráulica; a porosidade e retenção de água no solo; no entanto não modificou a capacidade de retenção de água em subsuperfície (0 a 40 cm) e não houve efeito dos sistemas de manejo nas profundidades subsequentes; modificou os componentes do balanço hídrico, sobretudo, aumentando as taxas de *runoff* e evaporação e redução da evapotranspiração (EVAP). O cenário climático 1 aumentou as taxas de EVAP e o Cenário 2 reduziu a taxa de EVAP. Assim, esse estudo indica que a supressão da floresta nativa para a introdução de sistemas agrícolas no Acre resulta na degradação da qualidade física do solo e modifica a taxa de EVAP, indicando que é fundamental a adoção de sistemas de manejo conservacionista em áreas já desmatadas e o controle da taxa de desmatamento para manutenção da sustentabilidade socioambiental e econômica nessa região.

Palavras-chave: Acre, Modelagem inversa, Modelo hidrológico, Mudança climática

## ABSTRACT

### **Soil water balance components and water dynamics in agricultural systems in the western Amazon in actual and modified climate scenarios**

The development of sustainable agricultural systems is a global challenge. Sustainability includes water availability and dynamics, determined in part by the soil hydraulic properties and how they are modified by soil use and management systems. The hydraulic parameterization of Amazon soils is one of the biggest challenges for soil physical research in the region. In this context, inverse modeling may be used as a tool and may allow the use of hydrological models to infer the water balance as a function of climatic features. The objective of this research was to perform a soil hydraulic parameterization by inverse modelling with the Soil Water Atmosphere and Plant – SWAP model and the software Parameter Estimation – PEST, and, based on this parameterization, to determine the soil water balance components and the effects of climate change as predicted for the 2040-2069 period on the soil water dynamics in the western Amazon. Soil samples were collected with undisturbed and disturbed structure in the 0 to 20, 20 to 40, 40 to 60 e 60 to 80 cm layer in Mâncio Lima (ML) in a native forest area (NF), pasture (PA) and a maize field grown under conventional tillage and no-tillage systems in Argissolo Amarelo, in Rio Branco (RBR) and (PA) in an Argissolo Vermelho-Amarelo and in Senador Guiomard (SG) in a NF and PA fields and in a maize field grown under conventional tillage system in a Latossolo Vermelho. At each location, sensors were installed in one of the areas to monitor the soil water matric potential at the respective depths. In the laboratory, soil bulk density (BD) and total porosity (TP) were determined, and through inverse modelling with the field sensor data we determined the water retention and hydraulic conductivity parameters. This allowed simulating the water balance components: interception, transpiration, evaporation, runoff, and deep drainage. Finally, we generated future climate scenarios through protocols described by the Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) in areas of NF and PA in ML, RBR, and SG. Scenario 1 predicts a mild temperature increase and a small increase in precipitation, while scenario 2 predicts higher temperatures than scenario 1 with less rain. The soil hydraulic parameterization by inverse modelling was performed satisfactorily. The suppression of the NF by the introduction of agricultural systems increased the BD, reduced the hydraulic conductivity, total porosity, and soil water retention, but did not change the soil water retention capacity in the 0-40 cm layer. No effect of the soil management systems was detected in the deeper layers. Water balance components changed mainly by an increase of the runoff rates, evaporation and evapotranspiration reduction (EVAP). Scenario 1 increased the EVAP rates and Scenario 2 reduced the EVAP rate. The NF suppression by the introduction of agricultural systems in Acre was found to lead to a soil physical degradation. Furthermore, predicted climate change will modify the EVAP rates, indicating that the adoption of soil conservation management systems in already deforested areas as well as the control of the deforestation rate are fundamental for the maintenance of the social, environmental, and economic conditions of this region.

Keywords: Acre, Inverse modelling, Hydrological model, Climate change



## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a expansão agropecuária na Amazônia legal foi marcada pela supressão da vegetação nativa para introdução predominante de pastagens. Na atualidade, mesmo que em menor escala, essa é prática recorrente para introdução de pastagens e, principalmente, de cultivos de soja e milho. No Estado do Acre, porção ocidental da Amazônia legal, o desenvolvimento agropecuário também foi caracterizado por essa prática, também para introdução de pastagem. Não obstante, na atual década, esse cenário vem se intensificando com a expansão de cultivos de soja, milho e café, principalmente.

Estudos também indicam que a supressão da floresta na Amazônia pode implicar em alterações climáticas em escala regional ou global. Além da variabilidade climática natural e a ocasionada por atividades humanas, dentre as quais as atividades agropecuárias, podem fragmentar a Floresta Amazônica e transformar grandes áreas em savana, condicionando no Acre um clima subúmido ou subúmido seco devido ao aumento do grau de aridez da região. Portanto, essas mudanças podem comprometer a retenção de água no solo dessa região.

Pesquisas científicas indicam que a substituição da floresta nativa para introdução de pastagens e cultivos agrícolas podem degradar ou melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, sendo que na maioria das vezes a degradação da qualidade do solo é a regra, a depender do sistema de uso e manejo, clima e da classe de solo, principalmente em condições tropicais amazônicas.

No entanto, são incipientes os estudos na Amazônia Ocidental que avaliem os impactos decorrente da supressão da vegetação nativa para a expansão de sistemas agropecuários nas propriedades físicas, na capacidade de retenção da água, na condutividade da água e por consequência na dinâmica dos componentes do balanço hídrico: a precipitação efetiva, a interceptação de água pela planta, a transpiração da planta, a evaporação do solo, o *runoff* e a drenagem profunda em solos do Acre. Essa falta de informações se relaciona em parte ao difícil acesso a muitas áreas dessa região e aos custos elevados para determinação das propriedades hidráulicas do solo em condições de campo. Como resultado, tem-se uma falta de informações sobre as propriedades dos solos dessa região e escassez de trabalhos que avaliem os impactos dos cenários futuros das mudanças climáticas nas componentes do balanço hídrico climático da Amazônia Ocidental.

Quantificar os impactos de sistemas de uso e manejo do solo em suas propriedades hidráulicas e, por conseguinte, nas alterações dos componentes do balanço hídrico em função das características climáticas pode ser feito através de modelos hidrológicos. Entretanto, a parametrização hidráulica de qualquer modelo agrohidrológico passa pela questão da variabilidade

espacial natural do solo. Lidar com essa variabilidade das propriedades hidráulicas do solo consiste em um dos maiores desafios na estratégia de sua determinação.

Nesse sentido, estudos têm demonstrado que técnicas de modelagem inversa podem ser úteis na determinação de parâmetros hidráulicos de difícil determinação. Essa técnica consiste na utilização de dados medidos que são utilizados como função objetiva na calibração. Por exemplo, o conhecimento do conteúdo de água no solo ao longo do tempo pode ser utilizado para calibrar os parâmetros hidráulicos do solo em estudo. Uma maneira prática de aplicar a modelagem inversa é através da utilização de códigos automáticos de calibração, como o programa *Parameter Estimation* - PEST.

Quanto à estimativa dos componentes do balanço hídrico, por ser um modelo robusto, o *Soil Water Atmosphere and Plant* - SWAP é amplamente utilizado em estudos de balanço hídrico de culturas. Esse modelo possibilita a simulação dos fluxos de água na zona insaturada e saturada do solo em interação com o desenvolvimento da planta.

Diante do exposto, a hipótese apresentada nesse trabalho é que alterações nos componentes do balanço hídrico, como o escoamento superficial e a drenagem profunda ocorrem em consequência da supressão da floresta nativa para sistemas agropecuários, bem como pela modificação do cenário climático previstos.

Por conseguinte, o objetivo proposto nesse trabalho foi determinar as propriedades e parâmetros hidráulicos de alguns solos do Acre por modelagem inversa com um modelo hidrológico, e verificar, com o mesmo modelo, a sustentabilidade hidrológica do manejo do solo após a supressão da floresta nativa para uso agropecuário, bem como o impacto de possíveis cenários futuros de clima no balanço hídrico no estado do Acre.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

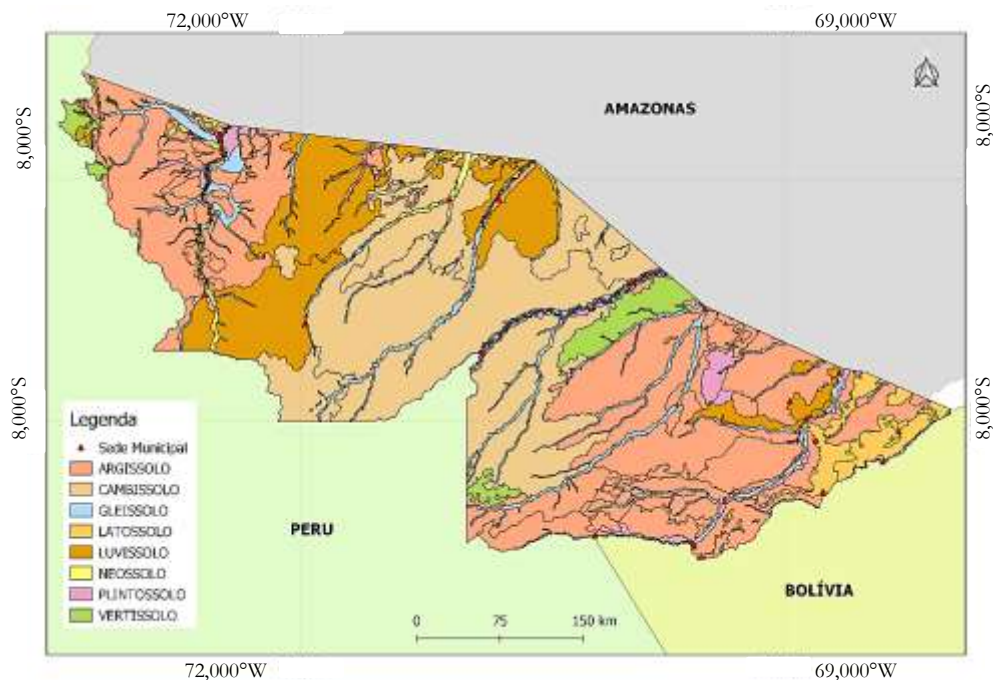
### 2.1. Os solos do Acre

O Acre está localizado no extremo sudoeste da Amazônia brasileira. A superfície territorial do Acre é de 16.422.136 hectares, que corresponde por 4% da Amazônia brasileira. Subdivide-se o Acre em cinco regiões de desenvolvimento, a saber, Alto Acre, Baixo Acre, Purus Tarauacá/Envira e Juruá (ACRE, 2010).

Os solos dessa região apresentam características singulares em relação aos solos de outros estados e regiões da Amazônia legal, além de apresentar grande diversidade de solos. As diferenças nos atributos dos solos que ocorrem no Acre, em relação a outros estados na Amazônia, devem-se predominantemente às variações do material de origem, por exemplo, a presença de materiais pelíticos muito ricos em silte, o que explica a abundância relativa dessa fração nos solos do Acre (AMARAL et al., 2013). Além disso, os processos de intemperismo atuantes sobre esses argilitos, siltitos e arenitos depositados nos últimos dois milhões de anos explicam a natureza e a intensidade dos processos pedogenéticos verificados nos solos dessa região (AMARAL, 2007).

As classes de solo mais representativas no estado são os Argissolos, que compreendem 38,32% da área do estado; os Cambissolos, cobrindo uma área de 31,56%; os Luvisolos, que ocupam 14,60%; os Gleissolos, que abrangem uma área de 5,98%. Os Latossolos, que dominam grandes áreas na Amazônia, no Acre representam cerca de 3% da área, similar à ocupada pelos Vertissolos, enquanto os Plintossolos ocupam cerca de 2%. Dentre os Neossolos, predominam os Flúvicos, que ocupam cerca de 1% da área do estado. Em menor extensão ocorrem Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (AMARAL et al., 2006; ACRE, 2010) (**Figura 1**).

Quanto à distribuição das classes de solo, os Argissolos estão distribuídos desde o Município de Assis Brasil até Acrelândia, alguns desses solos apresentando características intermediárias para Latossolos. Ocorrem também os Latossolos na porção mais oriental da região, principalmente nos municípios Senador Guiomard e Plácido de Castro. Além disso, nessa região, nas proximidades de Rio Branco, ocorrem Plintossolos e outros solos com caráter plítico e siltosos. Na região central do estado, nos municípios de Sena Madureira a Tarauacá, predominam solos pouco profundos e presença de argila de atividade alta, a qual imprime a esses solos sérias restrições de drenagem. Nessa área predominam os Cambissolos, Luvisolos e Vertissolos (AMARAL et al., 2013).



**Figura 1.** Distribuição das classes de solos no estado do Acre. Fonte: Acre (2006).

Nos municípios de Porto Walter, Rodrigues Alves, Mâncio Lima e Cruzeiro do Sul, os solos são constituídos a partir de sedimentos de textura mais arenosa e média, principalmente a Oeste do Rio Juruá e no entorno de Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima e Rodrigues Alves. Favorecendo a presença de Argissolos e pequenas áreas com Latossolos e Luvisolos, muitas vezes associados a Neossolos Quartzarênicos ou Espodossolos (AMARAL et al., 2013).

Estudos sobre as propriedades hidráulicas (a retenção da água e a condutividade hidráulica) são incipientes no Estado do Acre, o que está relacionado em parte ao difícil acesso a muitas áreas dessa região e aos custos elevados para determinação das propriedades hidráulicas do solo em condições de campo. Isso, resulta na falta de informações sobre as propriedades físicas e hidráulicas dos solos dessa região.

## 2.2. Supressão da floresta nativa e sistemas de cultivos agropecuários no Acre

A taxa de desmatamento no Acre foi de 87,1 mil hectares em 2021. Esse valor representa um aumento de 23% em relação à taxa de desmatamento apurada em 2020, que foi de 70,6 mil hectares. Quando comparada a área desmatada de 2021 com o ano de 2012, houve um aumento de 186%, equivalente a 56,6 mil hectares, na taxa de desmatamento, onde a taxa de supressão da floresta neste ano foi de 30,5 mil hectares (INPE, 2021). A evolução da taxa de desmatamento está diretamente relacionada com o avanço da expansão agropecuária nessa região, o que é impulsionado por uma política de agroindustrialização do estado.

Nesse sentido, quanto ao uso das terras do Acre para fins agropecuários, de acordo com censo agropecuário de 2017 do IBGE, a área ocupada com pastagens naturais e plantas; cultivos agrícolas perenes e anuais e matas naturais e plantadas era de 4.232.700 hectares. Desse total, 35% eram utilizadas com pastagens plantadas em más condições por manejo inadequado ou por falta de conservação, 2% em boas condições, incluindo aquelas em processo de recuperação e apenas 2% com lavouras perenes e temporárias. A área ocupada com pastagem plantada em 2006 era de 891.733 hectares, o que representa incremento de 65% na área de pastos implantados em comparação a 2017, que era de 1.474.337 hectares.

Há uma lacuna de quatro anos de informações oficiais sobre o uso das terras do Acre para a produção agropecuária. Entretanto, é possível projetar aumento significativo na introdução de áreas com uso agrícola no Acre, o que se deve à expansão dos cultivos de milho e soja na região, os quais são impulsionados por uma política de agroindustrialização do Acre. Esse processo intensifica ainda mais a pressão sobre a supressão de floresta nativa nessa região. O desenvolvimento do agronegócio no Acre se faz necessário, contudo, a sustentabilidade ambiental é fator primordial para o desenvolvimento socioeconômico do estado.

Nesse sentido, o trabalho desenvolvido por Costa et al. (2014), na região do Juruá, no município de Cruzeiro do Sul, indica que o plantio direto associado com uso de insumos pode ser uma das alternativas para a adoção da agricultura conservacionista para pequenos produtores rurais. Além disso, aponta que essa prática pode reduzir o atual manejo convencional do solo, rompendo o ciclo de derruba e queima e respeitando a capacidade de uso do solo.

Portanto, o desenvolvimento de uma agricultura conservacionista através do cultivo mínimo, ou seja, reduzindo as operações de preparo do solo e mantendo o máximo que possível a cobertura sobre o solo, é um dos caminhos para agricultura conservacionista no Acre, não somente para pequenos agricultores, mas para grandes produtores agropecuários. Considera-se consolidado, em muitas regiões brasileiras, que sistemas conservacionistas do solo, como plantio direto, colaboram para a melhoria da qualidade física do solo, melhorando a estrutura, indicada pela redução da densidade e aumentando a estabilidade de agregados na superfície do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995; SILVA e MIELNICZUK, 1997a; COSTA et al., 2004) ou as vezes a degradação da qualidade física do solo (TORMENA et al., 2004; VIEIRA; KLEIN, 2007; KLEIN et al., 2008; PRAGANA et al., 2012).

A integração lavoura-pecuária tem demonstrado ser uma alternativa de uso conservacionista do solo, pois proporciona maior produtividade e diversificação da produção (ALVARENGA et al., 2007). Contudo, pode ocasionar a degradação da qualidade física do solo em condições de manejo inadequado, registrada pelo aumento da compactação do solo



(ALBUQUERQUE et al., 2001; MOREIRA et al., 2014; BORTOLINI et al., 2016). Pesquisas indicam que as alterações nos atributos físicos do solo expressos pela compactação resultantes do pisoteio animal, em poucos casos, refletiram-se negativamente no desempenho produtivo das culturas (FLORES et al., 2007; LOPES et al., 2009).

Assim, a sustentabilidade ambiental passa pela manutenção da qualidade das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. As condições hidrológicas representam um fator primordial na sustentabilidade, e essas se relacionam diretamente com as propriedades físicas dos solos.

### **2.3. Efeitos da supressão da floresta nas propriedades de solos do Acre**

Um dos principais problemas das atividades pecuárias no Estado do Acre é a degradação de Pastagens, que a partir da década de 1990 vem aumentando em consequência do manejo inadequado, altas taxas de lotação animal e ausência do período de diferimento das Pastagens (ANDRADE; VALENTIN, 2007). Esse processo pode levar a modificações das características físicas e químicas do solo (PEREIRA et al., 2000; MAKEWITZ et al., 2004).

A avaliação das propriedades químicas dos solos em sistemas de pastagem após a supressão da floresta nativa foi feita em solos do Acre. Esses estudos indicaram que em algumas condições houve redução dos teores de matéria orgânica no solo nos primeiros anos da implantação das pastagens, mas elevação nos anos seguintes até atingir teores próximos ou superiores aos valores originais (MELO, 2003; SALIMON et al., 2007; ARAÚJO et al., 2011; LOSS et al., 2014). Entretanto, em outras situações indicam que há redução dos teores de matéria orgânica do solo com o tempo de conversão floresta-pastagem (DESJARDINS et al., 1994; MOREIRA; MALAVOLTA, 2004).

Além disso, trabalhos têm relatado que a supressão da floresta nativa para cultivo agrícola e pecuário reduz os teores de cátions trocáveis e aumenta a acidez de solos no Acre (ARAÚJO et al., 2004; LOSS et al., 2014). São incipientes os estudos que avaliem as condições físicas e hidráulicas e os efeitos dessas mudanças nos componentes do balanço hídrico em sistemas agropecuários nessa região. Apenas os trabalhos desenvolvidos por Kotlar et al. (2020) e Brito (2016), avaliaram as condições hidráulicas de solos do Acre em sistemas agropecuários. Esses estudos indicaram que houve degradação das propriedades físicas do solo, como redução da capacidade de armazenamento de água e incremento na compactação e redução do volume poroso do solo, quando comparado ao solo sob floresta nativa.

Assim, fica evidente a necessidade de pesquisas voltadas para avaliar os graus de impactos na dinâmica das propriedades físicas do solo em sistemas agropecuários após a supressão da vegetação nativa e, assim, contribuir com a adoção de práticas conservacionistas que mantenham a capacidade produtiva dos solos e sustentabilidade ambiental na Amazônia ocidental, especialmente no Acre.

#### **2.4. Mudanças climáticas**

A crescente demanda global por alimentos representa grandes desafios para a sustentabilidade tanto da produção de alimentos quanto dos ecossistemas terrestres (TILMAN et al., 2002). Em todo o mundo, a intensificação da produção agrícola tem sido impulsionada por grande uso de recursos não renováveis, muitas vezes prejudiciais à sustentabilidade ambiental (LEMAIRE et al., 2013).

As florestas tropicais estão reconhecidamente entre os ecossistemas terrestres mais ameaçados globalmente em virtude da expansão agrícola e conversão de áreas para distintos usos da terra (MILES et al., 2006). A forma e o grau da adoção de práticas agrícolas nestas áreas oriundas da substituição da floresta determinam o nível de produção de alimentos e, em grande medida, o estado do ambiente. Assim, práticas inadequadas de uso da terra podem comprometer diretamente a produção de alimentos e interferir na conservação dos ecossistemas e a preservação da biodiversidade (LAL, 2007), além de afetar as múltiplas funções do solo (AZEVEDO et al., 2007).

Pesquisas recentes do programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia demonstram ligações entre o clima e o uso da terra na Amazônia e o funcionamento do bioma (DAVIDSON et al., 2012). A vegetação tem uma estreita relação com a atmosfera, controlando o balanço hidrológico que afeta abastecimento de reservatórios de água e aquíferos e o clima continental (ARTAXO et al., 2014). Assim, os impactos em sistemas naturais são temas estratégicos para o país, fazendo da região amazônica uma questão central em pesquisas que avaliem os processos no sistema solo-planta-atmosfera.

Dadas as fortes interações entre clima e vegetação, os efeitos das mudanças climáticas nos ecossistemas naturais e agrícolas são objetos comuns de pesquisa em todo o mundo. Apesar de a Amazônia legal deter grande retenção de água, não pode ser considerada um sistema ileso das mudanças climáticas, principalmente, em decorrência do avanço da supressão de suas florestas naturais, o que pode comprometer sua capacidade de sustentabilidade hídrica em um futuro não longínquo.

O clima é considerado o principal fator determinante da distribuição da vegetação (SALAZAR et al., 2007) e o clima e vegetação interagem em escalas temporais e espaciais. Além disso, a vegetação condiciona as condições de clima de uma dada região, principalmente na escala regional, e a supressão de vegetação nativa para outro sistema afetará a evapotranspiração e outros fatores climáticos simultaneamente. Esse processo pode resultar na modificação da dinâmica do ciclo de precipitação e, assim, desempenhar um papel importante no balanço hídrico de uma superfície terrestre (STERLING et al., 2013).

Quando os cenários de mudanças climáticas incluem redução de chuvas e aumento da temperatura do ar, espera-se que o conteúdo de água do solo diminua, afetando as taxas de evapotranspiração e conseqüentemente o fluxo de água nos rios. Os efeitos das mudanças na dinâmica da vegetação são frequentemente associados à modificação do regime de umidade do solo (SENEVIRATNE et al., 2010). Caso a frequência, duração e severidade das secas aumentarem, como é o caso nos cenários de mudanças climáticas previstos para algumas regiões (MARENGO et al., 2012), a composição, estrutura e biogeografia das florestas poderão alterar em muitas regiões globais (ALLEN et al., 2010).

Nesse sentido, estudos com simulação de cenários climáticos vêm sendo realizados no Brasil, principalmente, para avaliar os efeitos das mudanças climáticas na produtividade de culturas (GROSSI et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2016; RAMIREZ-CABRAL et al., 2016; HEINEMANN et al., 2017b; ABREU et al., 2018), afetada diretamente pelo aumento da temperatura, mudanças nos padrões de chuva, além de eventos extremos como geadas, secas e inundações (IPCC, 2014).

Entretanto, são incipientes os estudos que avaliem o grau de impacto da supressão da vegetação para introdução de sistemas agropecuários, como ocorre no estado do Acre, na dinâmica hidrológica em escala local e regional na Amazônia. A Amazônia pode ser caracterizada como uma região de grande risco socioambiental e social em decorrência da variabilidade climática (BATISTELA; LUIZÇÃO, 2006). A variabilidade climática na região pode estar diretamente relacionada pelas interações sinérgicas com o processo desordenado da supressão da floresta nativa para a expansão agropecuária.

Nesse contexto de mudanças climáticas na região amazônica, são projetadas até o final deste século, reduções de chuva de até 40% e aquecimento de até 8°C (MARENGO et al., 2008). Contudo, estudos indicam que não haverá redução na precipitação da Amazônia decorrente do aumento da supressão da floresta nativa (MARENGO, 2005). Modelos regionais indicam que o desmatamento pode reduzir as chuvas em determinados locais e aumentar em outras regiões (BAIDYA ROY; AVISSAR, 2002; GANDU et al., 2004).

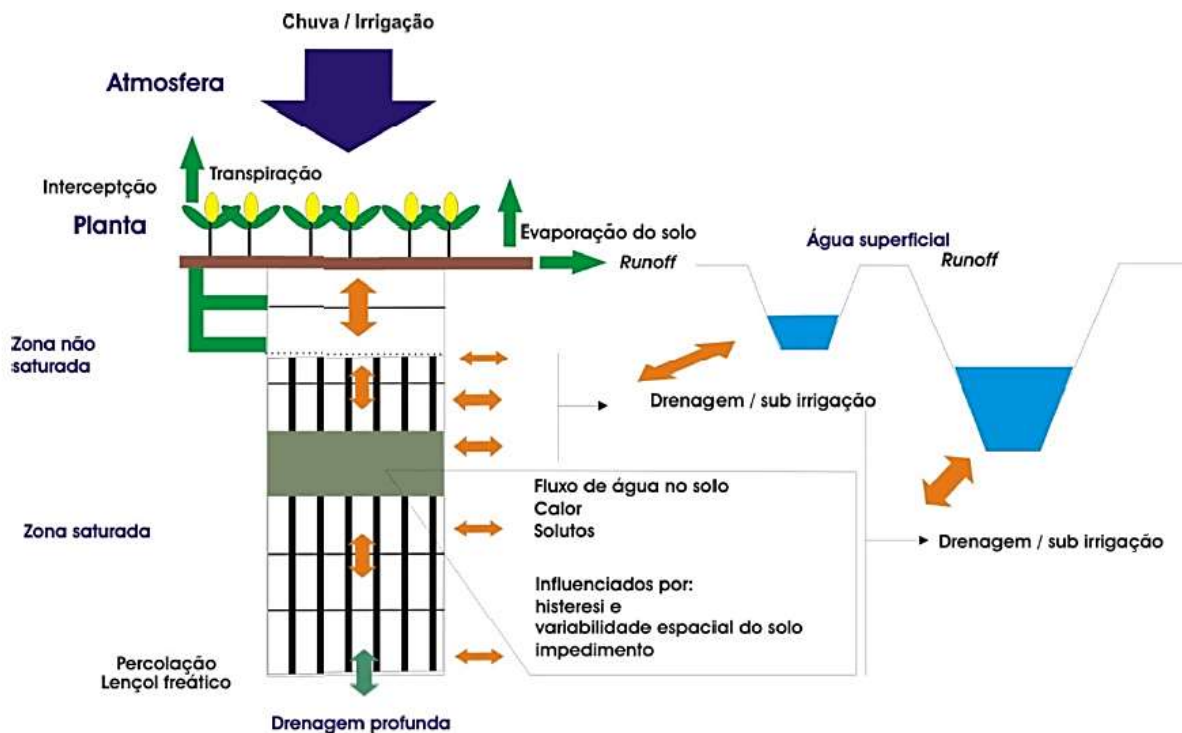
Pesquisa desenvolvida por Liberato e Brito (2010) na Amazônia Ocidental indica uma tendência de clima mais seco que o atual nessa região, levando a uma diminuição de umidade na atmosfera e do solo, uma redução na vazão dos rios e um aumento no risco de incêndio. Além disso, o aumento de temperatura previsto nos cenários do IPCC é capaz de aumentar a evapotranspiração real produzindo uma redução da umidade do solo e uma diminuição do escoamento superficial e subsuperficial e, conseqüentemente, as vazões dos rios. Ainda segundo esses pesquisadores, há indícios de que o clima da parte leste da Amazônia Ocidental e dos estados de Rondônia e Acre se torne subúmido ou subúmido seco devido ao aumento do grau de aridez da região.

## 2.5. Modelagem agrohidrológica

A modelagem agrohidrológica, com uso de diversos modelos, tem sido utilizada para prever e simular os componentes do balanço hídrico e a dinâmica hídrica em diversos cenários. Portanto, modelos agrohidrológicos fornecem balanços hídricos e de energia detalhados, além disso, permitem a simulação de cenários adotando diferentes estratégias de manejo do solo e em diversos cenários ambientais e climáticos (OLIVEIRA, 2019).

Entre os modelos disponíveis para a simulação do balanço hídrico, o modelo *Soil, Water, Atmosphere and Plant*, acrônimo SWAP (KROES et al., 2017) é um dos mais utilizados para avaliar a sustentabilidade hídrica. O SWAP é um modelo agrohidrológico de base física, que possibilita a simulação do transporte de água, solutos e calor na zona insaturada e saturada do solo em interação com o desenvolvimento das plantas. Diferentemente de muitos outros modelos hidrológicos, este aborda as interações entre o fluxo de água no solo, manejo da água superficial e o desenvolvimento vegetativo (VAN DAM et al., 2008). Os processos hidrológicos incorporados no modelo são representados na **Figura 2**.

A base físico-matemática desse modelo é a equação de Richards, que concilia a lei de fluxo de Darcy com a lei da continuidade para o transporte de água no solo. Essa equação é solucionada numericamente pela aproximação da solução das equações diferenciais parciais, que regem o fluxo de água (BELMANS et al., 1983). A modelagem numérica é utilizada para a resolução das equações de fluxo, de forma aproximada quando as condições de contorno não permitem uma solução analítica (KUNZLER, 2007).



**Figura 2.** Resumo simplificado dos processos agrohidrológicos incorporados no SWAP. Fonte: BARROS (2010) adaptado de VAN DAM et al. (2008).

Para o cálculo do balanço hídrico, duas condições de contorno são consideradas: a superior, localizada acima do dossel da cultura e representada pela chuva, irrigação e evapotranspiração e a inferior, localizada abaixo da última camada de solo ou acima do lençol freático, representando o fluxo por drenagem ou por ascensão no limite inferior do perfil de solo simulado. Entre esses limites, os processos de fluxo de água são verticais, considerando a variação espacial dos potenciais de água no solo no perfil, o que determina a estrutura unidirecional do modelo. A evapotranspiração é estimada pela equação de Penman-Monteith (VAN DAM, 2000) e pode ser reduzida por estresse por excesso de água, seca, solutos ou frio. A coluna de solo é dividida em compartimentos para os quais o transporte e o balanço de água, solutos e calor são resolvidos. Interações entre a circulação de água, soluto e calor ocorrem para cada intervalo de tempo, que pode variar de segundos a horas, definido pelo usuário dependendo da velocidade do fluxo e condições de transporte ao longo do tempo.

Uma das vantagens da utilização de modelos com embasamento físico para a simulação do balanço hídrico está no fato de que suas metodologias estarem bem orientadas na distinção entre os processos de transpiração, evaporação do solo e evaporação de água livre (SCARPARE, 2011). Entretanto, esses modelos apresentam a desvantagem do requerimento de dados de entrada detalhados sobre o perfil do solo, sobretudo das suas propriedades hidráulicas (QURESHI, 1999).

Por ser um modelo robusto e eficiente em simular processos agrohidrológicos, o SWAP vem sendo aplicado para simulação de processos em agroecossistemas. Em grande parte das pesquisas, o modelo é utilizado para a otimização do uso da água em sistemas agrícolas, tanto na irrigação, quanto na drenagem. Mais recentemente, o SWAP tem sido utilizado em estudos aplicados ao manejo da irrigação e da salinização (MA et al., 2011; JIANG et al. 2011, 2016; CRESCIMANNO et al., 2012; XU et al., 2013; KUMAR et al., 2015), para a avaliação da drenagem de água subsuperficial em sistemas agrícolas com déficit hídrico (VERMA et al., 2014), para estimativa do rendimento de culturas (MOKHTARI et al., 2018) e para avaliação dos componentes hídricos (PINHEIRO et al., 2017).

## 2.6. Calibração de modelos

Modelos mecanísticos costumam requerer um número elevado de parâmetros, em que um único valor é vinculado a todas as localidades e anos, o que representa uma fonte de erro (SCARPARE, 2011). Os acúmulos de erros para os diferentes parâmetros, bem como erros nas equações de modelos, podem levar a resultados discrepantes em relação aos dados medidos em condições de campo (NASSIF, 2010). Logo, técnicas de calibração consistem em ajustar alguns parâmetros de modo para que se obtenha a melhor resposta do modelo comparada aos dados experimentais.

Nesse contexto, existem diversos algoritmos de calibração, entre os quais o *Parameter Estimation-PEST*, que é um código de calibração automático, desenvolvido para ajustar os parâmetros de determinado modelo de forma que os resultados gerados se aproximem o mais próximo possível dos valores observados do sistema, permitindo assim calibrar o modelo (VAN DAM, 2000; COSTA, 2006).

O procedimento adotado por esse algoritmo consiste em comparar os valores simulados pelo modelo com os valores medidos em campo, para os mesmos pontos, calculando a diferença entre ambos. O somatório do quadrado dos resíduos, ou seja, a diferença entre valores observados e simulados, constitui a função objetivo que o algoritmo visa minimizar. Logo, o algoritmo altera de forma iterativa o valor dos parâmetros a serem calibrados até que esses produzam os valores simulados mais aproximados dos valores observados, que corresponde ao valor mínimo da função objetivo (COSTA, 2006).

O PEST efetua esse procedimento assumindo o controle do modelo, assim, produzindo simulações iterativamente até que seja encontrado o valor mínimo da função objetiva definida no algoritmo. A técnica de estimação não linear de parâmetros utilizada pelo PEST é conhecida

como o método de *Gauss-Marquardt-Levenberg*, que foi testado em diversos conjuntos de problemas, sendo considerada uma técnica robusta (DOHERTY, 2002).

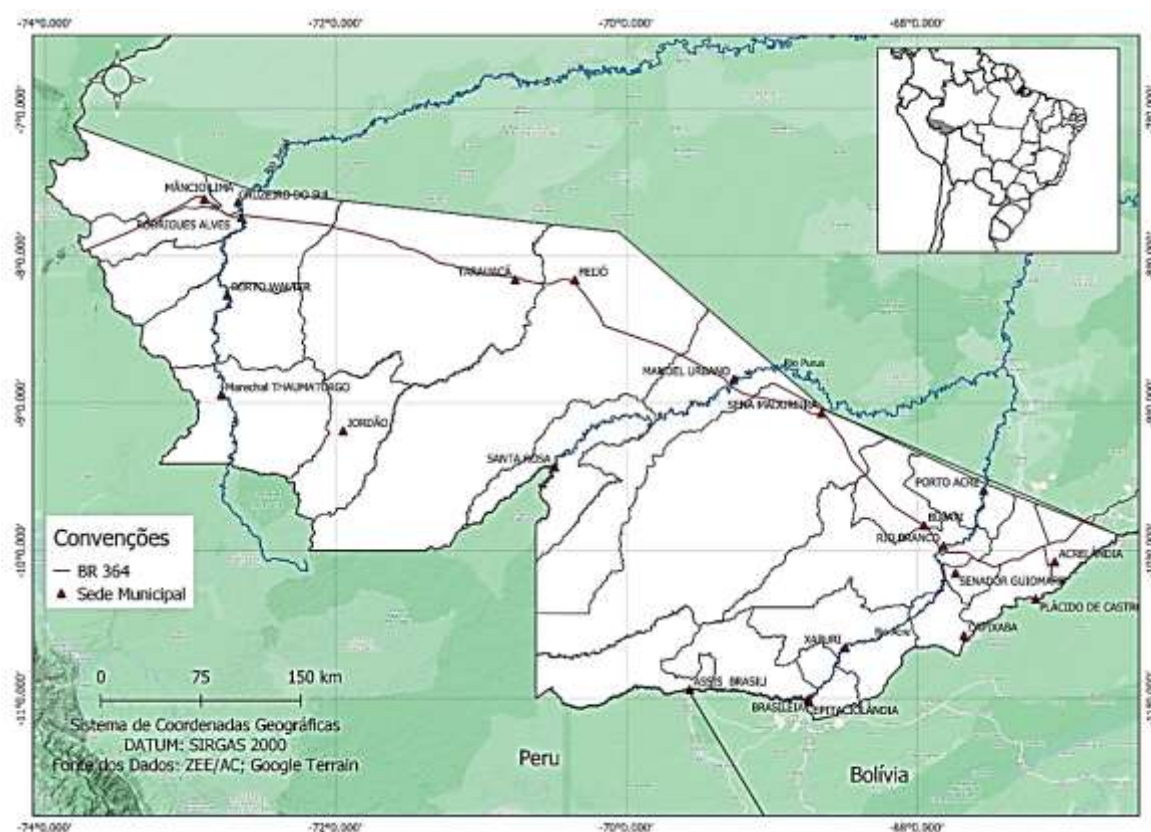
A vantagem na utilização do PEST é que esse apresenta a potencialidade de executar tarefas, anteriormente descritas, para qualquer modelo que use, como o SWAP, arquivos de entrada e de saída em formato texto (ASCII). Sendo esse o principal motivo da grande abrangência de sua utilização, uma vez que o modelo não necessita ser alterado ou adaptado antes de ser sujeito ao processo de estimativa de parâmetros (MELO, 2020).

Existem diversos relatos da aplicação do programa PEST para calibração de modelos hidrológicos na literatura (BAGINSKA et al., 2003; DOHERTY; JOHNSTON, 2003; GOVENDER; EVERSON, 2005), além de alguns estudos técnicos de modelagem inversa com o intuito de determinar as funções hidráulicas do solo (INES; DROOGERS, 2002; JHORAR et al., 2002; MELO, 2020).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização das regiões de estudo

Esta pesquisa tem como foco o estado do Acre (AC), localizado no extremo sudoeste da Amazônia brasileira (**Figura 3**), com superfície territorial de 16.422.136 hectares correspondendo a 4% da Amazônia brasileira (ACRE, 2010).

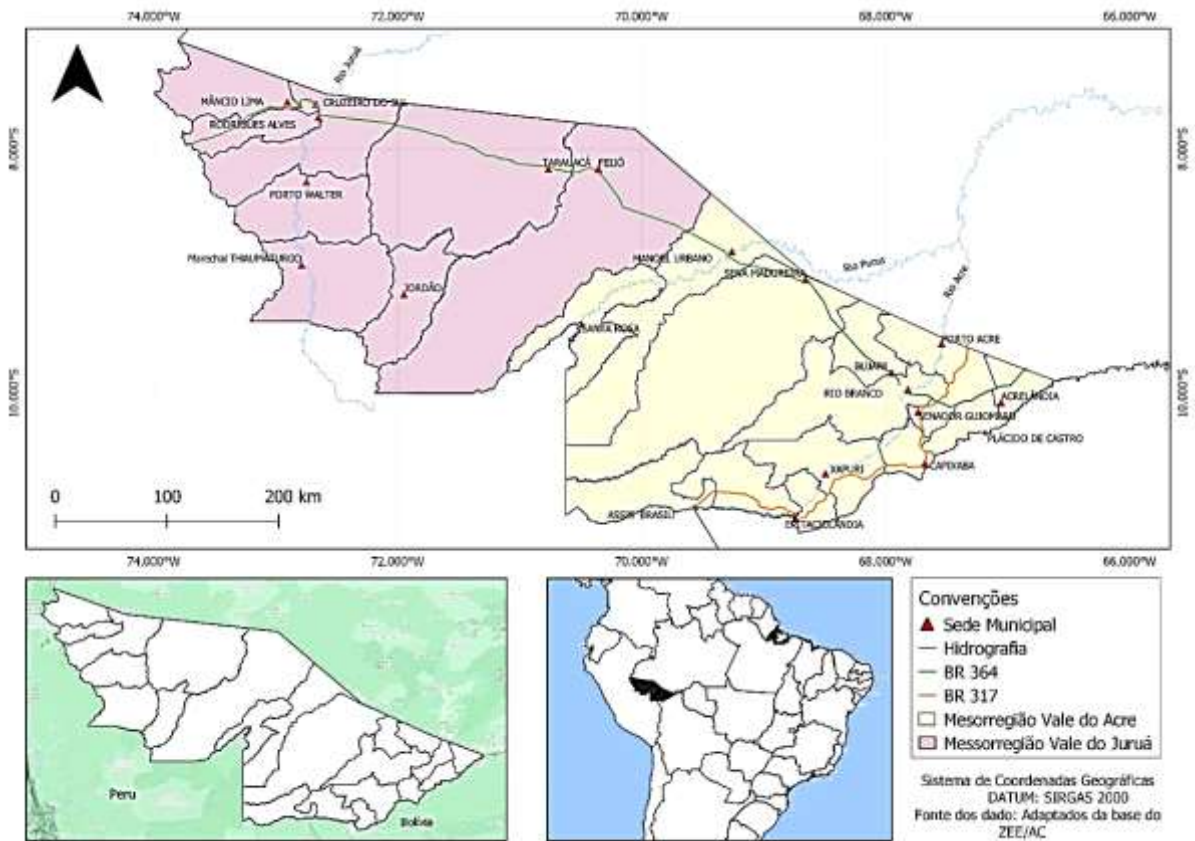


**Figura 3.** Localização do Acre na América do Sul e Brasil.

O Acre é subdividido em cinco regiões de desenvolvimento: Alto Acre; Baixo Acre e Purus, as quais correspondem a Mesorregião Vale do Acre e as regiões Tarauacá/Envira e Juruá, as quais correspondem a Mesorregião Vale do Juruá (**Figura 4**), que correspondem às microrregiões estabelecidas pelo IBGE e seguem a distribuição das bacias hidrográficas dos principais rios do AC.

A seleção das regiões para o estudo foi baseada na representatividade das classes de solos, com maior potencial produtivo do estado, e quanto aos sistemas de cultivo agrícolas predominantes no AC. Com base nesses critérios, o estudo, envolvendo coleta e análise de solos e a medições de potenciais matriciais *in situ*, foi realizado na região do Baixo Acre, nos municípios de Rio Branco e Senador Guimard e na região do Juruá, no município de Mâncio Lima.



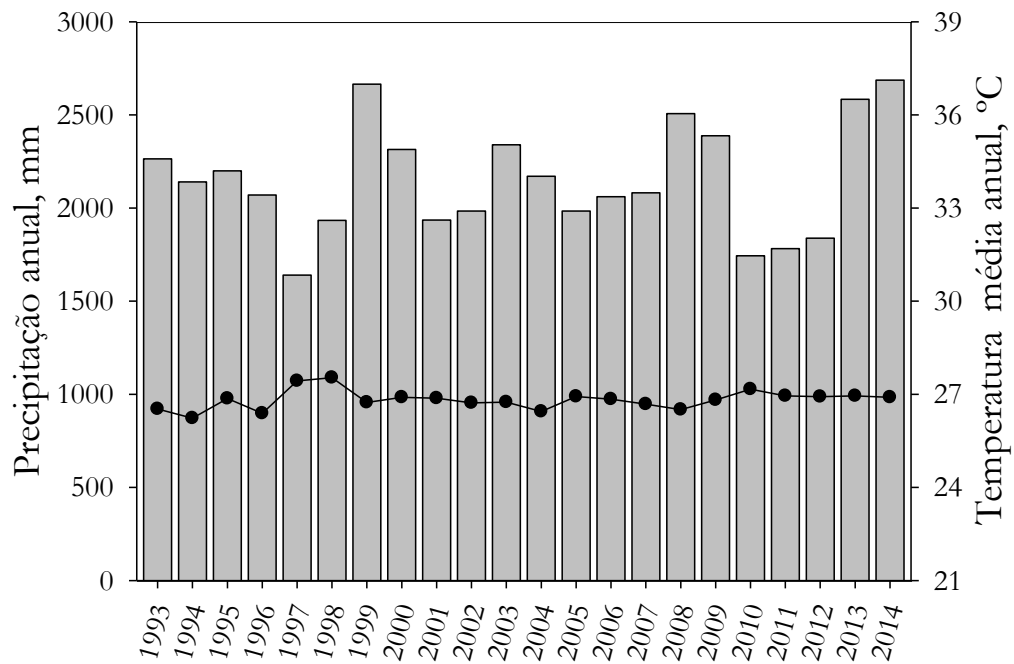


**Figura 4.** Regiões de desenvolvimento do Estado do Acre.

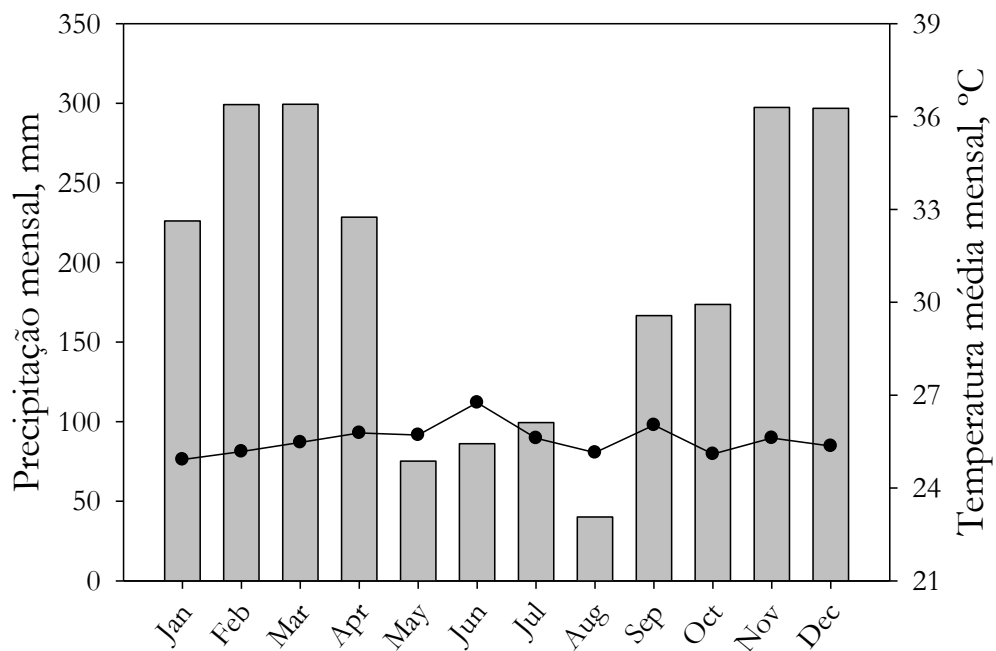
### 3.1.1. Mâncio Lima

Em Mâncio Lima (ML), o trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Acre. Na região predominam Argissolos Amarelos com predominância de horizonte A arenoso. Em geral, apresentam solum profundo e bem drenado (ACRE, 2010). A vegetação dominante é do tipo Floresta Tropical Aberta, com ocorrência de palmeiras (ACRE, 2010).

O clima de ML, pela classificação de *Koepfen*, é tropical úmido Af (ALVARES et al., 2014), a temperatura média anual em torno 24 °C e a máxima 32 °C, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano totalizando aproximadamente 2000 mm (ACRE, 2010). O município de ML não dispõe de estação meteorológica com longo histórico climatológico, os dados climáticos utilizados foram do município de Cruzeiro do Sul (CZS), o qual faz divisa e o clima é similar a ML. Na **Figura 5** é apresentada a série climatológica de 1993 a 2014 e na **Figura 6** o climograma, média de 23 anos, da precipitação e da temperatura média do município de CZS. A estação meteorológica está distanciada em aproximadamente 10 km dos locais de amostragem.

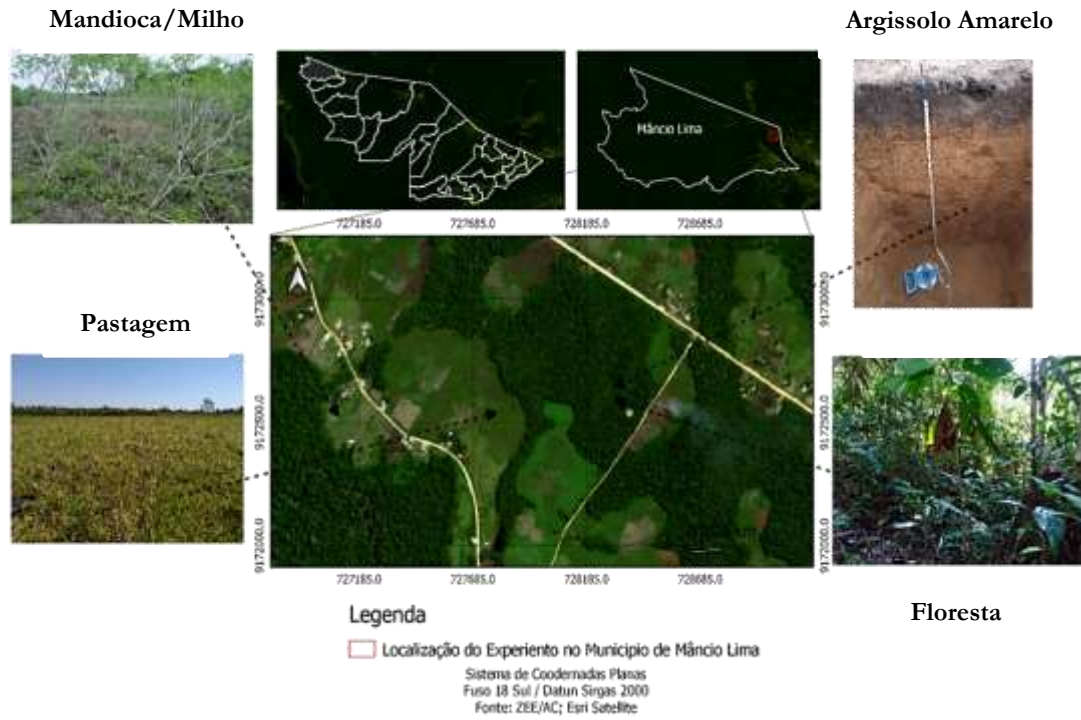


**Figura 5.** Precipitação pluviométrica anual (barras) e temperatura média anual (pontos) de Cruzeiro do Sul, usadas para o estudo em Mâncio Lima (ML). Fonte: inmet.



**Figura 6.** Climograma do município de Cruzeiro do Sul, Acre. Precipitação mensal (barras) e temperatura média mensal (pontos). Média com base em 22 anos de observação. Fonte: inmet.

Os sistemas de uso de agropecuário estão localizados nas coordenadas geográficas: floresta nativa-FN ( $7^{\circ} 28' 51''$  S e  $72^{\circ} 55' 50''$  W), pastagem-PA ( $7^{\circ} 28' 37''$  S e  $72^{\circ} 56' 31''$  W), plantio direto de milho-PD e plantio convencional de milho-PC ( $7^{\circ} 28' 27''$  S  $72^{\circ} 47' 23''$  W) (**Figura 7**), sob um Argissolo Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018).



**Figura 7.** Localização das áreas de estudo: floresta nativa, pastagem e cultivo de milho em sistema de PD. Mâncio Lima, AC, 2022.

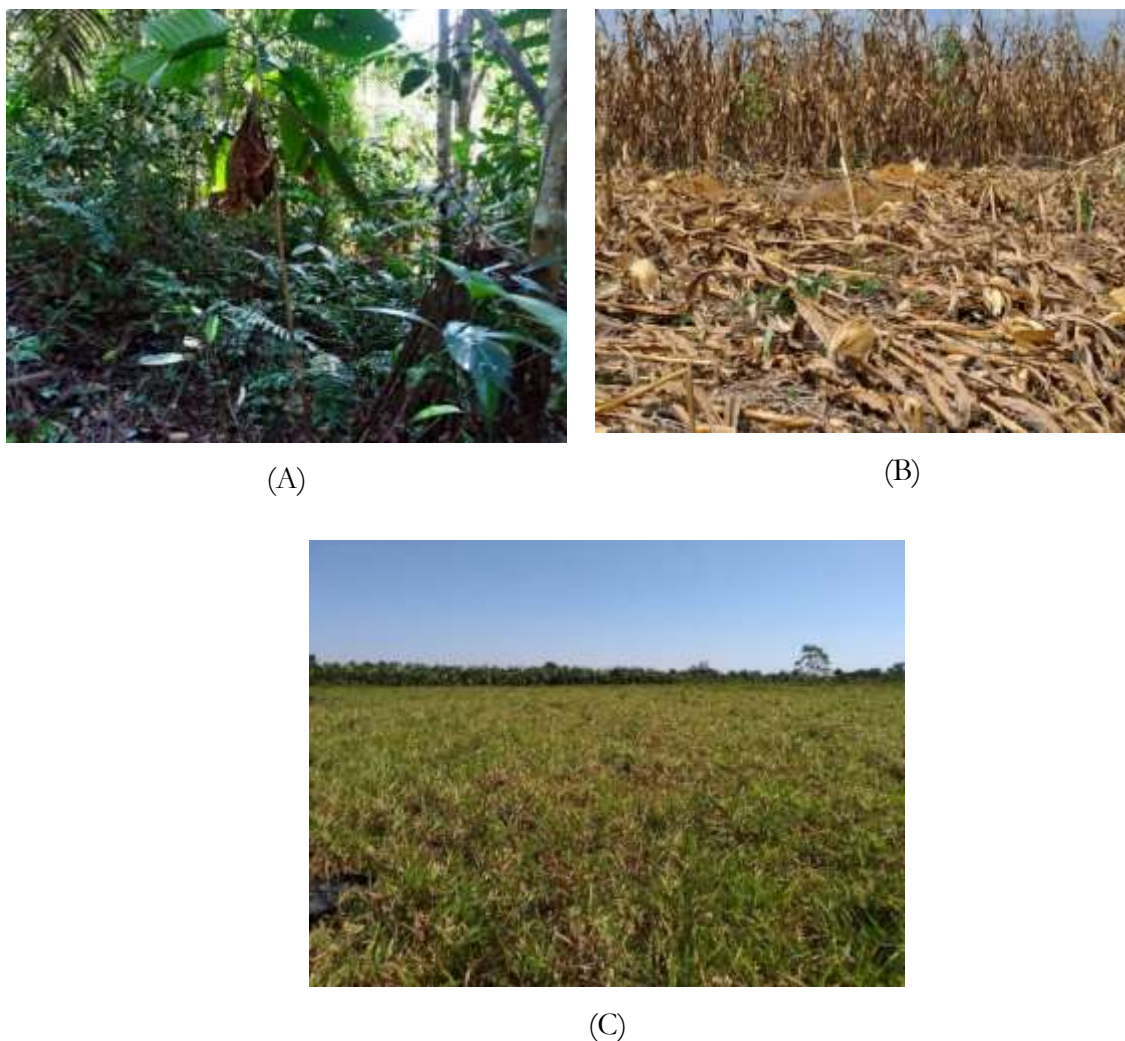
Na **Tabela 1** é apresentada a caracterização física do solo dos sistemas de uso agropecuário.

**Tabela 1.** Caracterização granulométrica do solo sob floresta nativa, pastagem e cultivo de milho. Mâncio Lima, AC.

g/kg	Floresta Nativa			
	..... profundidade (cm) .....			
	0 a 20	20 a 40	40 a 60	60 a 80
Argila	136	221	273	324
Silte	69	70	68	57
Areia	795	707	659	619
Pastagem				
Argila	149	240	285	334
Silte	83	70	68	66
Areia	768	690	647	600
Cultivo de milho				
Argila	134	226	266	318
Silte	77	72	64	59
Areia	789	702	670	623

**Histórico dos sistemas de cultivos agropecuários em Mâncio Lima (ML):**

1. Floresta nativa – floresta aberta com ocorrência de palmeiras e bambu (ACRE, 2010) (**Figura 8 A**).
2. Pastagem (PA) – retirada e queima da floresta nativa em 1990. Nesse ano foi implantada Pastagem de *Brachiaria brizantha*. A área foi queimada novamente em 2000 e mantida sem corretivos e adubos até a coleta de solo (**Figura 8 C**).
3. Cultivo de milho/mandioca - atualmente com 13 anos de condução de 2006 a 2019, foram realizadas cinco safras de mandioca e seis de milho, três dessas em época convencional de cultivo e três em época alternativa (**Figura 8 B**). O cultivo do milho em época convencional ocorre entre setembro e janeiro, com a colheita em meados do período chuvoso (janeiro ou fevereiro).



(A)

(B)

(C)

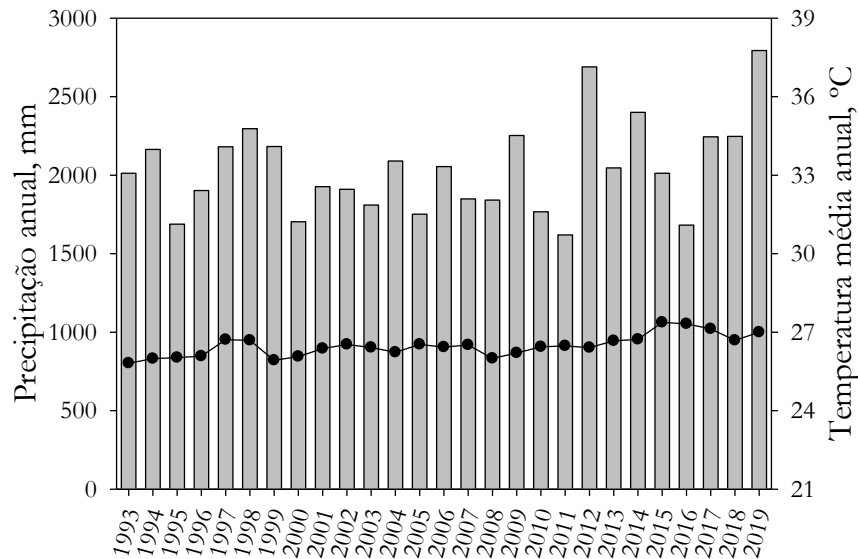
**Figura 8.** Floresta nativa (A), Pastagem (C) e Cultivo de Milho (B). Mâncio Lima, AC, 2022.

### 3.1.2. Rio Branco

Em Rio Branco (RBR), o trabalho foi realizado na Fazenda Batista na altura do km 50 da rodovia Transacreana. No local predominam Argissolos Vermelho-Amarelos plúnticos em associação com Plintossolos. Em geral, apresentam solum raso a pouco profundo, imperfeitamente drenado a mal drenado (ACRE, 2010). A vegetação dominante é do tipo Floresta Tropical Aberta, com ocorrência de bambus (ACRE, 2010).

O clima de RBR é Aw de acordo com a classificação de Koeppen, com uma estação seca de pequena duração (ALVAREZ et. al., 2014). A temperatura média anual é 24 °C. A precipitação média anual para série climatológica de 1993 a 2019 é de 2080 mm (**Figura 9**) e na

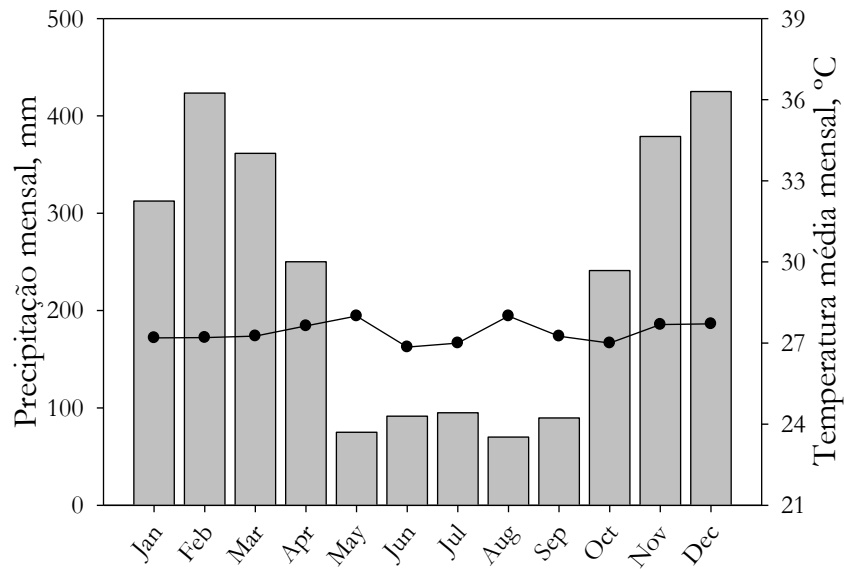
**Figura 10** o climograma, média de 27 anos, da precipitação e da temperatura média mensal, respectivamente.



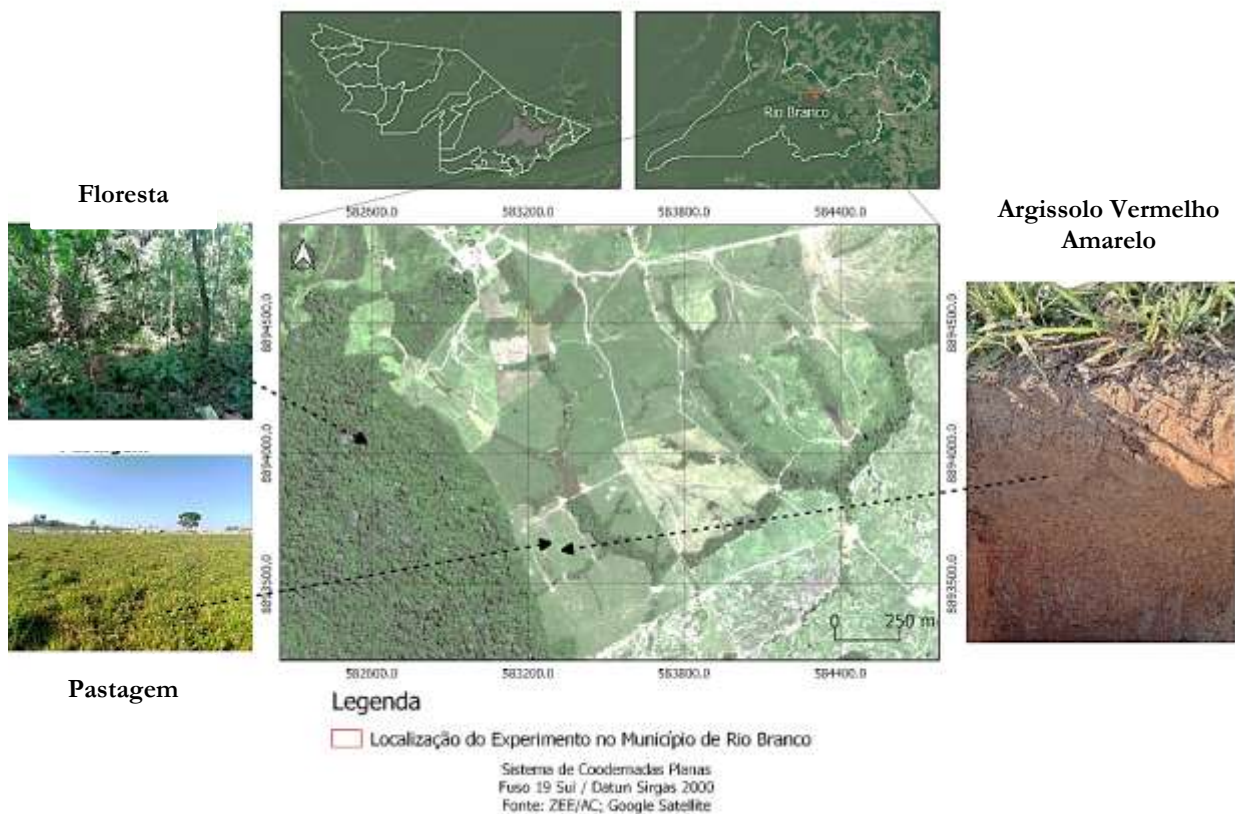
**Figura 9.** Precipitação pluviométrica anual (barras) e temperatura média anual (pontos), Rio Branco, Acre. Fonte: INMET.

Os sistemas de uso e manejo do solo estão localizados nas coordenadas geográficas: floresta nativa ( $10^{\circ} 0' 23''$  S e  $68^{\circ} 14' 46''$  W), pastagem ( $9^{\circ} 59' 43''$  S e  $68^{\circ} 14' 43''$  W) (**Figura 11**), sob um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018). Na **Tabela 2**, é apresentada a caracterização física do solo dos sistemas de uso agropecuário.





**Figura 10.** Climograma do município de Rio Branco, AC. Precipitação mensal (barras) e temperatura média mensal (pontos). Média com base em 27 anos de observação. Fonte: inmet.



**Figura 11.** Localização geográfica da área de estudo no estado do Acre, referentes à floresta nativa e à pastagem. Rio Branco, AC

**Tabela 2.** Caracterização granulométrica do solo sob floresta nativa e pastagem. Rio Branco, AC.

g/kg	Floresta Nativa			
	..... profundidade (cm) .....			
	0 a 20	20 a 40	40 a 60	60 a 80
Argila	365	393	483	480
Silte	527	535	460	477
Areia	108	72	57	43
Pastagem				
Argila	380	407	503	522
Silte	495	505	435	419
Areia	125	88	62	59

**O histórico dos sistemas agropecuários:**

1. Floresta nativa – floresta aberta com ocorrência de palmeiras e bambu (ACRE, 2010) (**Figura 12A**).
2. Pastagem (PA) – retirada e queima da floresta nativa em 1994. Neste ano foi implantada Pastagem de *Brachiaria brizantha* em consórcio com puerária (*Pueraria phaseoloides*). A área foi queimada novamente em 1999 e mantidas sem corretivos e adubos até a coleta de solo (**Figura 12B**).



(A)



(B)

**Figura 12.** Floresta nativa (A) e Pastagem (B). Rio Branco, AC.**3.1.3. Senador Guiomard**

Em Senador Guiomard (SG), o estudo foi conduzido na Fazenda Ouro Verde, distante 10 km da sede do município. No local, predominam Latossolos Vermelho-Amarelo, em geral, caulíníticos, distróficos, profundos, bem drenados em ambientes de relevo plano a suave



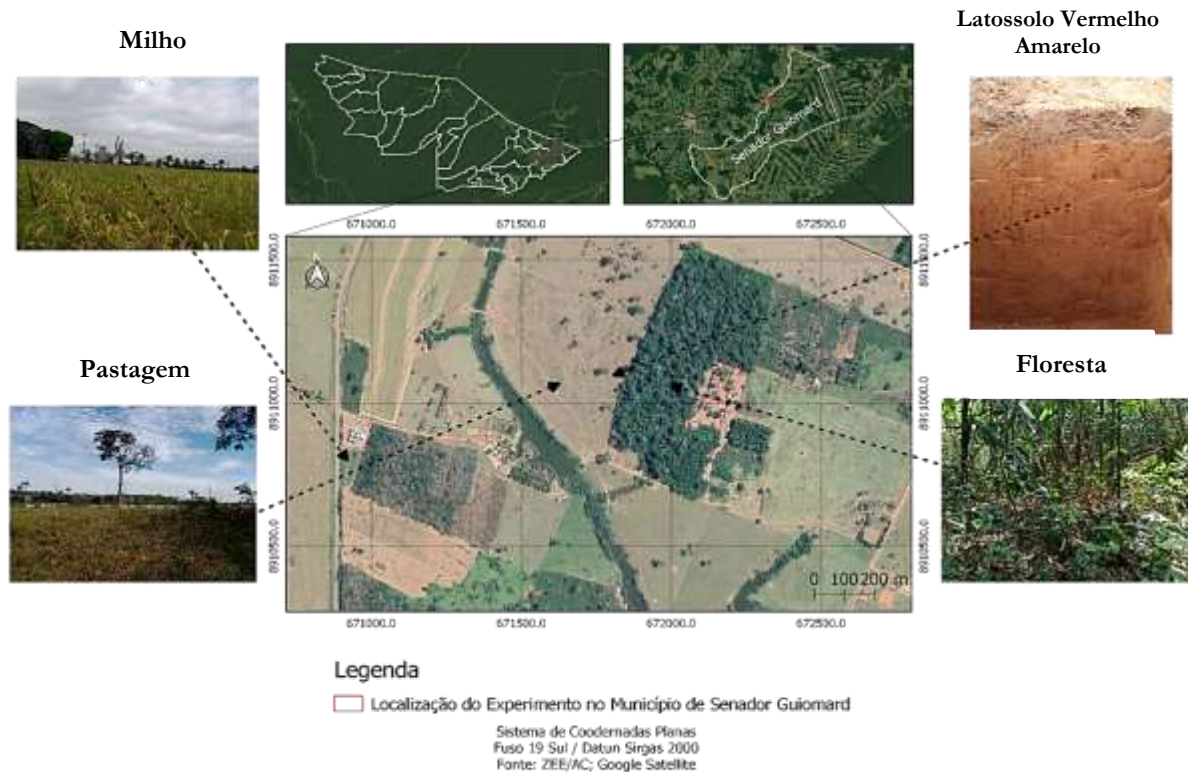
ondulado (ACRE, 2010). A floresta nativa predominante é a do tipo Floresta Tropical Densa (ACRE, 2010).

A precipitação pluviométrica e a temperatura média anual são similares à região de RBR, o qual faz divisa. Assim, foram utilizados os dados climatológicos de RBR para a simulação dos componentes do balanço hídricos, pois em SG não há estação meteorológica.

Os sistemas de uso agropecuário estão localizados nas coordenadas geográficas: floresta nativa-FN (9° 50' 57" S e 67° 25' 56" W), pastagem-PA (9° 50' 52" S e 67° 26' 1" W), cultivo de milho-CM (9° 50' 51" S e 67° 26' 24" W) (**Figura 13**), sob um Latossolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018). Na **Tabela 3**, é apresentada a caracterização física do solo sob floresta nativa, Pastagem e Cultivo de milho.

**Tabela 3.** Caracterização granulométrica do solo sob floresta nativa, pastagem e cultivo de milho, Senador Guiomard, AC.

g/kg	Floresta Nativa			
	..... profundidade (cm) .....			
	0 a 20	20 a 40	40 a 60	60 a 80
Argila	325	398	420	440
Silte	160	160	150	140
Areia	515	442	430	420
Pastagem				
Argila	338	400	438	455
Silte	155	150	140	130
Areia	507	450	422	415
Cultivo de milho				
Argila	340	410	448	460
Silte	168	160	145	145
Areia	492	430	407	395



**Figura 13.** Localização das áreas de estudo: floresta nativa, Pastagem e cultivo de milho, em Senador Guimard, AC.

### Histórico dos sistemas de cultivos agropecuário em Senador Guimard:

1. A floresta nativa predominante é a do tipo Floresta Tropical Densa (ACRE, 2006) (**Figura 14A**).
2. Pastagem de *B. brizantha* implantada em 1984; em que não foi realizada queima nos últimos 10 anos; não foi gradeada e não se utilizou corretivo, nem fertilizante. Ela apresenta média infestação por plantas invasoras (**Figura 14B**).
3. Área de cultivo de milho em sistema convencional, com uso de adubação e calagem e uma safra anual desde 2016 (**Figura 14C**).



(A)



(B)



(C)

**Figura 14.** Floresta nativa (FN), Pastagem (PA) e Cultivo de Milho (C). Senador Guimard, AC.

Todos os procedimentos de coletas de solo, medições dos potenciais matriciais da água no solo, parametrização hidráulica dos solos e a determinação dos componentes do balanço hídrico aqui descritos foram os mesmos para as três regiões de estudo: ML, RBR e SG.

### **3.2. Coleta de solo, propriedades físicas e medições dos potenciais matriciais de água no solo**

Na floresta nativa e nos sistemas de uso agropecuários foram abertas 3 trincheiras equidistantes (em torno de 40 metros). Foram coletadas amostras deformadas de solo para a determinação da granulometria e amostras indeformadas em anéis de aço inox de 7,4 cm de diâmetro e 7,0 cm de altura para determinação da densidade, porosidade e umidade do solo,

ambas na mesma profundidade de amostragem, que foram de 2 a 9 cm (representando a camada de 0 a 20 cm); 22 a 27 cm (20 a 40 cm); 42 a 49 cm (40 a 60 cm) e 62 a 69 cm (60 a 80 cm) (Figura 15 A, B, C e 16 A, B). A granulometria, a densidade, a porosidade e umidade foram determinadas de acordo com o manual de análises do solo da Embrapa (EMBRAPA, 1997).



(A)

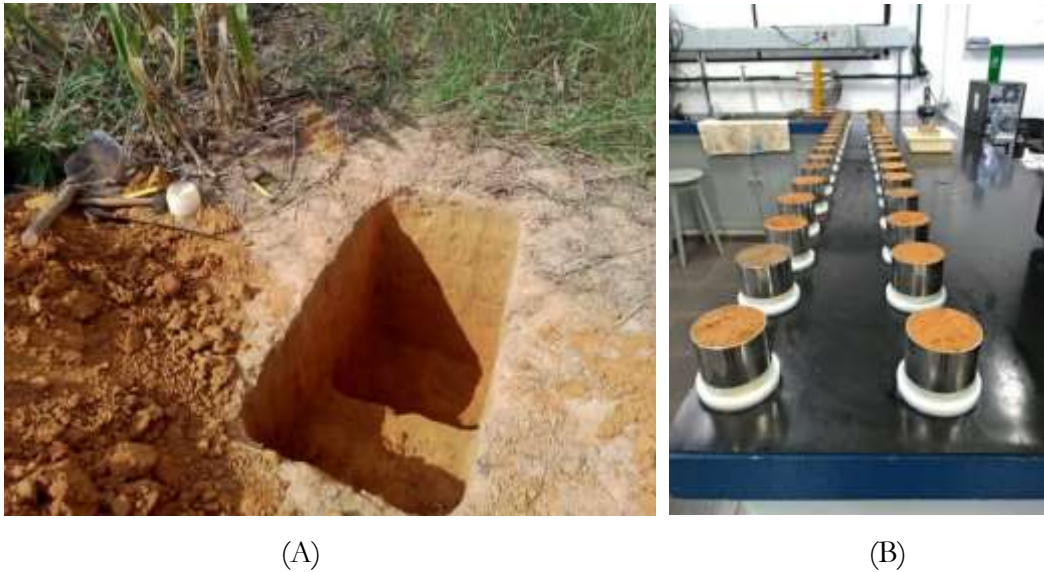


(B)



(C)

**Figura 15.** Perfil de amostragem em Rio Branco (A) em cultivo de milho, perfil de amostragem em Mâncio Lima (B) em cultivo de milho e perfil de amostragem em Senador Guiomard (C), AC, 2022.



**Figura 16.** Trincheira de coleta de solo (A) e (B) e amostras indeformadas (B), AC, 2022.

Além disso, no momento das coletas e objetivando a validação do modelo SWAP e a determinação dos parâmetros da curva de retenção de água no solo por modelagem inversa, foram instalados sensores FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) de potencial matricial (marca: DECAGON, modelo MPS-2) na FN em três trincheiras e nas mesmas profundidades de coleta das amostras nas três regiões de estudo (RBR e SG) no PD em (ML), os quais mediram pelo período de seis meses os potenciais matriciais de água no solo. Essa medição foi feita com auxílio de sensores FDR a cada 6 horas, durante o período de 1/08/2019 a 31/01/2020 nas mesmas profundidades de amostragem de solo e os valores de potenciais foram utilizados para obtenção dos parâmetros hidráulicos do solo por modelagem inversa.

### 3.3. Parâmetros hidráulicos do solo

Os parâmetros  $\alpha$ ,  $n$ ,  $l$  e  $K_s$  das equações de retenção e de condutividade hidráulica do solo de Van Genuchten (1980) (**Equações 1 e 2**), que estão inseridas no modelo SWAP, no solo sob áreas de florestas e plantio direto, foram estimados por modelagem inversa gerenciada pelo algoritmo PEST, utilizado em combinação com o modelo SWAP. Nos apêndices A, B, C e D são apresentados os arquivos de entrada utilizados para as simulações com o modelo SWAP. No apêndice A é apresentada a parte do arquivo de entrada do SWAP que trata da descrição do perfil do solo, no apêndice B tem-se a solução numérica da equação de Richards contida no mesmo arquivo, no apêndice C apresenta-se o arquivo de cultura com os parâmetros para vegetação de floresta e no apêndice D são apresentados os parâmetros de entrada para a cultura do milho.



A condição de contorno superior do SWAP foi a da transpiração de uma floresta úmida tropical, simulada pela equação de Penman-Monteith (VAN DAM, 2000) usando dados diários de radiação solar, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento assim como os coeficientes da floresta nativa, reduzida pela função de redução de Feddes et al. (1978) em condição de parâmetros de vegetação específicas (**Tabela 4**). A condição de contorno inferior foi a drenagem livre, isto é, região abaixo das camadas de solo descritas no modelo, ou seja, a drenagem acima do lençol freático, onde a umidade de solo que chega à última camada flui livremente por gravidade como fluxo subterrâneo após a remoção do excesso de água do perfil. Entre esses limites os processos de fluxo de água são verticais, considerando a variação espacial dos potenciais de água no solo no perfil, o que determina a estrutura unidirecional do modelo.

**Tabela 4.** Principais parâmetros da vegetação (floresta) utilizados no modelo para a região de estudo

Parâmetro	Valores	
Albedo	0,134	
Densidade relativa das raízes	Profundidade (m)	Densidade
	0,0	1,0
	0,4	0,1
	1,0	0,0
Índice de área foliar	DVS	LAI
	0,0	5,0
	1,0	3,0
	2,0	5,5
Profundidade máxima do sistema radicular	200 cm	
Parâmetros da função de redução de Feddes et al. (1978)	h <sub>3h</sub> = -200 cm	
	h <sub>3l</sub> = -800 cm	
	h <sub>4</sub> = -8000 cm	
	T <sub>high</sub> = 5 mm d <sup>-1</sup>	
	T <sub>low</sub> = 1 mm d <sup>-1</sup>	

Esses parâmetros, estimados nas áreas de floresta nativa, foram utilizados para simulação dos componentes do balanço hídrico nos sistemas de cultivos agrícolas. O  $\theta_r$  foi fixado em zero e o conteúdo de água saturada do solo ( $\theta_s$ ) foi considerado equivalente à porosidade total.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|h|)^n]^{1-\frac{1}{n}}}$$

(1)

$$K(\Theta) = K_s \Theta^l \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{n-1}} \right)^{1-\frac{1}{n}} \right]^2$$

(2)

Onde:  $\theta$  =conteúdo de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_r$ =conteúdo de água residual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_s$ = conteúdo de água do solo saturado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $h$ =potencial matricial (cm);  $\alpha$  =parâmetro empírico ( $\text{cm}^{-1}$ );  $n$ =parâmetro empírico;  $K$ =condutividade hidráulica do solo ( $\text{cm d}^{-1}$ );  $\Theta$  =saturação relativa;  $K_s$ =condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{cm d}^{-1}$ ) e  $l$ =parâmetro empírico.

O procedimento consistiu em uma rotina de otimização numérica para encontrar os valores  $\alpha$ ,  $n$ ,  $l$  e  $K_s$  que resultassem na menor diferença entre os valores de potenciais matriciais da água no solo observados e simulados pelo modelo. Para isso foram realizadas várias simulações para obtenção do melhor ajuste dos dados simulados com os dados medidos. O período de simulação correspondeu ao período em que foi determinado o potencial matricial da água *in situ*.

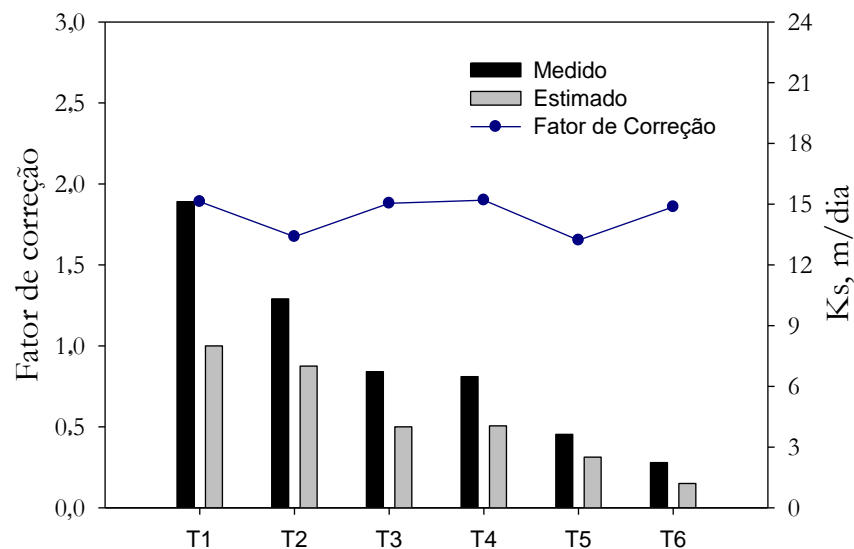
Como os potenciais matriciais de água *in situ* nos sistemas PA e CM RBR e SG e na PA e FN em ML não foram medidos, utilizaram-se os parâmetros da equação de Van Genuchten:  $\alpha$ ,  $n$ ,  $l$ , do solo de FN para realização das simulações nos sistemas de PA e CM em RBR e SG e os valores dos parâmetros do solo sob PD para FN e PA em ML.

A  $K_s$  na área de FN em RBR e SG e na área de PD em ML foi simulada por modelagem inversa (SWAP/PEST) para todas as profundidades avaliadas, no processo descrito anteriormente. Entretanto, para o solo sob os sistemas agropecuários e FN em que não foi estimada a  $K_s$  por modelagem inversa, adotaram-se dois critérios de uso da  $K_s$ : (1) quando não houve diferença estatística, pelo teste de Duncan (5%), entre os valores de  $D_s$  e  $P_t$  do solo sob os sistemas agrícolas em relação à FN nas profundidades avaliadas, foram utilizados os valores da  $K_s$  do solo da FN para as simulações com o modelo SWAP nos sistemas de cultivos agrícolas nas regiões de RBR e SG e em ML, quando não houve diferença estatística, Duncan (5%), nos valores de  $D_s$  e  $P_t$  do solo sob PD em relação à PA e à FN, foram utilizados os valores de  $K_s$  do PD para as simulações no solo sob PA e FN e (2) quando houve diferença estatística, pelo teste de Duncan (5%), entre os valores de  $D_s$  e  $P_t$  nas profundidades avaliadas entre os sistemas agrícolas e a FN, a  $K_s$  na PA e CM foi estimada por meio da equação de Van Genuchten (1980) ajustada para o solo na área de FN em RBR e SG, respectivamente e para PA e FN por meio da equação ajustada para o solo sob o PD.

Esse procedimento consistiu em ajustar as equações de retenção e de condutividades hidráulica de Van Genuchten nas áreas onde foram obtidos os parâmetros por modelagem

inversa. Depois de ajustadas as equações, foram utilizados os valores de teor de água do solo saturado ( $\theta_s$ ), iguais à  $P_t$ , obtido na PA em RBR; na PA e CM em SG, substituindo-as na equação (2) ajustada para o solo sob FN e na PA e FN e para o solo sob PD em ML, sendo os valores de  $K_s$  considerados iguais aos valores de  $K$  para esses teores de água em cada sistema.

Para verificar a eficiência da estimativa da  $K_s$  nos sistemas agropecuários e na FN, foram selecionadas publicações (**Figura 17**) que reportaram os parâmetros da curva de retenção de água e a  $K_s$  em FN e em sistemas de cultivo agrícola. Com base nos valores reportados foi calculada a  $K_s$  por meio da equação de Van Genuchten, conforme descrito anteriormente, e os valores assim obtidos foram comparados aos reportados/medidos. Constatou-se que os valores de  $K_s$  assim obtidos pela equação de Van Genuchten foram subestimados nos sistemas de cultivo agrícola e na FN, determinando-se assim um fator de correção para a  $K_s$  (**Figura 17**). Foi verificado também que para os dois casos o fator de correção foi parecido. Portanto, os valores de  $K_s$  do solo sobre os sistemas de cultivo agropecuário correspondem ao valor obtido pela equação de Van Genuchten multiplicado pelo fator médio 2, tanto para a  $K_s$  determinada nos sistemas agropecuários como para FN.



**Figura 17.** Valores de  $K_s$  (condutividade hidráulica do solo saturado) medido e estimado em solo sob cultivos agrícolas a partir da equação de Van Genuchten ajustada para solo sob FN. fator de correção da  $K_s$ . **T1:** SILVA et al., 2005; **T2:** NETTO; FERNANDES, 2005; **T3:** RUIZ et al, 2014; **T4:** MARQUES et al., 2008); **T5:** VILLAGA et al., 1994 e **T6:** MARQUES et al., 2004. Para correção dos valores de  $K_s$  estimados, foi utilizado o fator de correção médio (Fator 2).



### 3.4. Dados meteorológicos e de cultura

Os dados meteorológicos necessários ao modelo SWAP foram obtidos de estações meteorológicas do INMET, o mais próximo possível das respectivas áreas de estudo. No entanto, encontrou-se uma carência de informações históricas de dados meteorológicos para o estado do Acre, sobretudo para os dados de radiação solar que só existiam para o município de Rio Branco para os anos de 2009 a 2012. Para contornar esse problema estimou-se a radiação para a série histórica de 1993 a 2019 para a região de Rio Branco e Cruzeiro do Sul pela equação de *Ångström-PreScott*.

A equação de *Ångström-PreScott* se baseia na insolação e contém dois coeficientes empíricos, um de interceptação (a) e um de inclinação (b):

$$\frac{H}{H_0} = \left[ a + b \left( \frac{n}{N} \right) \right] \quad (1)$$

Onde,  $H_0$  é a radiação extraterrestre diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) (Eq. 2),  $N$  é a duração máxima diária da insolação (Eq. 3). Os parâmetros a e b foram determinados através de análise de regressão linear usando o método dos mínimos quadrados ordinários relacionando os valores da razão diária  $H/H_0$  (variável dependente) versus os valores diários da razão  $n/N$  (variável independente) (WILKS, 2006).

A radiação extraterrestre diária foi calculada de acordo com Iqbal (1983) seguindo a equação:

$$H_0 = \frac{1440 \cdot E_0 \cdot G_{sc}}{\pi} (\omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega) \quad (2)$$

Onde,  $E_0$  o fator de correção de excentricidade da órbita da Terra, calculado como sugerido por Spencer (1971) (Eq. 4),  $G_{sc}$  é a constante solar ( $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ),  $\omega$  é o ângulo horário (Eq. 6),  $\varphi$  é a latitude local,  $\delta$  é a declinação solar que foi calculada de acordo com Spencer (1971) (Eq. 7).

$$N = \frac{2\omega}{15} \quad (3)$$

$$E_0 = 1,000110 + 0,034221 \cos \gamma + 0,000719 \cos 2\gamma + 0,000077 \sin 2\gamma \quad (4)$$

Onde  $\gamma$  é o ângulo do dia, calculado usando a Eq. (5):

$$\gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \quad (5)$$

Onde,  $d_n$  é o número do dia do ano

$$\omega = \cos^{-1} (-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)) \quad (6)$$

$$\delta = (0,006918 - 0,399912\cos r + 0,070257\sin r - 0,006758\cos 2r + 0,000907\sin 2r + 0,000907\sin 2r - 0,002697\cos 3r + 0,00148\sin 3r) \cdot (180/\pi) \quad (7)$$

Depois de calibrar a equação de Ångström-Prescott, o modelo foi avaliado por comparação da radiação observada na estação convencional e os valores medidos pela equação (Figura 18 e 19). O desempenho da equação de Ångström-Prescott foi avaliado usando a raiz média do erro quadrado (RMSE) e coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) (WILLMOTT, 1982; WILKS, 2006; KHORASANIZADEH; MOHAMMADI, 2013), indicando que a radiação solar foi estimada satisfatoriamente para os anos e regiões avaliadas.

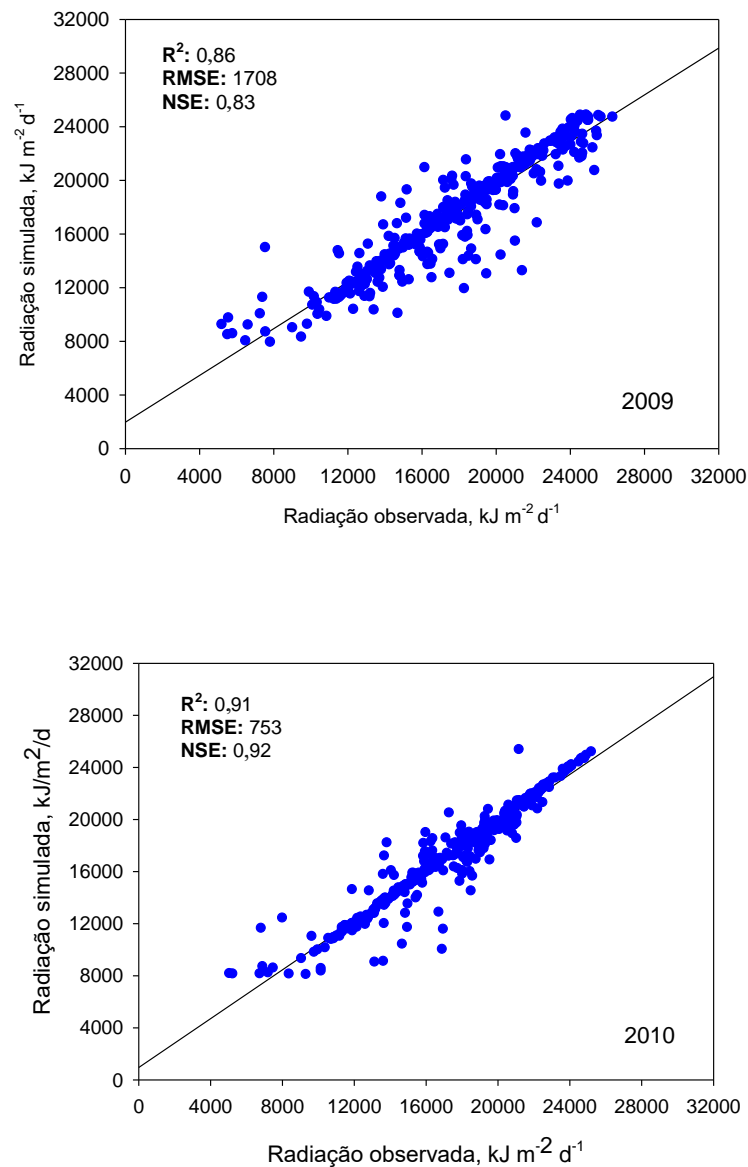
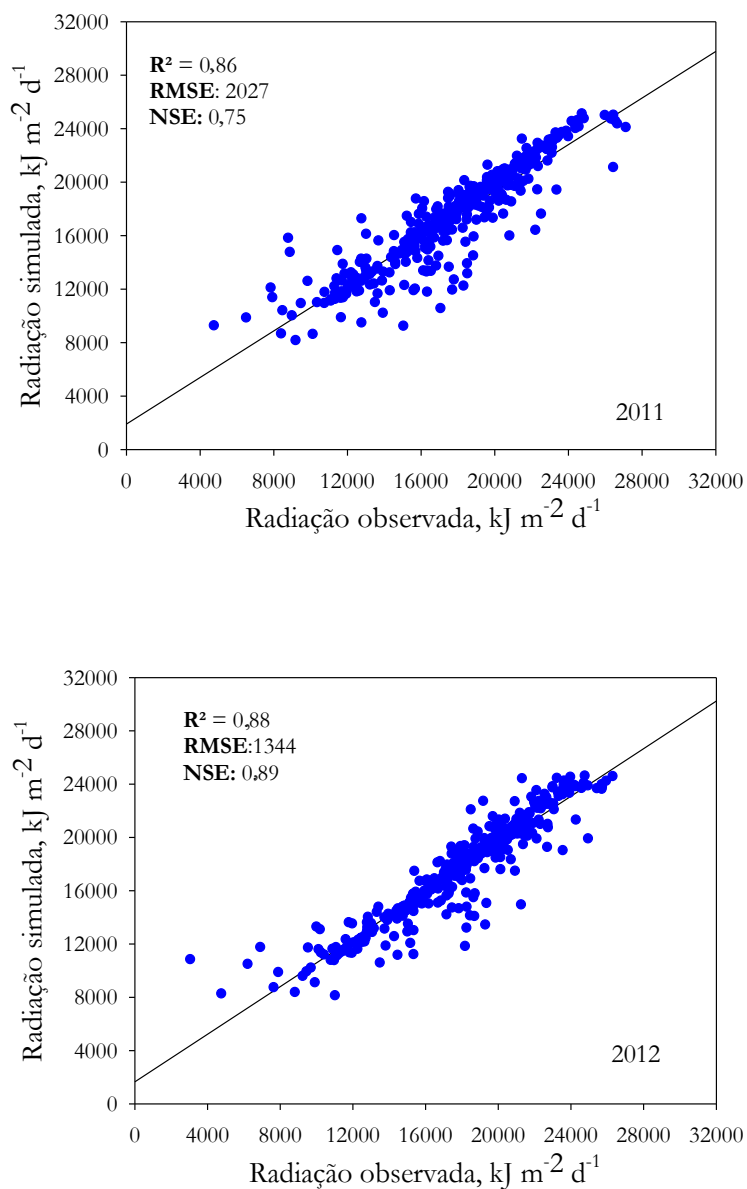


Figura 18. Radiação solar global observada e simulada para Rio Branco, AC, 2022.

Para cada cultura, foram adotados os parâmetros fenótipos, baseado nos dados disponíveis na literatura. Para os parâmetros de entrada do modelo SWAP não encontrados na literatura nacional, foram adotados os valores recomendados por Kroes et al. (2008).



**Figura 19.** Radiação solar global observada e simulada para Rio Branco, AC, 2022.

### 3.5. Simulação dos componentes do balanço hídrico

Os componentes do balanço hídrico (BH) foram simulados para o período de 1993 a 2014 (22 anos), utilizando o modelo hidrológico SWAP. Foram simuladas a precipitação efetiva, a

interceptação de água pela planta, a transpiração da planta, a evaporação do solo, o *runoff* e a drenagem profunda.

Na floresta nativa e no sistema de pastagem, o balanço hídrico foi simulado para o período de 365 dias em cada ano. Para os sistemas PC e PD, o BH foi simulado no período de 27 de setembro a 1 de fevereiro (ciclo de 128 dias) com o solo sob cultivo de milho. No período sem cultivo de milho foi considerado que o solo estava sob uso com Pastagem, completando o período de 365 dias em cada ano.

Para cada cenário foram também simulados cenários de compactação para analisar a dinâmica dos componentes do balanço hídrico com a redução e incremento da compactação do solo. Para isso, adotou-se como referência o  $\Theta_s$  medido em laboratório, reduzindo e incrementando em 1% o valor de  $\Theta_s$  até o limite de 5%, respectivamente. Quanto à  $K_s$ , a obtenção ou alteração foi feita de acordo com o que foi descrito no item materiais e métodos, ou seja, usou o valor de  $K_s$  correspondente ao valor de  $\Theta_s$  na equação de Van Genuchten (1980) e aplicou-se o valor de correção para obter o valor final.

### 3.6. Geração de cenários climáticos futuros

Para a geração dos cenários climáticos foi utilizado o protocolo descrito pelo projeto Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP). Esse protocolo é descrito por Hudson e Ruane (2015) em algoritmo em linguagem R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), que permite criar cenários futuros baseados em dados atuais e em projeções de concentrações futuras de  $\text{CO}_2$  atmosférico, os RCP's (Representative Concentration Pathways). O AgMIP utiliza dados do Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), que adota 20 modelos climáticos de circulação global, os GCMs (General Circulation Model) (HUDSON; RUANE, 2015).

As séries históricas climatológicas da precipitação; da temperatura máxima, mínima e média; da radiação; da umidade relativa e do vento foram obtidas de estações meteorológicas do INMET. Para geração dos cenários futuros são necessários dados históricos de 1980 a 2010, no entanto, a base de dados do INMET dispunha apenas de dados de 1993 a 2010. Dessa forma, foi necessário fazer ajuste na série histórica e para completar a baseline foram extraídos os dados da base de dados de Xavier et al. (2016). A explicação para isso é que os cenários utilizados pelos GCM com dados históricos desse período, portanto, é mais correto/consistente usar uma série representativa.

Dos 20 modelos GCMs, todos projetam de forma similar um aumento na temperatura. Em relação às chuvas, alguns projetam uma redução e outros um incremento. Foi elaborado um código para ler os arquivos gerados pelos 20 GCMs (31 anos cada) e comparar com o arquivo "baseline" (dados históricos). Assim, foi calculado uma variação (%), aumento ou redução, nas variáveis temperatura e precipitação. Com base nessas variações, para ML foram selecionados os modelos 13 (IPSL-CM5A-LR) e 16 (MIROC-ESM). Com isso, foi possível simular um cenário mais quente e com menos chuva (-18,69%), - GCM13; outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (5,97%) - GCM16.

Foi adotado o mesmo critério para a seleção dos modelos para RBR, assim foram selecionados os modelos 8 (MIROC5) e o modelo 15 (GFDL-ESM2G). Com isso, simulou-se um cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%), - GCM8; outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%) – GCM15.

### **3.7. Análise estatística**

Quando pertinente, os dados de densidade do solo e a porosidade total foram analisados por procedimento estatístico, em cada camada, para os componentes do balanço hídrico entre a FN e os sistemas agropecuários e para os componentes de balanço hídrico entre os cenários climáticos e regiões, o qual consistiu na análise de variância (5%): normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk (5%) e homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett (5%).

Nos casos em que houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos, foram usados os testes de Duncan (5%). Quando as variâncias não foram homogêneas, recorreu-se à transformação dos dados, usando a transformação pela raiz quadrada. Os procedimentos estatísticos foram realizados por meio do software R (2020).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Parâmetros hidráulicos

A partir da calibração os parâmetros hidráulicos do solo com o modelo SWAP usando o programa PEST, descrita no item materiais e métodos, foram obtidos os valores de  $\alpha$ ,  $n$ ,  $l$  e  $K_s$  da equação de Van Genuchten (1980) que proporcionaram a menor diferença entre os dados observados e simulados dos potenciais matriciais, juntamente aos limites do intervalo de confiança (IC) a 95% de probabilidade. A amplitude do IC para todos os parâmetros simulados de um Argissolo Amarelo, **Tabela 5**, e um Latossolo Vermelho, **Tabela 7**, foram satisfatórias. Para o Argissolo Vermelho-Amarelo, **Tabela 6**, foi observada maior amplitude nos IC, entretanto, mesmo com a maior variabilidade, os IC são satisfatórios para todos os parâmetros estimados.

**Tabela 5.** Valores estimados dos parâmetros e os respectivos intervalos de confiança para o solo sob cultivo de milho: IC-inferior e IC-Superior, ao nível de 5% de significância. Valores estimados por modelagem inversa com o programa PEST e modelo, a partir de dados de potenciais matriciais no solo observados durante o período de medição dos respectivos potenciais. Mâncio Lima, Acre, 2022.

Parâmetros	Valor inicial	Valor otimizado	IC-Limite inferior	IC-Limite superior
0 a 20 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,293	0,196	0,158	0,267
$n$	1,512	1,355	1,254	1,441
$l$	-6,23	-6,23	-7,34	-5,74
$K_s$ (cm d <sup>-1</sup> )	320	280	199	315
20 a 40 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,284	0,187	0,157	0,232
$n$	1,419	1,352	1,245	1,415
$l$	-6,0	-6,94	-7,75	-4,98
$K_s$ (cm d <sup>-1</sup> )	200	200	180	265
40 a 60 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,275	0,155	0,099	0,205
$n$	1,395	1,213	1,042	1,992
$l$	-5,95	-5,27	-6,58	-4,48
$K_s$ (cm d <sup>-1</sup> )	155	145	90	190
60 a 80 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,265	0,110	0,089	0,205
$n$	1,355	1,236	1,074	1,343
$l$	-5,38	-5,49	-6,06	-4,56
$K_s$ (cm d <sup>-1</sup> )	126	126	85	155

**Tabela 6.** Valores estimados dos parâmetros e os respectivos intervalos de confiança para o solo sob floresta: IC-inferior e IC-Superior, ao nível de 5% de significância. Valores estimados por modelagem inversa com o programa PEST e modelo SWAP, a partir de dados de potenciais matriciais no solo observados durante o período de medição dos respectivos potenciais. Rio Branco, Acre, 2022.

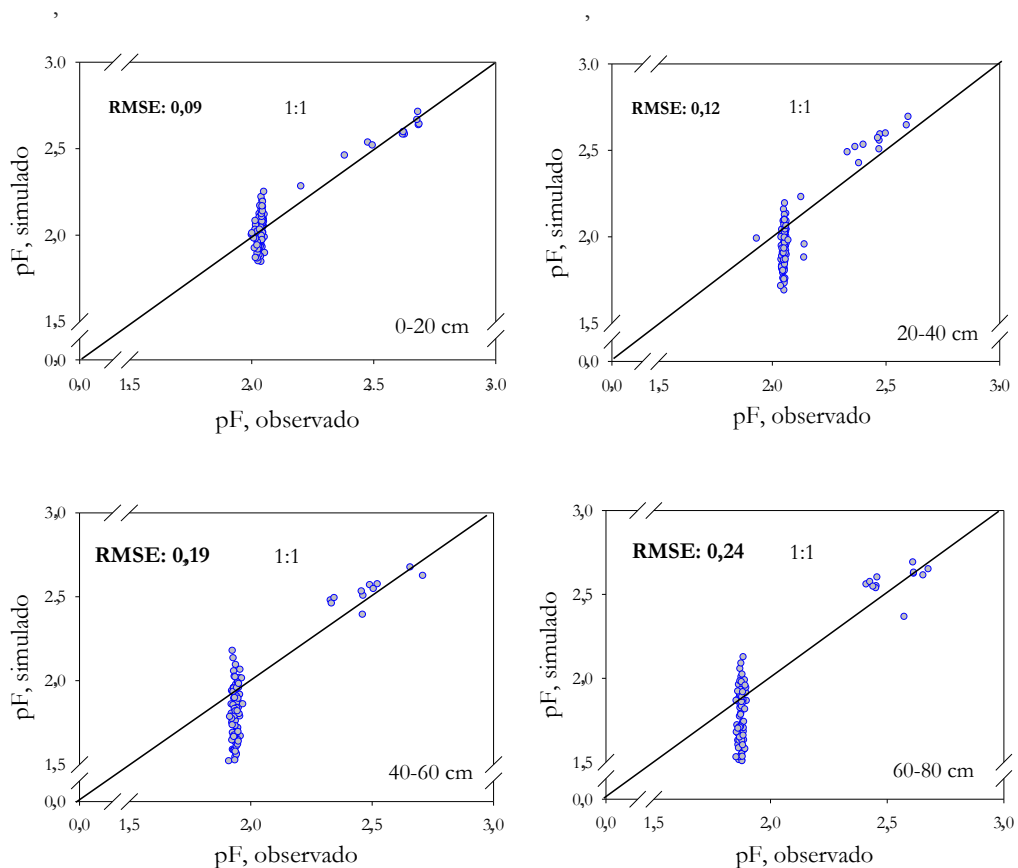
Parâmetros	Valor inicial	Valor otimizado	IC-Limite inferior	IC-Limite superior
0 a 20 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,233	0,211	0,052	0,667
n	1,412	1,332	1,054	2,041
l	-6,22	-5,44	-7,34	-3,74
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	120	100	50	180
20 a 40 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,214	0,203	0,067	0,832
n	1,219	1,345	1,045	2,295
l	-6,0	-5,26	-7,75	-3,98
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	70	60	28	95
40 a 60 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,275	0,199	0,011	0,305
n	1,395	1,342	1,042	1,992
l	-5,0	-3,08	-6,58	-2,48
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	80	73	50	105
60 a 80 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,265	0,190	0,079	0,605
n	1,315	1,261	1,014	2,343
l	-2,0	-2,36	-5,06	-1,56
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	90	77	45	110

**Tabela 7.** Valores estimados dos parâmetros e os respectivos intervalos de confiança para o solo sob floresta: IC-inferior e IC-Superior, ao nível de 5% de significância. Valores estimados por modelagem inversa com o programa PEST e modelo SWAP, a partir de dados de potenciais matriciais no solo observados durante o período de medição dos respectivos potenciais. Senador Guiomard, Acre, 2022.

Parâmetros	Valor inicial	Valor otimizado	IC-Limite inferior	IC-Limite superior
0 a 20 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,222	0,283	0,064	0,476
n	1,412	1,344	1,065	2,452
l	-6,23	-6,0	-8,04	-4,83
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	200	192	138	230
20 a 40 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,284	0,242	0,157	0,232
n	1,419	1,354	1,245	1,415
l	-6,12	-6,0	-5,75	-4,98
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	160	150	110	175
40 a 60 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,275	0,207	1,211	0,335
n	1,395	1,255	1,012	1,999
l	-5,90	-6,0	-7,08	-4,48
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	120	95	60	126
60 a 80 cm				
$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	0,265	0,190	0,089	0,245
n	1,355	1,205	1,034	1,393
l	-5,58	-6,0	-6,98	-4,56
Ks (cm d <sup>-1</sup> )	100	90	62	118

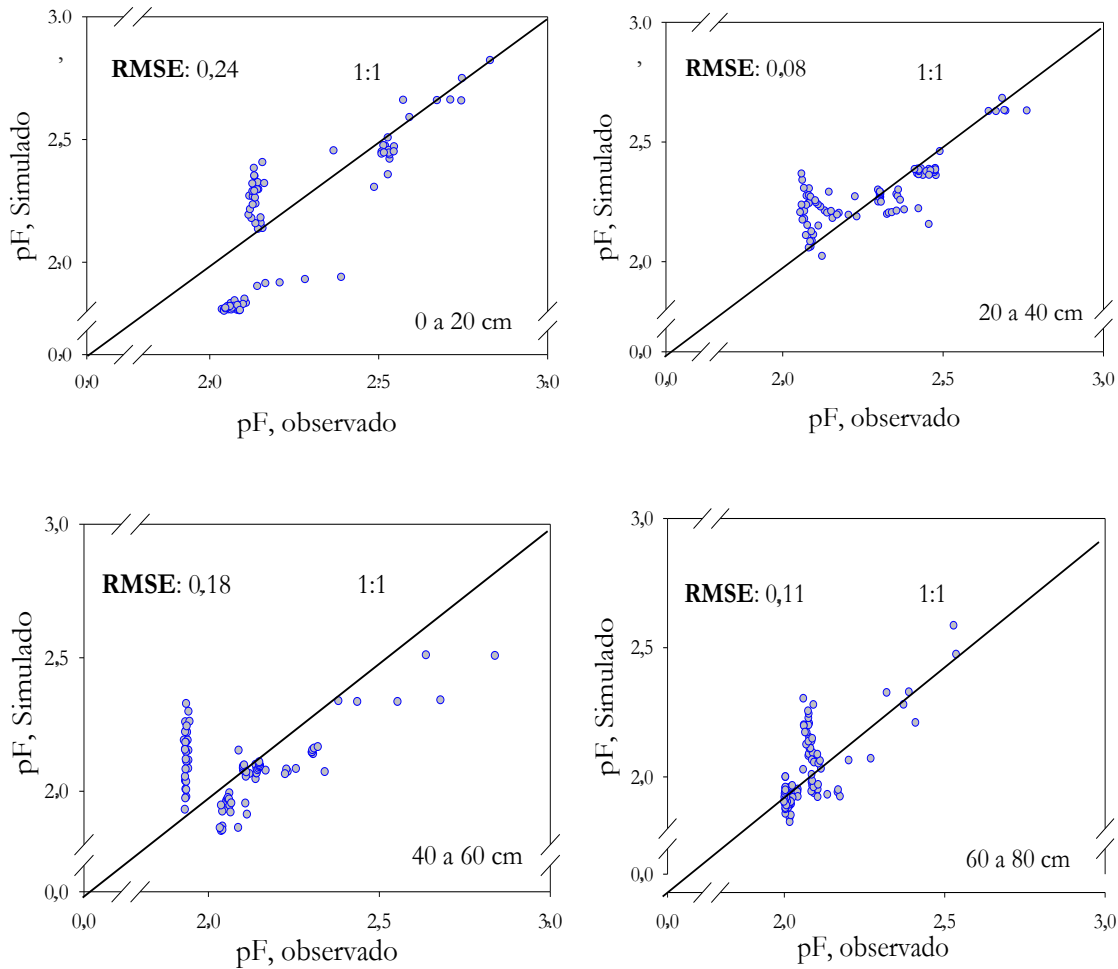
## 4.2. Validação

O modelo SWAP simulou eficientemente os valores de potenciais matriciais, ou seja, os valores simulados foram condizentes com os valores observados para o Argissolo Amarelo (ML) e o Latossolo Vermelho (SG), ambos sob FN. Contudo, para o Argissolo Amarelo houve subestimativa, pontos abaixo da reta 1:1, para profundidades de 30 cm (20 a 40 cm), 50 cm (40 a 60 cm) e 70 cm (60 a 80 cm). O melhor ajuste de calibração foi observado na profundidade de 10 cm (0 a 20 cm), com RMSE de 0,09 e os dados que menos se ajustaram foram na profundidade de 70 cm, RMSE de 0,24 (**Figura 20**). Para o Latossolo Vermelho houve subestimativa, pontos abaixo da reta 1:1, para profundidades de 10 cm e 50 cm. O melhor ajuste de calibração foi observado na profundidade de 30 cm, RMSE de 0,08 e os dados que menos se ajustaram foram na profundidade de 10 cm, RMSE de 0,24 (**Figura 21**).



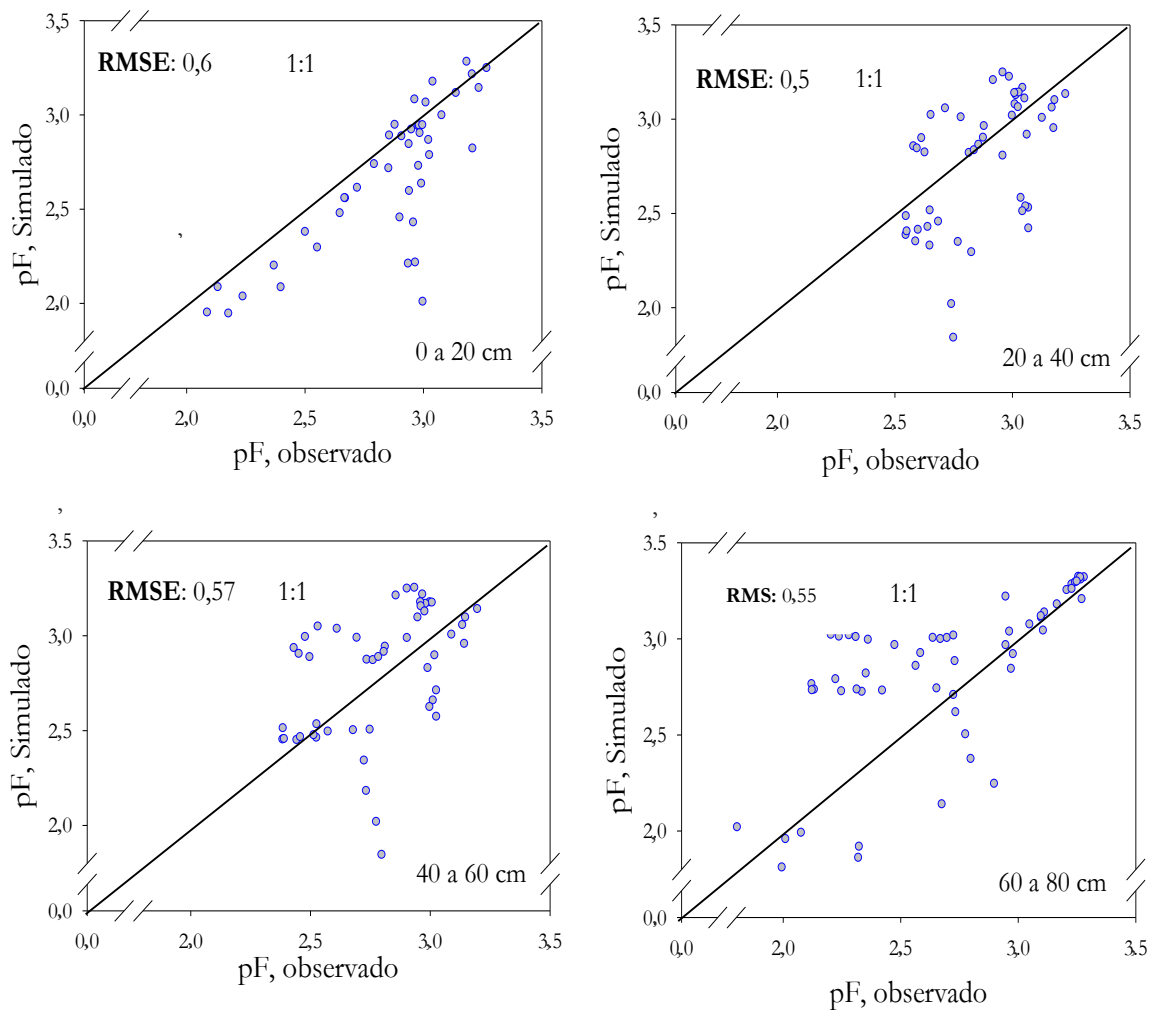
**Figura 20.** Potenciais matriciais observado e simulado, com o programa PEST e modelo SWAP, de um Argissolo Amarelo sob PD, pelo modelo SWAP. Mâncio Lima, AC, 2022.





**Figura 21.** Potencial matricial observado e simulado, com o programa PEST e modelo SWAP, de um Latossolo vermelho sob FN. Senador Guimard, AC, 2022.

Entretanto, os potenciais matriciais de um Argissolo Vermelho-Amarelo (RBR), sob FN, os valores observados versus simulados não se ajustaram tão eficientemente, mas é satisfatória a simulação com o modelo. Além disso, houve subestimativa, pontos abaixo da reta 1:1, para profundidades de 10 cm e 30 cm. Assim como, o melhor ajuste de calibração foi observado na profundidade de 30 cm, com RMSE de 0,5 e os dados que menos se ajustaram foram na profundidade de 10 cm, RMSE de 0,6 (**Figura 22**).



**Figura 22.** Potenciais matriciais observado e simulado, com o programa PEST e modelo SWAP, de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob FN. Rio Branco, AC, 2022.

### 4.3. Propriedades físicas

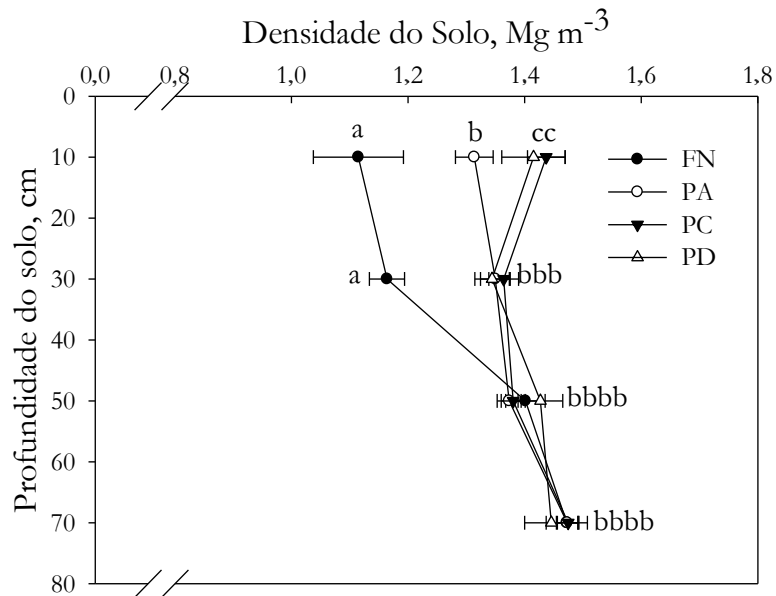
Para as três classes de solo, a densidade do solo ( $D_s$ ) e a porosidade total ( $P_t$ ), ambos determinadas em laboratório, que expressam o grau de compactação do solo, indicam que a supressão da FN para uso agropecuário compacta o solo até 30 cm e não há efeito dos sistemas de manejo nas demais profundidades.

Além disso, para o Argissolo Amarelo em área de FN a  $D_s$  é menor e  $P_t$  é maior em relação aos Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho e similar entre estes. Para os sistemas agropecuários, independente do sistema, a  $D_s$  e  $P_t$  foi menor e semelhante para os Argissolos e maior para o Latossolo Vermelho.

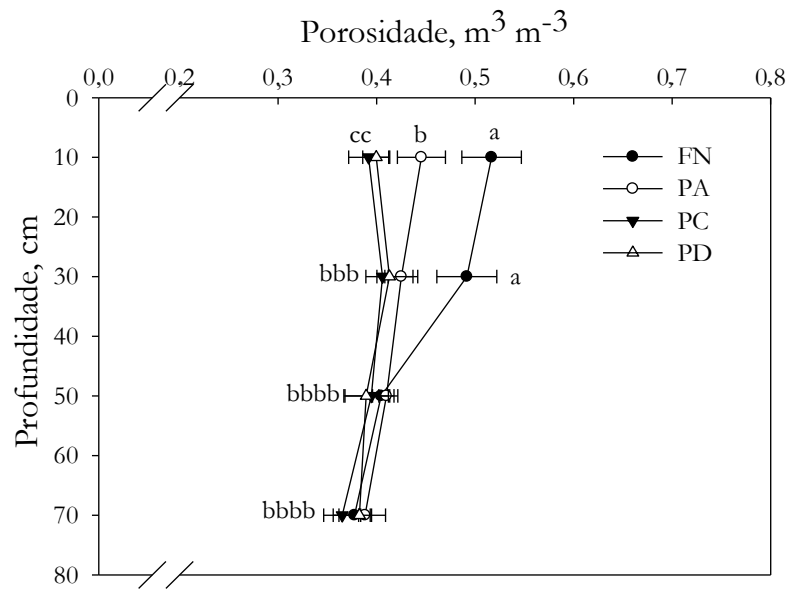
Para o Argissolo Amarelo, não houve diferença na compactação entre o PD, o PC e PA, com exceção na PA, que a compactação foi menos acentuada na profundidade de 10 cm em

relação ao PD e PC. Como o grau de compactação são similares no PC e PD, serão adotados os valores de Ds e Pt do PD para fins de comparação desses valores com a FN e a PA.

A Ds foi de 1,12 a 1,43  $\text{Mg m}^{-3}$  na FN; 1,41 a 1,43  $\text{Mg m}^{-3}$  no PD e 1,29 a 1,42  $\text{Mg m}^{-3}$  na PA, para as profundidades de 10 cm e 70 cm, respectivamente (**Figura 23**). Quanto à Pt, os valores foram de 0,51 a 0,38  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na FN; 0,39 a 0,37  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  no PD e 0,44 a 0,37  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na PA para as mesmas profundidades da Ds (**Figura 24**).

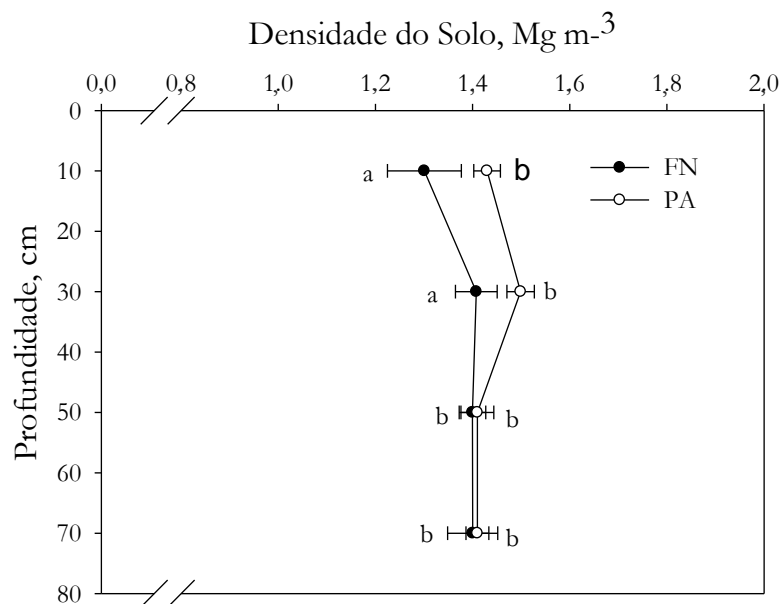


**Figura 23.** Densidade de um Argissolo Amarelo sob floresta nativa - FN, pastagem - PA, plantio convencional de milho - PC e plantio direto de milho - PD. Letras iguais na horizontal, indicam que não há diferença nos valores de Ds entre os sistemas, Scott and Knott (5%). Mâncio Lima, AC, 2022.

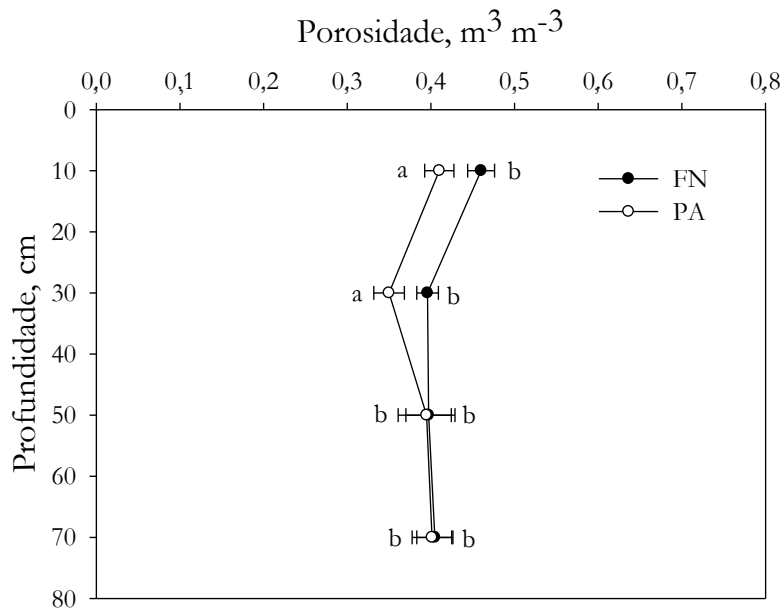


**Figura 24.** Porosidade de um Argissolo Amarelo sob floresta Nativa - FN, Pastagem - PA, plantio convencional de milho - PC e plantio direto de milho - PD. Letras iguais na horizontal, indicam que não há diferença nos valores de Ds entre os sistemas, Scott and Knott (5%). Mâncio Lima, AC, 2022.

Para o Argissolo Vermelho-Amarelo, a Ds foi de 1,29 a 1,39  $\text{Mg m}^{-3}$  na FN e 1,42 a 1,40  $\text{Mg m}^{-3}$  na PA, para profundidade de 10 cm e 70 cm, respectivamente (**Figura 25**). Quanto à Pt, os valores variaram de 0,46 a 0,39  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na FN e 0,41 a 0,38  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na PA para as mesmas profundidades da Ds (**Figura 26**).

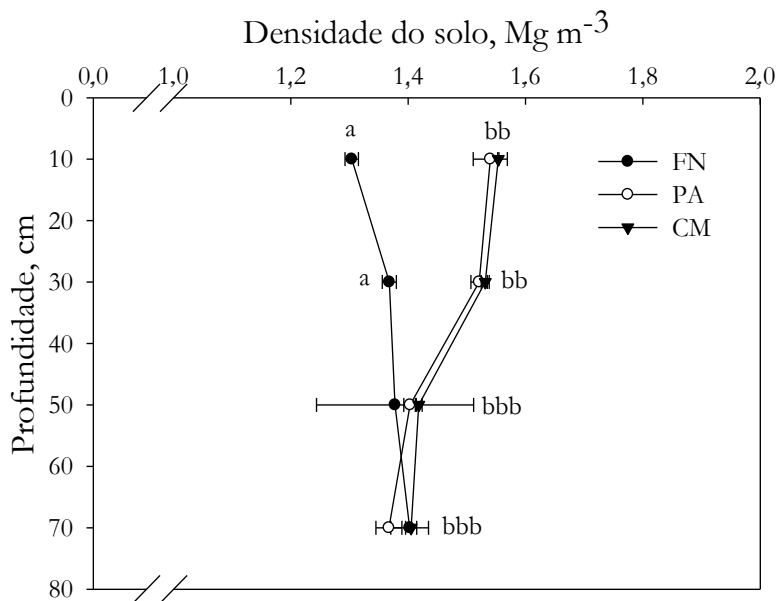


**Figura 25.** Densidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob floresta nativa - FN, Pastagem - PA. Letras iguais na horizontal, indicam que não há diferença nos valores de Ds entre os sistemas, Scott and Knott (5%). Rio Branco, AC, 2022.

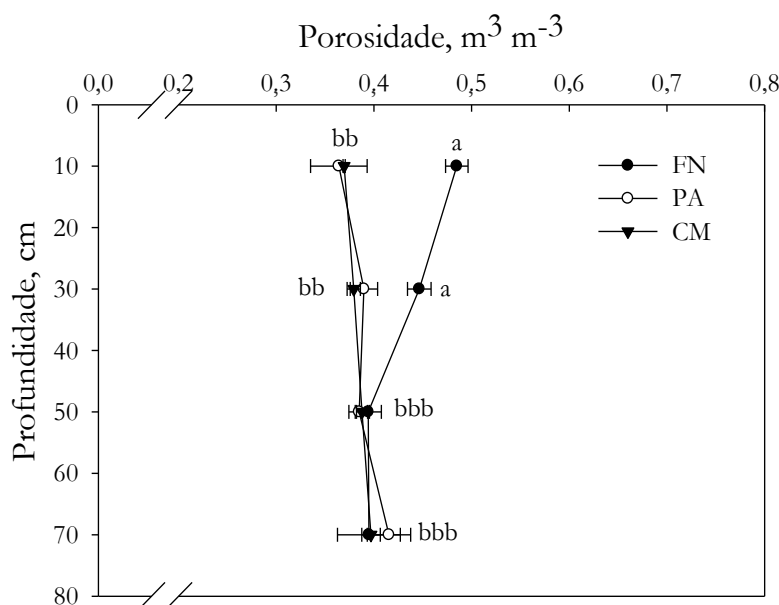


**Figura 26.** Porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob floresta nativa - FN, pastagem - PA. Letras iguais na horizontal, indicam que não há diferença nos valores de  $D_s$  entre os sistemas, Scott and Knott (5%). Rio Branco, AC, 2022.

Para o Latossolo Vermelho, a  $D_s$  foi de 1,3 a 1,4  $\text{Mg m}^{-3}$  na FN; 1,57 a 1,38  $\text{Mg m}^{-3}$  na PA e 1,57 a 1,4  $\text{Mg m}^{-3}$  no CM, para as profundidades de 10 cm e 70 cm, respectivamente (**Figura 27**). Quanto à  $P_t$ , os valores foram de 0,48 a 0,40  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na FN; 0,36 a 0,41  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na PA e 0,36 a 0,40  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  no CM, para as mesmas profundidades (**Figura 28**).



**Figura 27.** Densidade do solo sob floresta nativa -FN, pastagem - PA e cultivo de milho – CM em um Latossolo Vermelho. Letras iguais na horizontal, indicam que não há diferença nos valores de  $D_s$  entre os sistemas, Scott and Knott (5%). Senador Guiomard, AC, 2022.



**Figura 28.** Porosidade do solo sob floresta nativa -FN, pastagem - PA e cultivo de milho – CM em um Latossolo Vermelho. Letras iguais na horizontal, indicam que não há diferença nos valores de Ds entre os sistemas, Scott and Knott (5%). Senador Guiomard, AC, 2022.

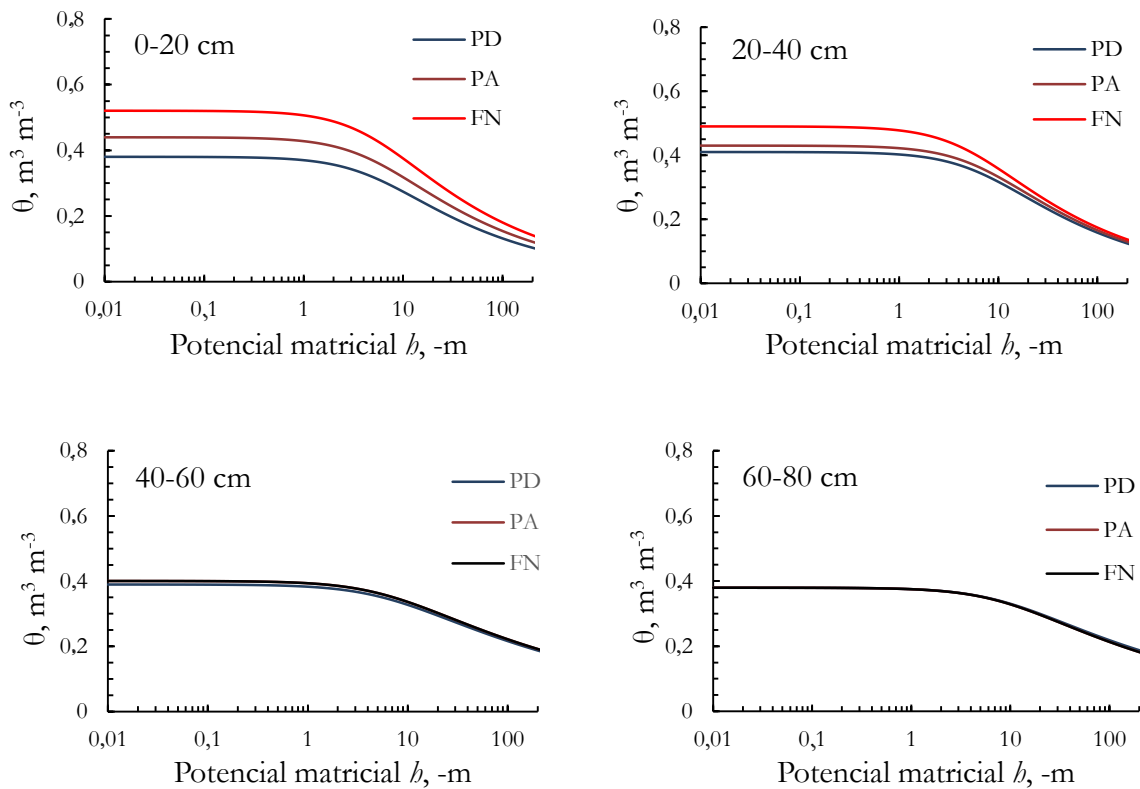
#### 4.4. Retenção de água no solo e condutividade hidráulica

A partir da obtenção dos parâmetros ( $\alpha$ ,  $n$  e  $l$ ) por modelagem inversa para o Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho sob FN, respectivamente e para o Argissolo Amarelo sob PD, foram ajustadas as curvas de retenção de água pelo modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980) para as três classes de solos; para cada sistema e profundidade. Para o Argissolo Amarelo, como não houve diferença na porosidade total e os demais parâmetros foram utilizados do solo sob PD, optou-se por elaborar a curva apenas para o PD.

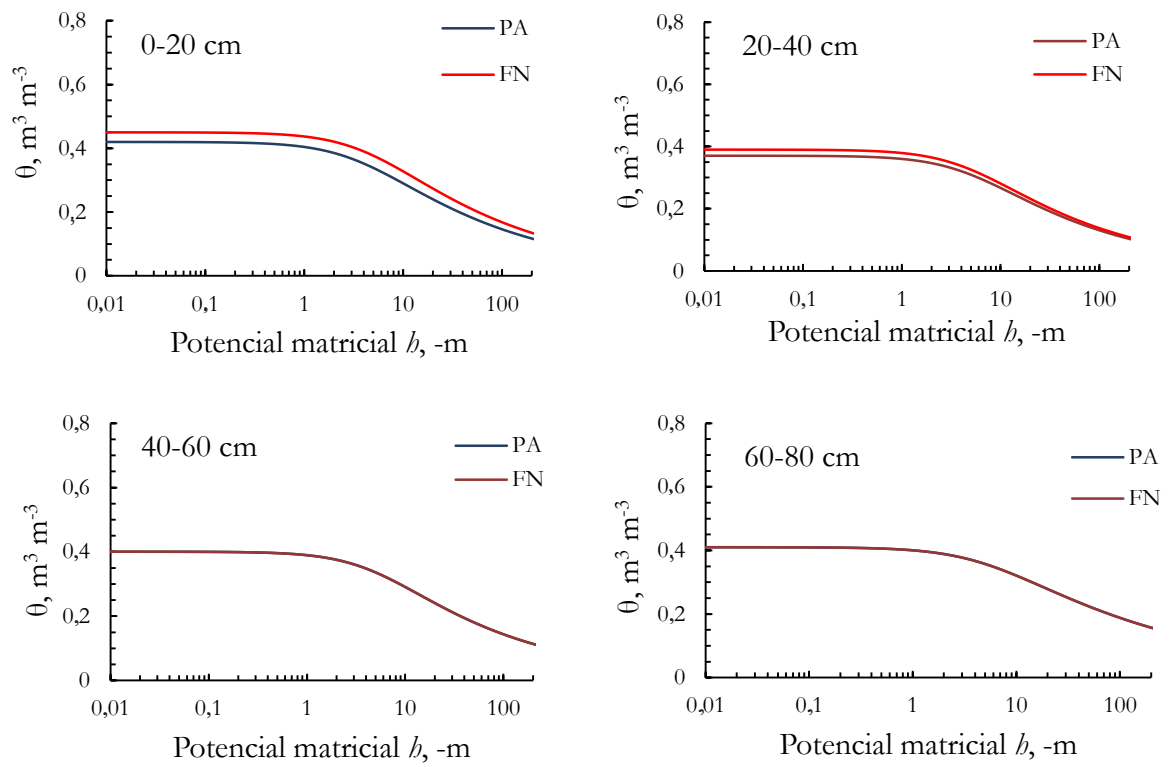
Os sistemas de uso agropecuário reduziram a retenção de água (RA), em relação à FN até a profundidade de 30 cm, sobretudo no Argissolo Amarelo e Latossolo. Na **Figura 29**, são apresentadas as curvas de retenção de água para o Argissolo Amarelo nos sistemas de uso e manejo e nas diferentes profundidades. A menor RA foi observada no PD na profundidade de 10 cm (0 a 20 cm). Na **Figura 30**, são apresentadas as curvas de retenção de água para Argissolo Vermelho-Amarelo, sendo a menor RA na PA e na **Figura 31**, são apresentadas as curvas de retenção de água para o Latossolo vermelho, onde a RA foi a mesma na PA e CM.

Os sistemas agropecuários não modificaram a capacidade de água disponível (CAD), aqui definida como o teor de água entre a capacidade de campo (-33kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500kPa). Os valores de CAD foram de 2,7 mm e 2,7 mm na FN, 2,6 mm e 2,5 mm na PA e 2,4 mm e 2,6 mm no PD para as profundidades de 10 cm e 30 cm, respectivamente é a CHD relativa média (sistema e profundidades) foi de 44% ( $\pm 4\%$ ) para Argissolo Amarelo.

Para o Argissolo Vermelho-Amarelo, a CAD foi de 2,9 mm e 2,6 mm na FN e 2,8 mm e 2,7 mm na PA para as profundidades de 10 cm e 30 cm, respectivamente, e a CAD relativa média, sistema e profundidades, foi de 48% ( $\pm 10\%$ ). Quanto ao Latossolo Vermelho, a CAD foi de 3,0 mm e 2,9 mm na FN; 3,1 mm e 2,6 mm na PA e 3,1 mm e 2,5 mm no PD para as profundidades de 10 cm e 30 cm, respectivamente, e a CAD relativa média, sistema e profundidades, foi de 56% ( $\pm 14\%$ ). A CAD foi similar para as três classes de solo, independentemente do sistema de manejo e uso do solo.

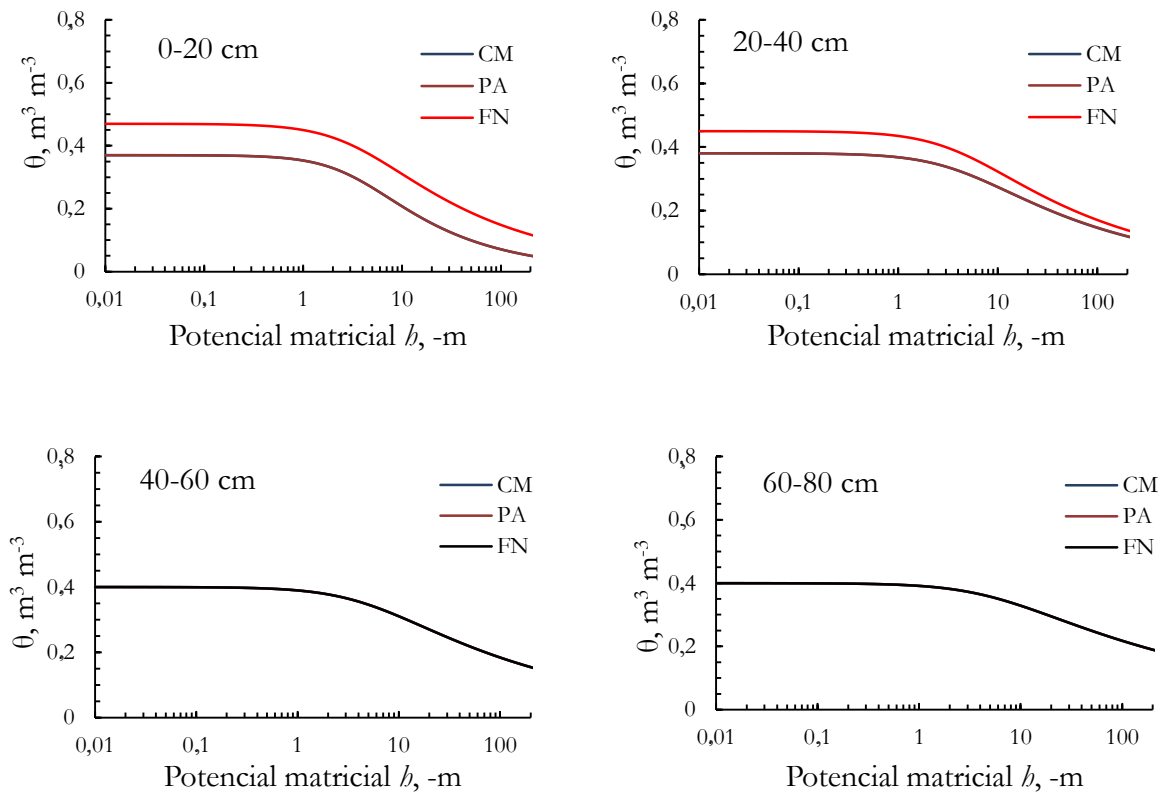


**Figura 29.** Teor de água ( $\theta$ ) em função do potencial matricial (curva de retenção) de um Argissolo Amarelo sob floresta nativa – FN, Pastagem – PA e plantio direto – PD. Mâncio Lima, AC, 2022.



**Figura 30.** Teor de água ( $\theta$ ) em função do potencial matricial (curva de retenção) em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob floresta nativa – FN, pastagem – PA. Rio Branco, AC, 2022.



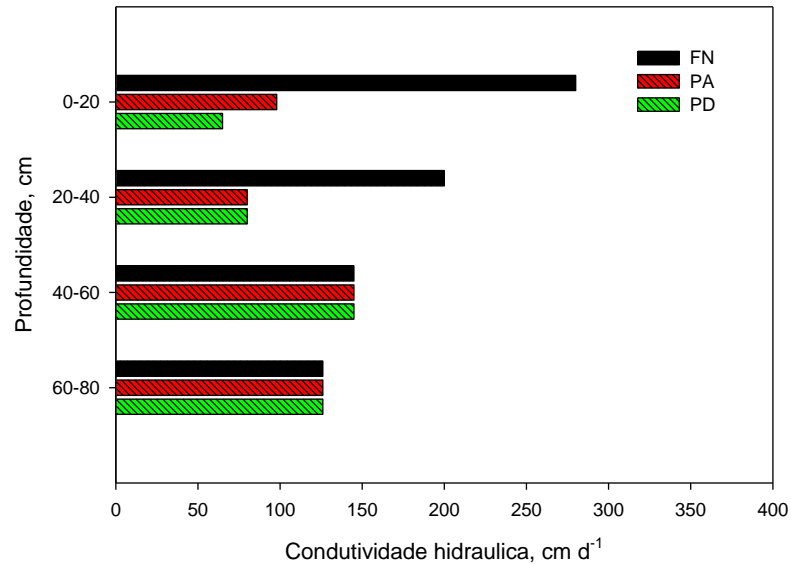


**Figura 31.** Teor de água ( $\theta$ ) em função do potencial matricial (curva de retenção) em um Latossolo Vermelho sob floresta nativa – FN, pastagem – PA e cultivo de milho – CM. Senador Guimard, AC, 2022.

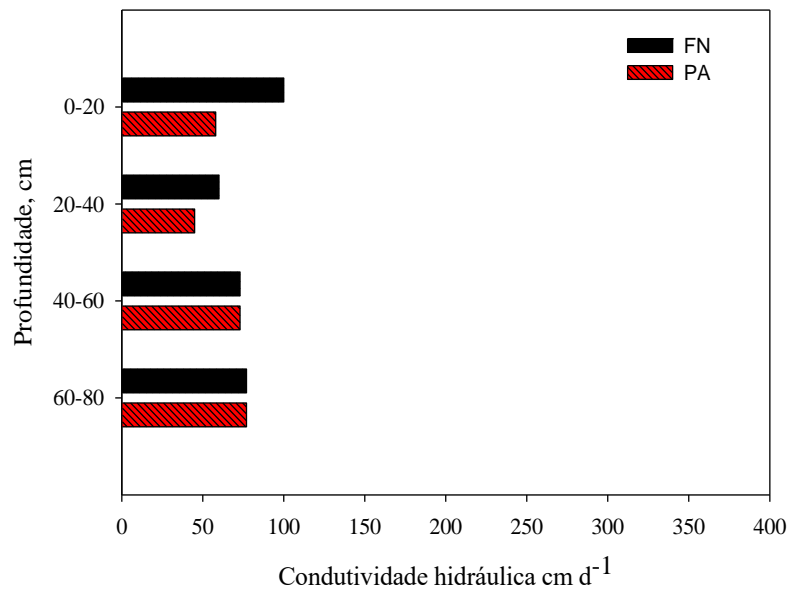
Quanto à condutividade hidráulica do solo ( $K_s$ ), estimada por modelagem inversa na FN e no PD e pela equação de Van Genuchten (1980) para os demais sistemas agropecuários, a supressão da FN para uso agropecuário reduz a  $K_s$  até 30 cm de profundidade e profundidades subsequentes, não houve efeito dos sistemas de uso e manejo na  $K_s$ . Além disso, a  $K_s$  FN é maior em superfície e reduz linearmente em profundidade e nos sistemas agropecuários é menor até a profundidade de 30 cm e aumenta com a profundidade.

No Argissolo Amarelo, os valores de  $K_s$  são menores no PD em relação à FN e PA na profundidade de 10 e 30 cm, sendo os valores de 280 e 126  $\text{cm d}^{-1}$  na FN; 68 e 126  $\text{cm d}^{-1}$  no PD e 98 e 126  $\text{cm d}^{-1}$  na PA, para as profundidades de 10 cm a 70 cm, respectivamente (**Figura 32**). Para o Argissolo Vermelho-Amarelo, a  $K_s$  foi de 100 e 77  $\text{cm d}^{-1}$  na FN; 58 e 77  $\text{cm d}^{-1}$  na PA, para as profundidades de 10 cm a 70 cm, respectivamente (**Figura 33**). Para o Latossolo Vermelho, a  $K_s$  foi de 192 e 190  $\text{cm d}^{-1}$  na FN; 48 e 90  $\text{cm d}^{-1}$  no CM e 48 e 90  $\text{cm d}^{-1}$  na PA para as profundidades de 10 cm a 70 cm, respectivamente (**Figura 34**).

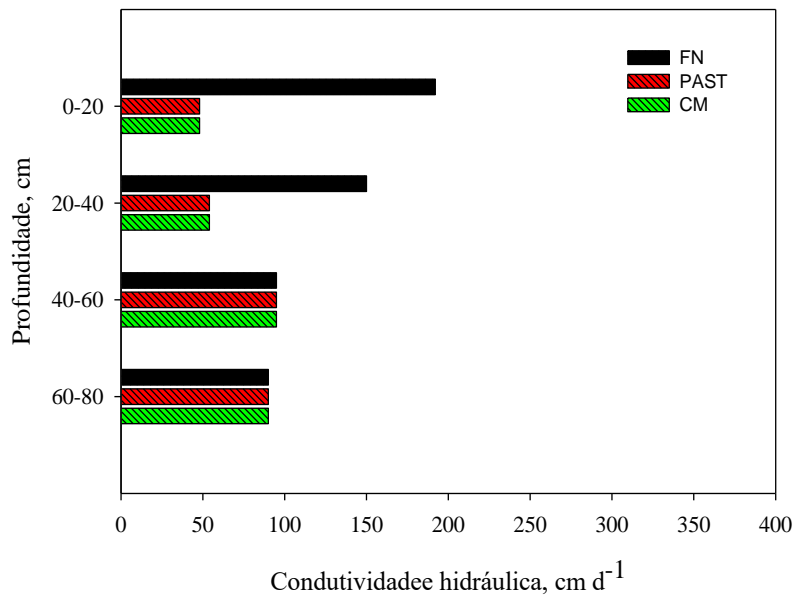
Além disso a  $K_s$  foi diferente para as três classes de solo independente dos sistemas de uso e manejo. No Argissolo Amarelo foi observada a maior  $K_s$  em todas as profundidades e a menor  $K_s$  para o Argissolo Vermelho-Amarelo.



**Figura 32.** Condutividade hidráulica ( $K_s$ ) estimada por modelagem inversa na PD e pela equação de Van Genuchten (1980) através dos valores de  $\Theta_s$  obtidos nos sistemas PA e FN. Mâncio Lima, AC, 2022.



**Figura 33.** Condutividade hidráulica ( $K_s$ ) estimada por modelagem inversa na FN e pela equação de Van Genuchten (1980) através dos valores de  $\Theta_s$  observados na PA. Rio Branco, AC, 2022.



**Figura 34.** Condutividade hidráulica ( $K_s$ ) de um Latossolo Vermelho, estimada por modelagem inversa, na FN e pela equação de Van Genuchten (1980) através dos valores de  $\Theta_s$  obtidos nos sistemas pastagem - PA e Cultivo de milho – CM. Senador Guiomard, AC, 2022.

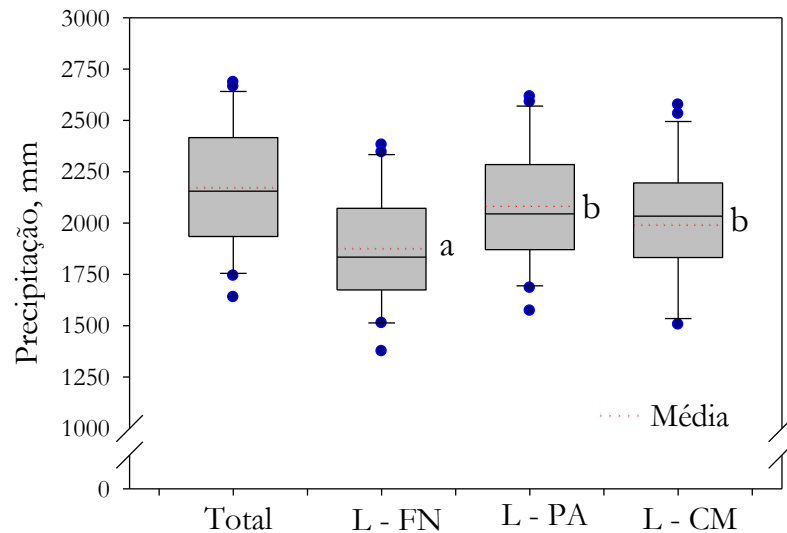
#### 4.5. Componentes do balanço hídrico e análise de sensibilidade

A partir da calibração, validação e obtenção dos parâmetros hidráulicos do solo, foram simuladas a precipitação líquida, que chega na superfície do solo, a interceptação, a evaporação, o *runoff*, e a drenagem profunda. Esses componentes apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ); níveis de confiança de 95% foram calculados e são mostrados nas figuras juntamente com os valores médios anuais da série histórica e comparação das médias pelo teste de Duncan (5%). As simulações indicam que a mudança de cobertura do solo de FN para sistemas agropecuários, em todas as localidades, modificam os valores dos componentes do balanço hídrico, sobretudo, a evaporação e o *runoff*. Além disso, foram observados valores discrepantes, *outliers*, para todos os componentes simulados nas três regiões. Além disso, é importante destacar que em ML, o sistema de plantio direto (PD) será descrito como cultivo de milho (CM), pois as simulações não levam em consideração a taxa de cobertura do solo, o que pode levar interpretações equivocadas.

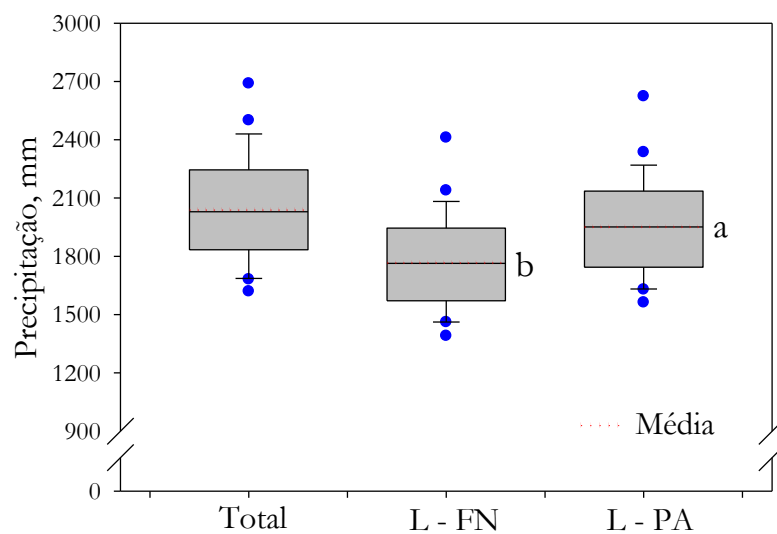
A precipitação total média para ML foi de  $2219 \pm 401$  mm (**Figura 35**) e  $2080 \pm 384$  mm para RBR e SG (**Figuras 36 e 37**). Os menores valores simulados de precipitação líquida e a menor variabilidade interanual foram observadas na área de FN com valores médios de 1877 mm e 273 mm (ML), 1678 mm e 245 mm (RBR) e 1836 mm e 245 mm (SG). Os sistemas agropecuários, em todas as regiões de estudo, apresentaram a maior precipitação líquida, contudo,

não houve diferença entre eles, mas há diferença em relação à FN independente da região de estudo. (ML - **Figura 35**, RBR - **Figura 36** e SG – **Figura 37**).

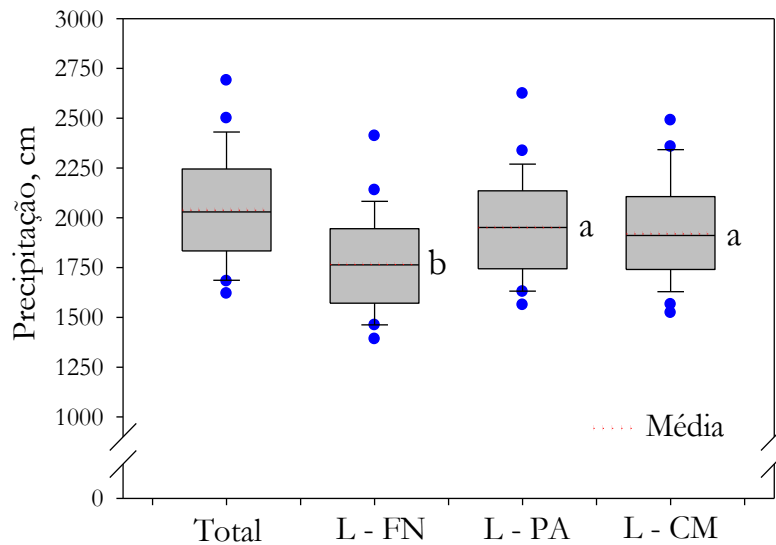
A precipitação líquida média foi maior em 11% (207 mm) na PA e 6% (116 mm) no CM em ML, 12% (219) mm na PA em RBR e 10% (185 mm) na PA e 9% (160mm) no CM em SG quando comparada à FN.



**Figura 35.** Variabilidade interanual da precipitação total anual, média de 22 anos (1993-2014) e precipitação líquida: que chega à superfície do solo, na floresta nativa – FN, pastagem – PA e cultivo de milho – CM. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Mâncio Lima, AC, 2022.



**Figura 36.** Variabilidade interanual da precipitação total anual, média de 26 anos (1993 a 2018) e precipitação líquida: que chega à superfície do solo, em floresta nativa – FN e pastagem – PA. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Rio Branco, AC, 2022.



**Figura 37.** Variabilidade interanual da precipitação total anual, média de 26 anos (1993 a 2018) e precipitação líquida: que chega à superfície do solo, na floresta nativa – FN, pastagem – PA e cultivo de milho – CM. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Senador Guiomard, AC, 2022.

A interceptação simulada de água foi sempre menor nos sistemas agropecuários nas três regiões, assim como, foi diferente entre os sistemas agropecuários em ML e SG. Na área de FN foi observada também a maior variabilidade interanual dos valores de interceptação, com valores médios de 342 mm e 23 mm (ML); 312 mm e 18 mm (RBR) e 244 mm e 72 mm (SG) para interceptação e desvio, respectivamente. Nos sistemas agropecuários foram observadas as menores variabilidades, bem como, a interceptação foi sempre menor na área de PA, com valor médio de interceptação de 135 mm (ML); 77 mm (RBR) e 59 mm (SG) (ML - **Figura 38 A**, RBR - **Figura 39 A** e SG - **Figura 40 A**). A interceptação média foi menor em 61% (207 mm) na PA e 34% (116 mm) no CM em ML, 12% (219 mm) na PA em RBR e 10% (185 mm) na PA e 9% (160mm) no CM em SG quando comparado à FN.

A maior evaporação e variabilidade interanual foi sempre maior para os sistemas agropecuários nas três regiões, assim como, não houve diferença nos valores entre os sistemas. Nas áreas de FN, o valor médio de evaporação foi de 77 mm (ML), 81 mm (RBR) e 81 (SG) (ML - **Figura 38 B**, RBR - **Figura 39 B** e SG - **Figura 40 B**). A evaporação média foi maior em 197% (152 mm) na PA e 199% (153 mm) no CM em ML, 181% (147 mm) na PA em RBR e 185% (150 mm) na PA e 180% (146mm) no CM em SG quando comparado à FN.

A evapotranspiração média anual simulada para ML (transpiração-T + evaporação-E + interceptação-I), EVAP, foi de  $1280 \pm 75$  mm na área de FN,  $1251 \pm 68$  mm na PA e  $1258 \pm 88$  mm no CM. A EVAP representa o maior componente sumidouro para a precipitação, em média 59% ( $\pm 8\%$ ) na FN, 58% ( $\pm 9\%$ ) na PA e 58% ( $\pm 9\%$ ) no CM; juntamente com a drenagem profunda

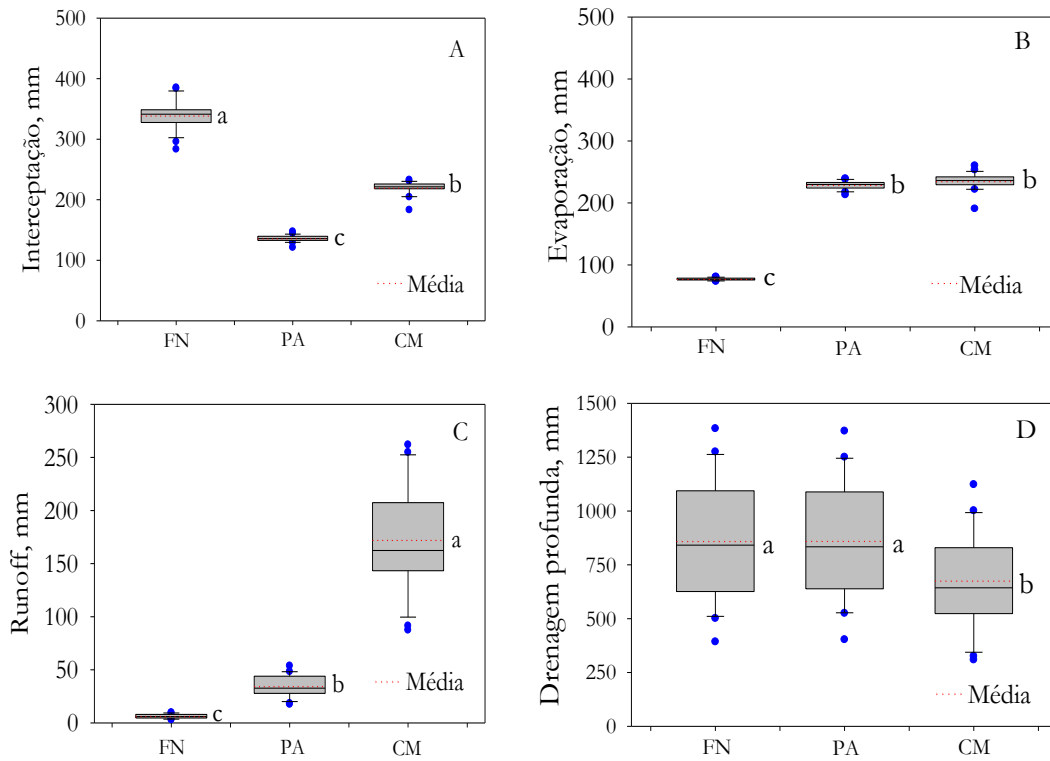
em média 38% ( $\pm 9\%$ ) na FN, 38% ( $\pm 9\%$ ) na PA e 30% ( $\pm 7\%$ ) no CM, quanto ao *runoff*, esse representou a menor contribuição, em média 0,3% ( $\pm 0,06\%$ ) na FN, 2% ( $\pm 0,3\%$ ) na PA e 8% ( $\pm 2\%$ ) no CM.

Em RBR a EVAP foi de  $1316 \pm 64$  mm na FN e  $1192 \pm 6$  mm na PA, contribuindo também com a maior quantidade de precipitação que retorna à atmosfera em média 65% ( $\pm 9\%$ ) na FN e 59% ( $\pm 9\%$ ) na PA; juntamente com a drenagem profunda em média 33% ( $\pm 7\%$ ) na FN e 38% ( $\pm 7\%$ ) na PA, quanto ao *runoff*, representou a menor contribuição, em média 0,3 % ( $\pm 0,1\%$ ) na FN, 58% e 1% ( $\pm 0,3\%$ ) no PA.

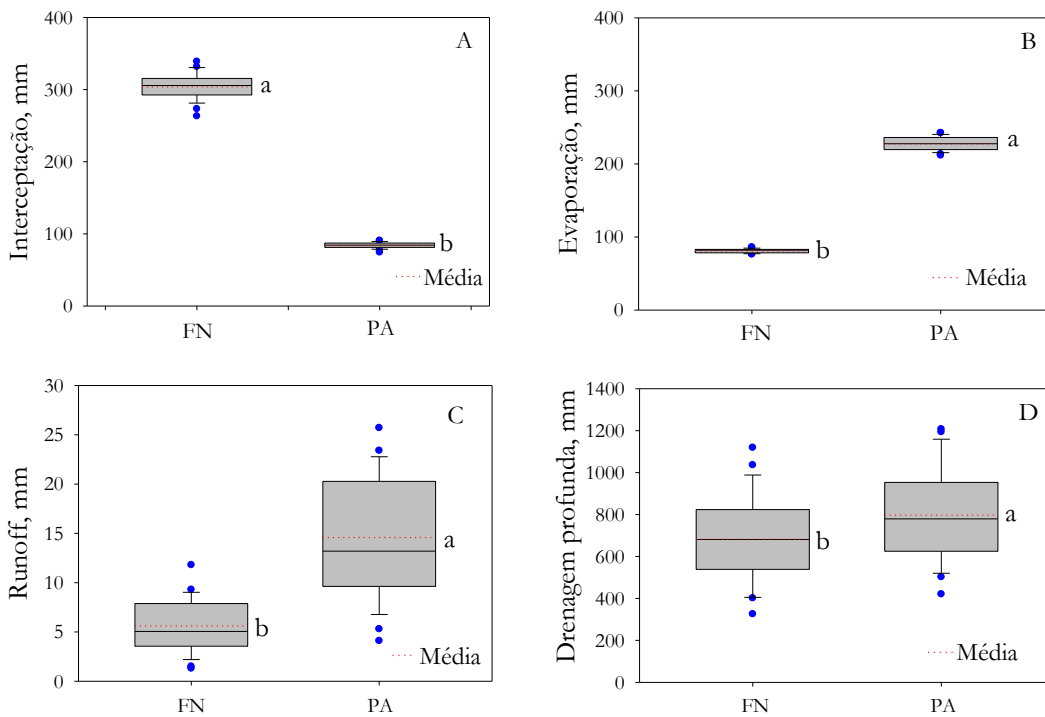
Em SG a EVAP foi de  $1311 \pm 67$  mm na FN,  $1241 \pm 59$  mm na PA e  $1181 \pm 144$  mm no CM, contribuindo também com a maior quantidade da precipitação que retorna à atmosfera em média 64% ( $\pm 10\%$ ) na FN, 61% ( $\pm 9\%$ ) na PA e 59% ( $\pm 11\%$ ) no CM; juntamente com a drenagem profunda em média 34% ( $\pm 8\%$ ) na FN, 33% ( $\pm 7\%$ ) na PA e 38% ( $\pm 12\%$ ) no CM, quanto ao *runoff*, representou a menor contribuição em média 0,4% ( $\pm 0,1\%$ ) na FN, 4% ( $\pm 1\%$ ) na PA e 3% ( $\pm 1\%$ ) no CM.

Os valores simulados de *runoff*, foram amplamente diferentes nos sistemas agropecuários em relação à FN nas três regiões e entre os próprios sistemas agropecuários. Os maiores valores simulados de *runoff* foram observados no CM com valor médio de 172 mm (ML), na PA 15 mm (RBR) e 90 mm na PA (SG). Na área de FN, os valores médios foram de 6 mm (ML), 6 mm (RBR) e 8 mm (SG) (ML – **Figura 38 C**, RBR – **Figura 39 C** e SG – **Figura 40 C**). O *runoff* médio simulado em ML foi 6 vezes maior (28 mm) na PA e 28 vezes (166 mm) no CM; 2,5 vezes maior (9 mm) na PA (RBR) e 11 vezes (82 mm) na PA e 7 vezes (52 mm) no CM (SG), quando comparado à FN, respectivamente.

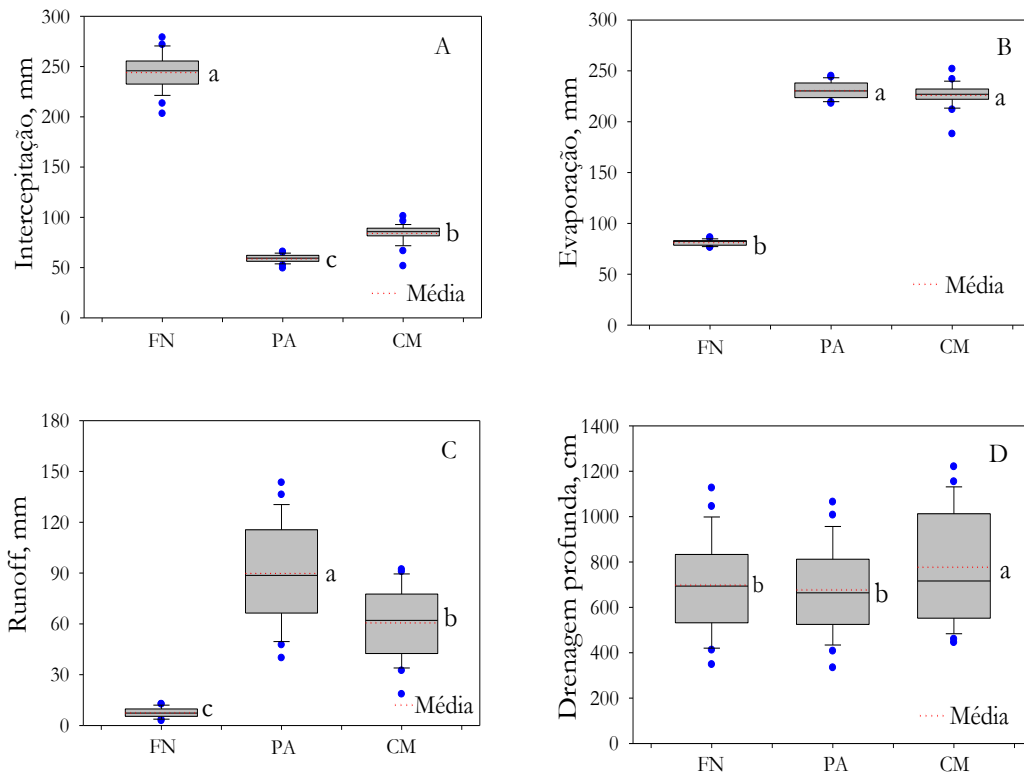
A dinâmica da drenagem profunda foi diferente nas três regiões e foi o componente que teve maior variabilidade interanual. Em ML a drenagem foi similar na FN e PA e menor no CM com valor médio de 676 mm (**Figura 38 D**); em RBR a drenagem foi maior na PA, valor médio 799 mm (**Figura 39 D**) e para SG foi maior no CM, valor médio de 761 mm (**Figura 40 D**). A drenagem profunda simulada em ML foi reduzida em 0,1% (1 mm) na PA e 21% (185 mm) no CM; aumentada em 17% (115 mm) na PA (RBR) e reduzida em 3% (22 mm) na PA e aumentada em 9% (61 mm) no CM (SG), quando comparado à FN, respectivamente. Os valores de drenagem profunda foram semelhantes nas três regiões, independentemente dos sistemas de uso.



**Figura 38.** Variabilidade interanual da interceptação (A), da evaporação (B), o *runoff* (C) e da drenagem profunda (D), em um Argissolo Amarelo sob floresta nativa – FN, pastagem – PA e cultivo de milho – CM. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Mâncio Lima, AC, 2022.



**Figura 39.** Variabilidade interanual da interceptação (A), a evaporação (B), o *runoff* (C) e da drenagem profunda (D), em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob floresta nativa – FN e pastagem – PA. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Rio Branco, AC, 2022.



**Figura 40.** Variabilidade interanual da interceptação (A), da evaporação (B), o *runoff* (C), e da drenagem profunda (D), em um Latossolo Vermelho sob floresta nativa – FN e pastagem – PA. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Senador Guiomard, AC, 2022.

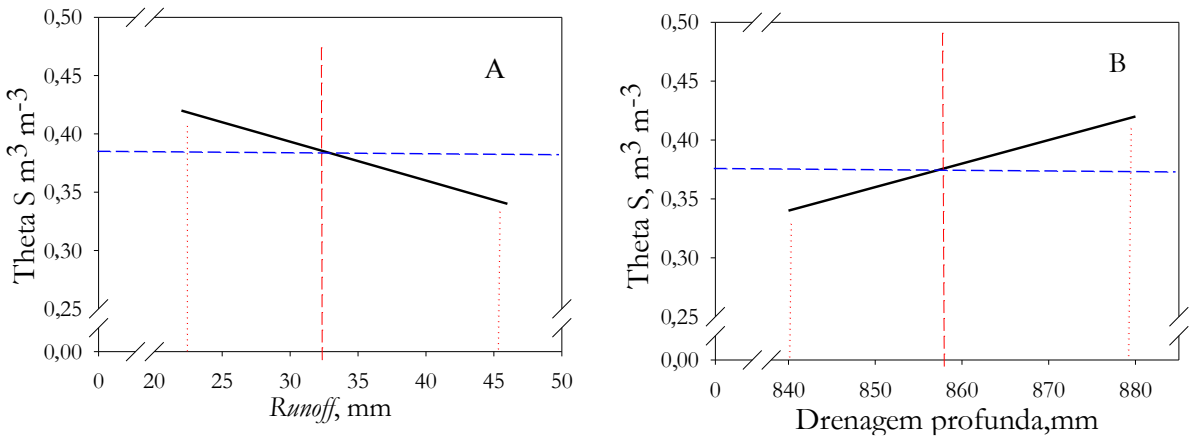
A análise de sensibilidade, que consistiu em incrementar e reduzir em 4% a porosidade total do solo através da alteração dos valores de  $\theta_s$  para as profundidades de 10 cm e 30 cm, indicou que a redução nos valores de  $\theta_s$  de  $0,37$  e  $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para  $0,33$  e  $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , aumentou o valor simulado de *runoff* de 34 mm para 46 mm, incremento de 42% e a drenagem profunda de 860 mm para 840 mm, redução de 2% em ML (**Figura 41 A**). Além disso, ao incrementar os valores de  $\theta_s$  na mesma condição, foi observada a mesma proporção de 42% e 2%, contudo, essas taxas representam a redução do *runoff* e incremento na drenagem profunda, respectivamente (**Figura 41 B**).

Em RBR, a redução do  $\theta_s$  de  $0,39$  e  $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para  $0,35$  e  $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  aumentou o valor simulados de *runoff* de 15 mm para 27 mm, incremento de 80% e a drenagem profunda de 799 mm para 787 mm, redução de 2% (**Figura 42 A**). Ao incrementar os valores de  $\theta_s$  na mesma condição, foi observada a mesma proporção de 80% e 2%, contudo, essas taxas representam a redução nos valores de *runoff* e incremento da drenagem profunda, respectivamente (**Figura 42 B**).

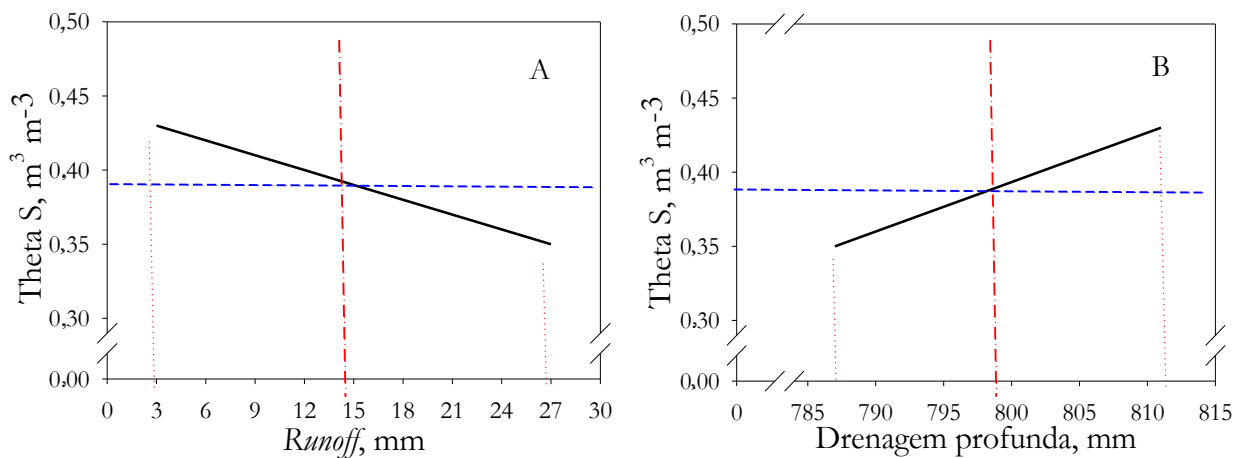
Para SG, reduzir o  $\theta_s$  de  $0,36$  e  $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para  $0,32$  e  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  aumentou o valor simulados de *runoff* de 90 mm para 110 mm, incremento de 22% e a drenagem profunda de 678



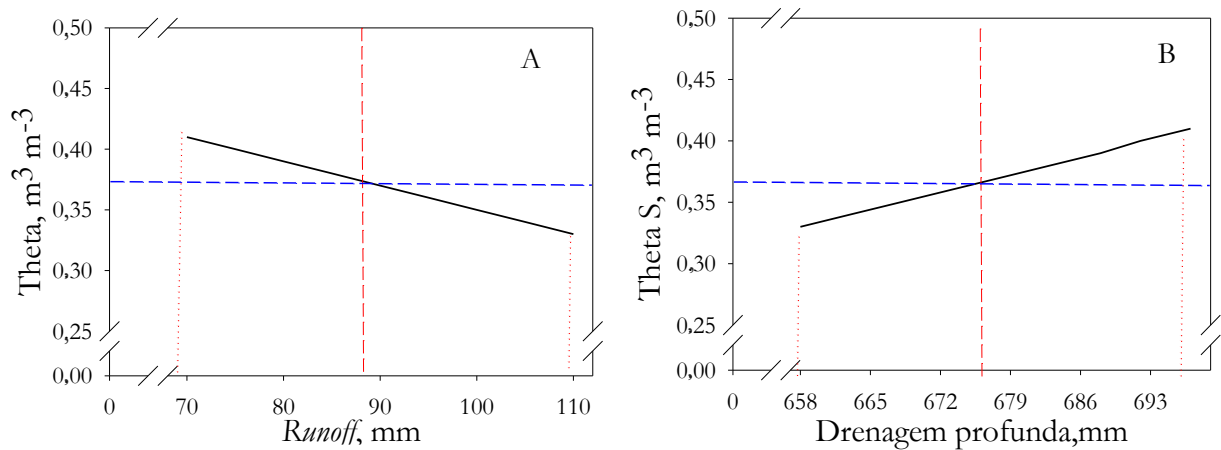
mm para 658 mm, redução de 3% (**Figura 43 A**). Ao incrementar os valores de  $\theta_s$  na mesma condição, foi observada a mesma proporção de 22% e 3%, contudo, essas taxas representam a redução nos valores de *runoff* e incremento da drenagem profunda, respectivamente (**Figura 43 B**).



**Figura 41.** Análise de sensibilidade do *runoff* (A) e da drenagem profunda (B) à variação de 4% na compactação do solo, expressa pelo ( $\text{Theta S} = \theta_s$ ). Mâncio Lima, AC, 2022.



**Figura 42.** Análise de sensibilidade do *runoff* (A) e da drenagem profunda (B) à variação de 4% na compactação do solo, expressa pelo ( $\text{Theta S} = \theta_s$ ). Rio Branco, AC, 2022.

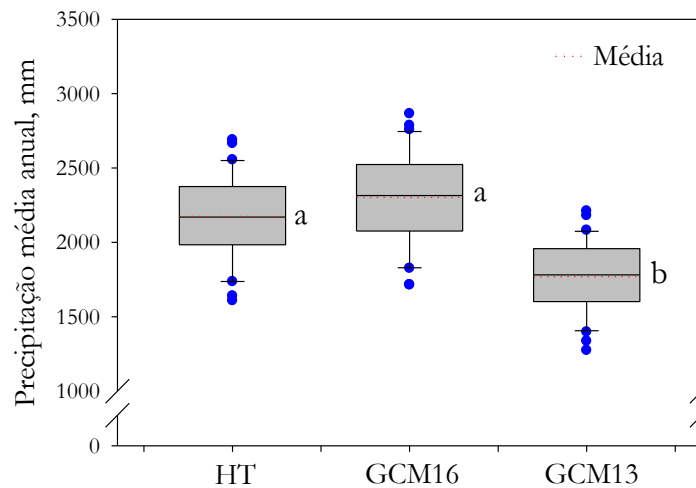


**Figura 43.** Análise de sensibilidade do runoff (A) e da drenagem profunda (B) à variação de 4% na compactação do solo, expressa pelo ( $\Theta S = \theta_s$ ). Senador Guiomard, AC, 2022.

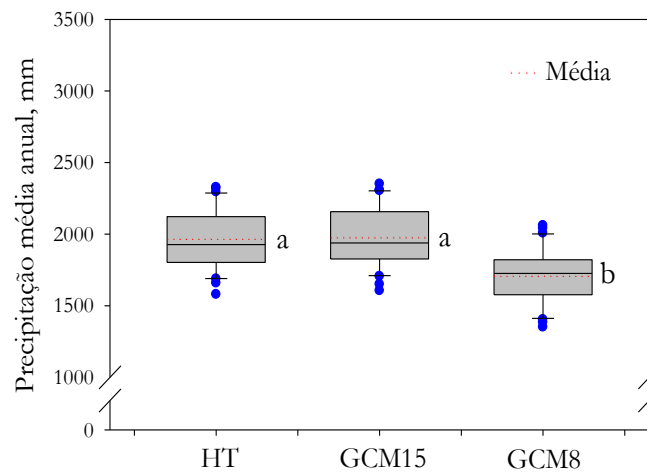
#### 4.6. Cenários climáticos futuros e componentes do balanço hídrico

A interceptação simulada, a transpiração, a evaporação, o *runoff* e a drenagem profunda apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ). Os valores médios anuais e a comparação das médias pelo teste de Duncan (5%) são mostrados nas figuras. As simulações indicaram que os cenários climáticos modificaram alguns componentes do balanço hídrico, aumentando ou diminuindo os valores, especialmente os modelos mais pessimistas: GCM13 e GCM8, que representaram um cenário mais quente e com menor volume de chuva.

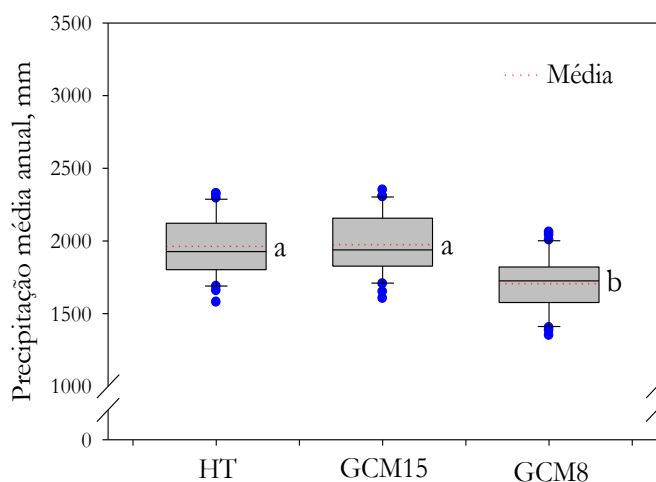
Os modelos menos pessimistas, mais quente e com um leve incremento na precipitação, GCM 16 (5,97%) simulado para ML e GCM15 para RBR e SG (0,85%) no período de 2040-2069 aumentaram a precipitação média anual, contudo os valores foram similares à série histórica de 1980-2010. Entretanto, os modelos mais pessimistas, cenário mais quente e com menos chuva, GCM 13 (-18,69%) simulado para ML e GCM8 (-13,10%) para RBR e SG reduziram consideravelmente a precipitação média anual em relação à série histórica e ao cenário GCM16 e GCM 15 (**Figuras 44, 45 e 46**).



**Figura 44.** Variabilidade interanual da precipitação média anual associado à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-18,69%) - GCM13 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (5,97%) - GCM16, ambos os modelos simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). **Mâncio Lima**, AC, 2022.



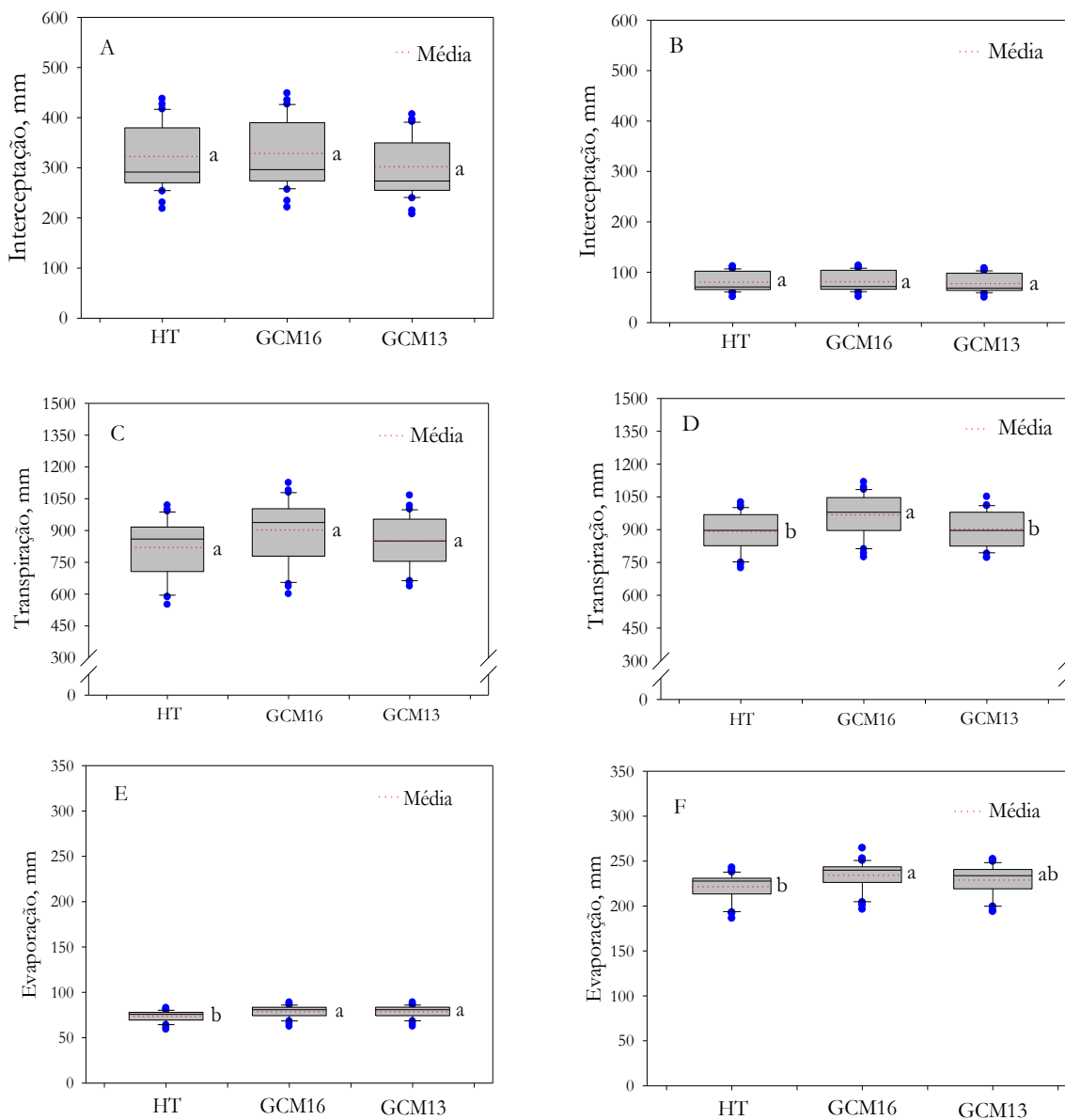
**Figura 45.** Variabilidade interanual da precipitação média anual associado à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%) - GCM8 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%) - GCM15 ambos os modelos simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). **Rio Branco**, AC, 2022.



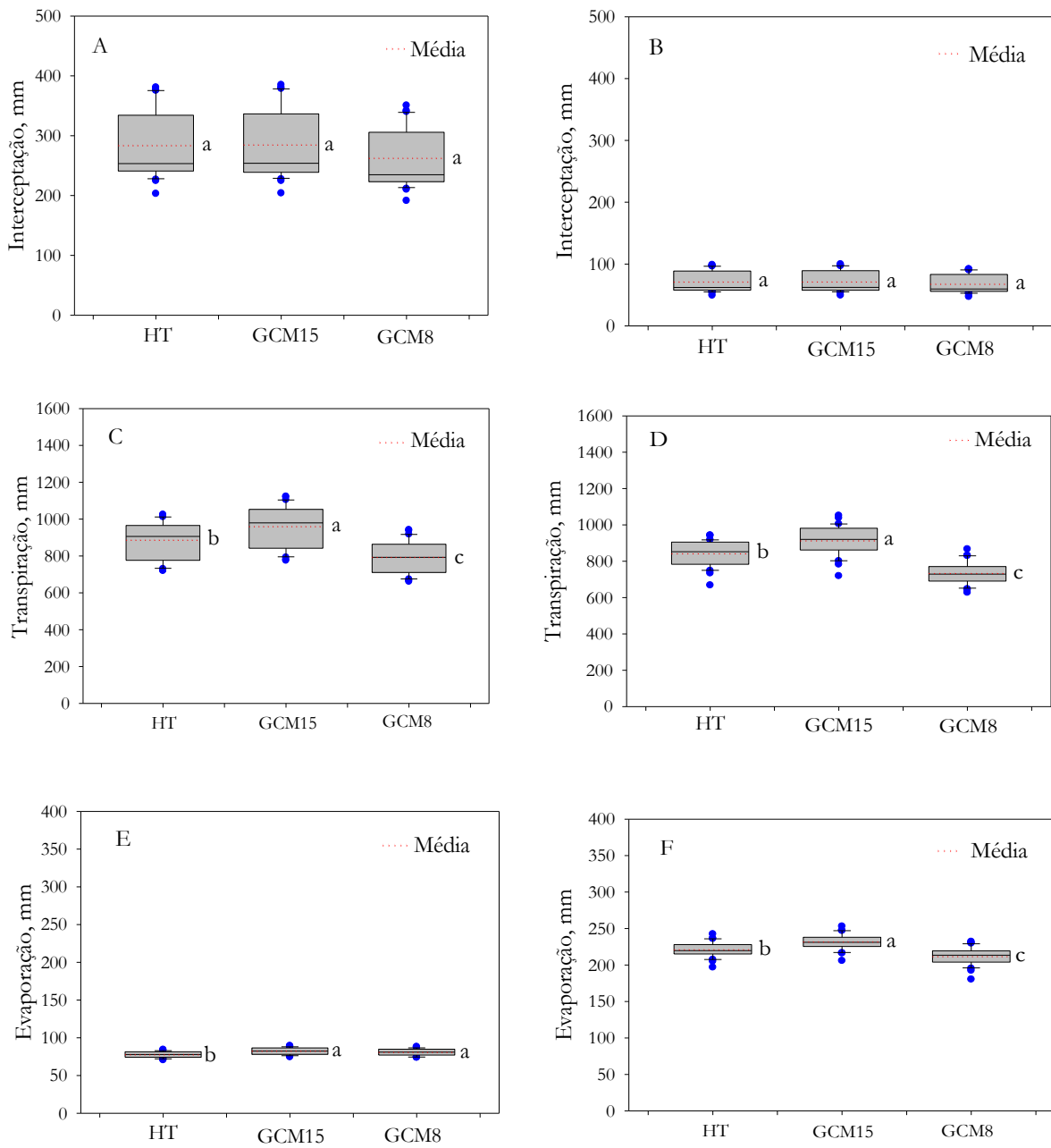
**Figura 46.** Variabilidade interanual da precipitação média anual associado à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%), - GCM8 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%) - GCM15 ambos os modelos simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). **Senador Guiomard, AC, 2022.**

Os cenários climáticos, simulados para o período de 2040-2069, não modificaram os valores de interceptação em relação à série histórica (HT) na FN e PA nas três regiões de estudo (**Figuras 47 A e B; 48 A e B; 49 A e B**, respectivamente), assim como não houve diferença entre os cenários. Para a transpiração média simulada, não houve diferença entre a HT e os modelos GCM16 e GCM13 na área de FN (**Figura 47 C**), entretanto, na PA a transpiração média foi maior para o cenário GCM16 em relação à HT e o cenário GCM13 (**Figura 47 D**) em ML. Para RBR e SG, a transpiração foi diferente entre a HT e os cenários GCM16 e GCM13, assim como entre os modelos, tanto na área de FN, como na PA (**Figuras 48 C e D; 49 C e D**), a maior transpiração média foi simulada proporcionada pelos cenários GCM16 e GCM15 e a menor transpiração para o GCM13 e GCM8 na FN e PA, respectivamente.

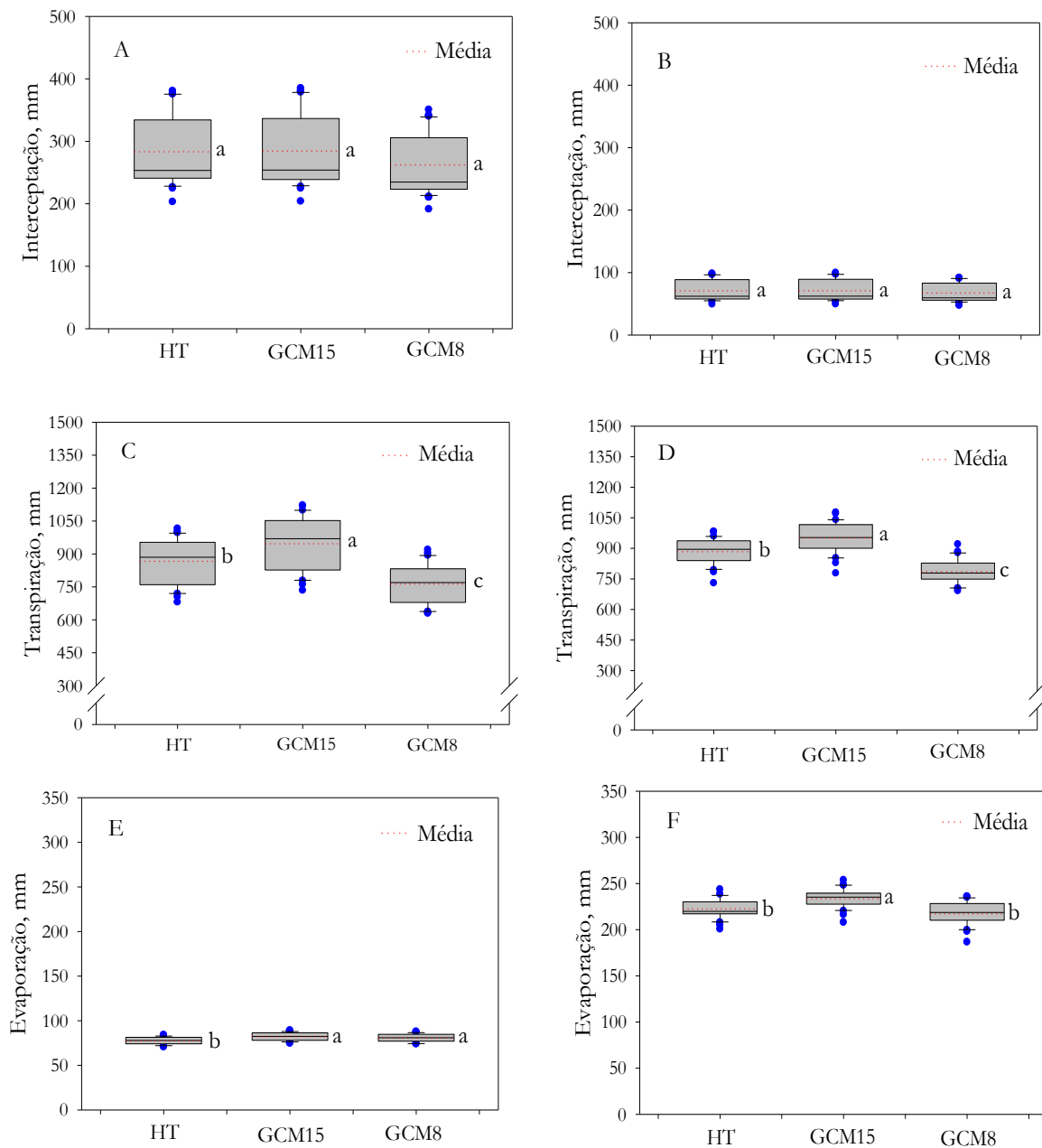
A evaporação simulada foi maior, quando simulada pelos modelos, nas três regiões de estudo (**Figuras 47 E; 48 E; 49 E**, respectivamente) em relação à HT na área de FN, contudo, os valores foram similares entre os modelos. Na PA, a evaporação foi maior apenas para o GCM16 em ML em relação à HT, não houve diferenças entre os modelos; para RBR a evaporação foi diferente entre a HT e cenários GCM16 e GCM13, assim como, entre os modelos e em SG apenas o modelo GCM15 aumentou significativamente a taxa de evaporação em relação à HT e o GCM8.



**Figura 47.** Variabilidade interanual da interceptação, da transpiração e da evaporação em FN (A, C, E) e PA (B, D, F), associada à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-18,69%) - GCM13 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (5,97%) - GCM16, ambos modelos simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Mâncio Lima, AC, 2022.



**Figura 48.** Variabilidade interanual da interceptação, da transpiração e da evaporação em FN (A, C, E) e PA (B, D, F), associada à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%), - GCM8 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%) - GCM15, ambos modelos simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Rio Branco, AC, 2022.



**Figura 49.** Variabilidade interanual da interceptação, da transpiração e da evaporação em FN (A, C, E) e PA (B, D, F), associada à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%), - GCM8 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%) - GCM15, ambos modelos simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Senador Guiomard, AC, 2022.

A evapotranspiração média anual (transpiração-T + evaporação-E + interceptação-I), EVAP, simulada na FN para o cenário GCM16 e o GCM13 no período de 2040-2069 foram de  $903 \pm 146$  mm,  $79 \pm 6$  mm,  $329 \pm 68$  mm e  $852 \pm 118$  mm,  $79 \pm 6$  mm,  $303 \pm 60$  mm, respectivamente, simulados para ML. Portanto, para obter um balanço hídrico anual positivo, a precipitação anual nesse período deve ser superior a  $1132 \pm 107$  mm quando simulado para o cenário GCM16 e  $1234 \pm 92$  mm para o GCM13. A quantidade de precipitação que retorna à atmosfera como

EVAP, (através de T, E e I) para todo o período simulado no local estudado foi, em média, 58% ( $\pm 8,7\%$ ) para o cenário GCM16 e 71% ( $\pm 9\%$ ) para o GCM13, o que é 8% e 1% maior do que os valores simulados no período 1980–2010 para o mesmo local, respectivamente. Para a PA, a EVAP simulada para o mesmo período foram de  $969\pm 94$  mm,  $235\pm 16$  mm,  $82\pm 19$  mm (GCM16) e  $904\pm 80$  mm,  $229\pm 16$  mm,  $78\pm 18$  mm (GCM13). Portanto, para obter um balanço hídrico anual positivo, a precipitação anual nesse período deve ser superior a  $1285\pm 98$  mm quando simulado o GCM16 e  $1211\pm 85$  mm e o GCM13. A quantidade de precipitação que retorna à atmosfera como EVAP, (através de T, E e I) para todo o período simulado no local estudado foi, em média, 57% ( $\pm 8\%$ ) para o GCM16 e 69% ( $\pm 8\%$ ) para o GCM13, o que é 7% maior e 1% menor do que os valores simulados no período 1980–2010, respectivamente.

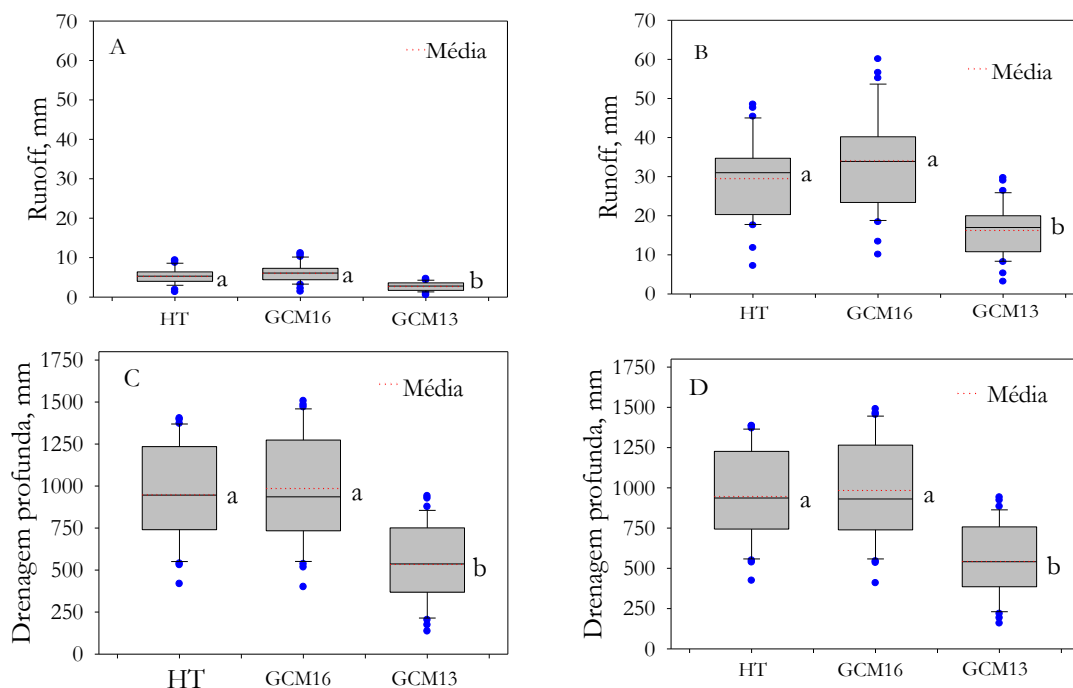
Em RBR, a EVAP para os cenários GCM15 e o GCM8 no mesmo período foram de  $961\pm 112$  mm,  $82\pm 4$  mm,  $265\pm 60$  mm (GCM15) e  $794\pm 82$  mm,  $81\pm 4$  mm,  $263\pm 47$  mm (GCM8) para área de FN. Portanto, para obter um balanço hídrico anual positivo, a precipitação anual nesse período deve ser superior a  $1328\pm 80$  mm quando simulado para o GCM15 e  $1137\pm 61$  mm para o GCM8. A quantidade de precipitação que retorna à atmosfera como EVAP, para todo o período simulado no local estudado foi, em média, 68% ( $\pm 8\%$ ) para o GCM15 e 67% ( $\pm 8\%$ ) para o GCM8, o que é 5% maior e 9% menor do que os valores simulados no período 1980–2010 para o mesmo local, respectivamente. Na área de PA, a EVAP simulada para o mesmo período foi de  $914\pm 78$  mm,  $71\pm 16$  mm,  $232\pm 11$  mm e  $734\pm 58$  mm,  $68\pm 14$  mm,  $212\pm 12$  mm, respectivamente. Portanto, para obter um balanço hídrico anual positivo, a precipitação anual nesse período deve ser superior a  $1217\pm 82$  mm quando simulado para o cenário GCM15 e  $1014\pm 62$  mm para o GCM8. A quantidade de precipitação que retorna à atmosfera como EVAP, para todo o período simulado no local estudado foi, em média, 62% ( $\pm 7\%$ ) para o cenário GCM15 e 60% ( $\pm 7\%$ ) para o GCM8, o que é 7% maior e 10% menor do que os valores simulados no período 1980–2010, respectivamente.

Em SG, a EVAP simulada no mesmo período foi de  $948\pm 119$ ,  $83\pm 4$  mm,  $285\pm 56$  mm (GCM15) e  $764\pm 87$  mm,  $81\pm 4$  mm,  $263\pm 48$  mm (GCM8) na área de FN. Portanto, para obter um balanço hídrico anual positivo, a precipitação anual nesse período deve ser superior a  $1132\pm 107$  mm quando simulado para o GCM15 e  $1234\pm 92$  mm para o GCM8. A quantidade de precipitação que retorna à atmosfera como EVAP, para todo o período simulado no local estudado foi em média 67% ( $\pm 8\%$ ) para o GCM15 e 66% ( $\pm 8\%$ ) para o GCM8, o que é 7% maior e 10% menor do que os valores simulados no período 1980–2010, respectivamente. Para a área de PA, a EVAP simulada para o mesmo período foi de  $953\pm 74$  mm,  $234\pm 10$  mm,  $72\pm 16$  mm (GCM15) e  $787\pm 57$  mm,  $218\pm 12$  mm,  $68\pm 14$  mm (GCM8), respectivamente. Portanto, para

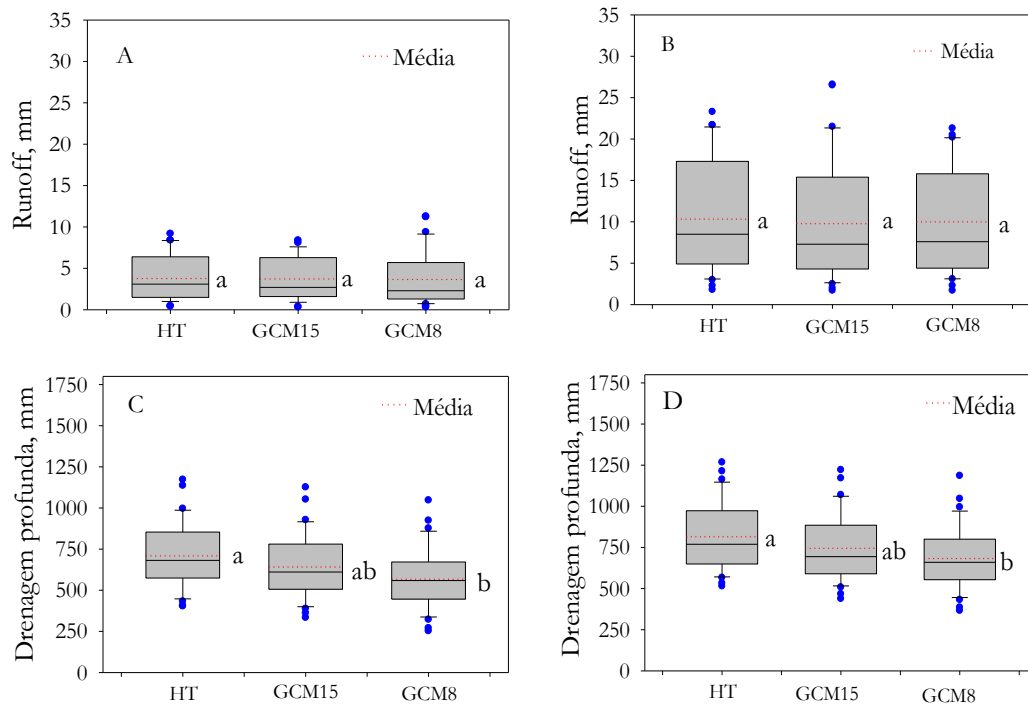


obter um balanço hídrico anual positivo, a precipitação anual nesse período deve ser superior a  $1259 \pm 75$  mm quando simulado para o cenário GCM15 e  $1073 \pm 61$  mm para o GCM8. A quantidade de precipitação que retorna à atmosfera como EVAP, para todo o período simulado no local estudado foi, em média,  $64\% (\pm 8\%)$  para o GCM15 e  $64\% (\pm 7\%)$  para o GCM8, o que é 7% maior e 9% menor do que os valores simulados no período 1980–2010, respectivamente.

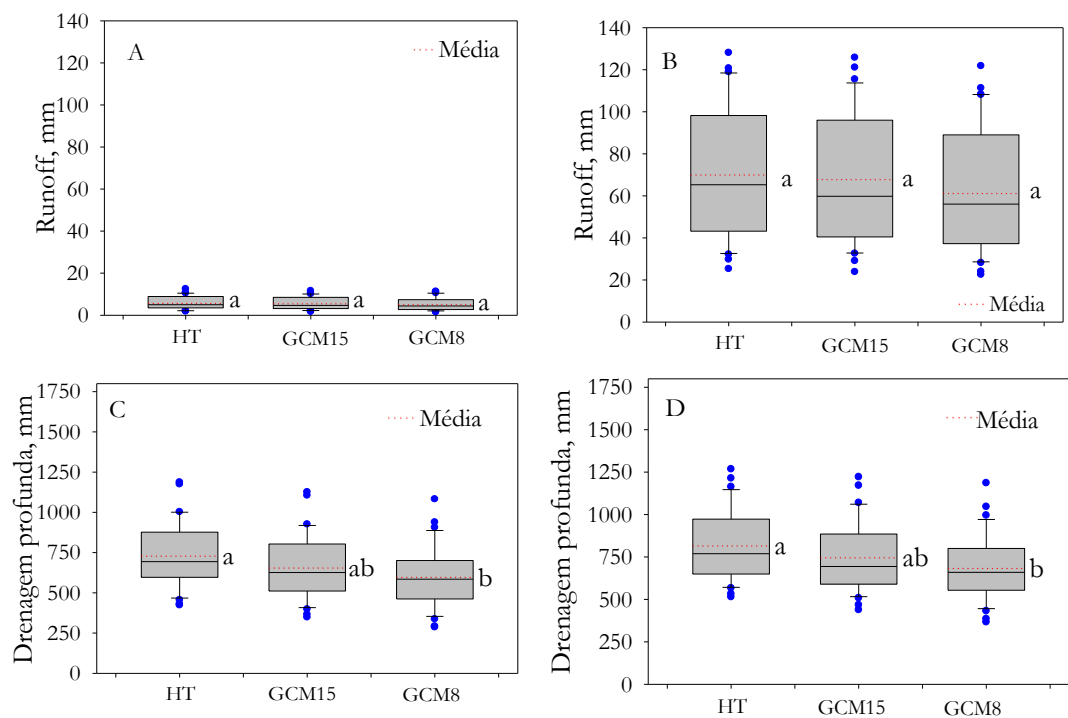
Quanto ao *runoff*, os cenários climáticos, simulados para o período de 2040-2069, não modificaram os valores em relação à série histórica (HT) na FN e PA em RBR e SG (**Figuras 51 A; 51B e 52 A; 52 B**, respectivamente), assim como não houve diferença entre os cenários, contudo, em ML o cenário GCM13 alterou o valor de *runoff*, sendo observada a menor média,  $3 \pm 1$  mm na FN e  $16 \pm 6$  mm na PA (Figura 50A e 50B, respectivamente). Para a drenagem profunda, em ML, apenas o cenário GCM13 alterou os valores em relação à HT, sendo observada a menor média,  $536 \pm 229$  mm na FN (**Figura 50 C**) e  $545 \pm 225$  mm na PA (**Figura 50 D**), assim como, foi diferente em relação ao GCM16. Em RBR e SG, o GCM8 diminuiu consideravelmente a drenagem profunda na FN e PA, sendo observado a menor média,  $568 \pm 184$  mm na FN (Figura 51C) e  $685 \pm 186$  mm na PA (**Figura 51D**) em RBR e  $598 \pm 185$  mm na FN (Figura 52C) e  $578 \pm 177$  na PA (**Figura 52D**) em SG. Além disso não houve mudança significativa na drenagem profunda entre os cenários GCM15 e GCM8.



**Figura 50.** Variabilidade interanual do *runoff* e da drenagem profunda em FN e PA (A, C e B, D, respectivamente), associada à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-18,69%), - GCM13 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (5,97%) - GCM16, simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Mâncio Lima, AC, 2022.

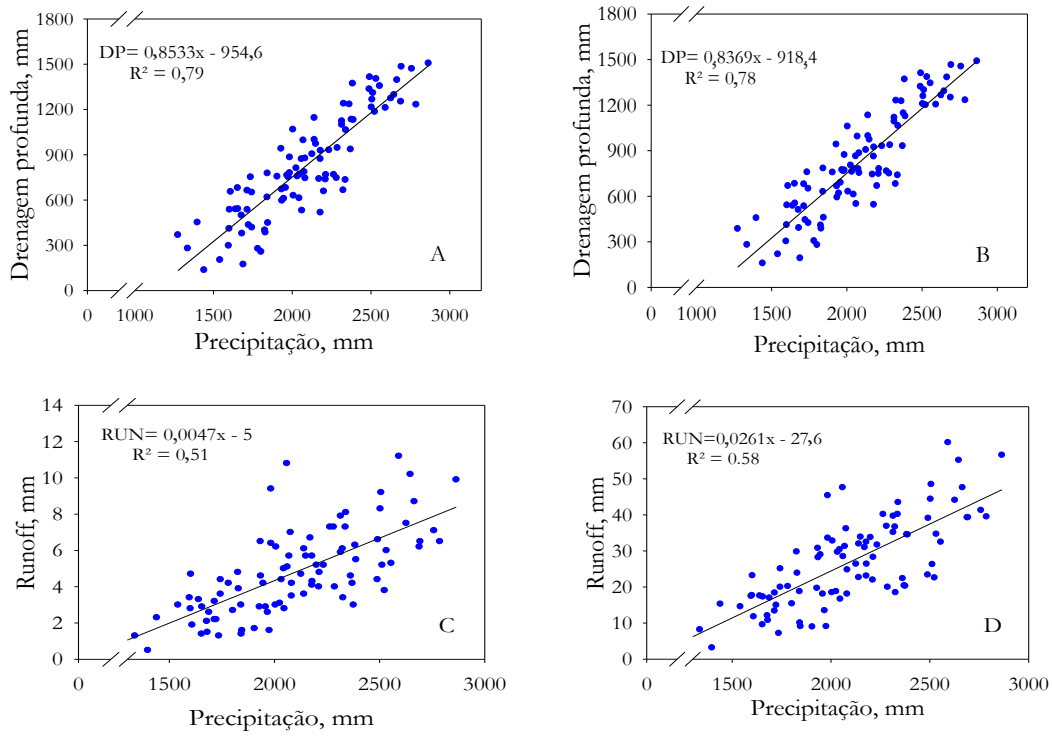


**Figura 51.** Variabilidade interanual do *runoff* e da drenagem profunda em FN e PA (A, C e B, D, respectivamente), associada à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%)-GCM8 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%)-GCM15, simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Rio Branco, AC, 2022.

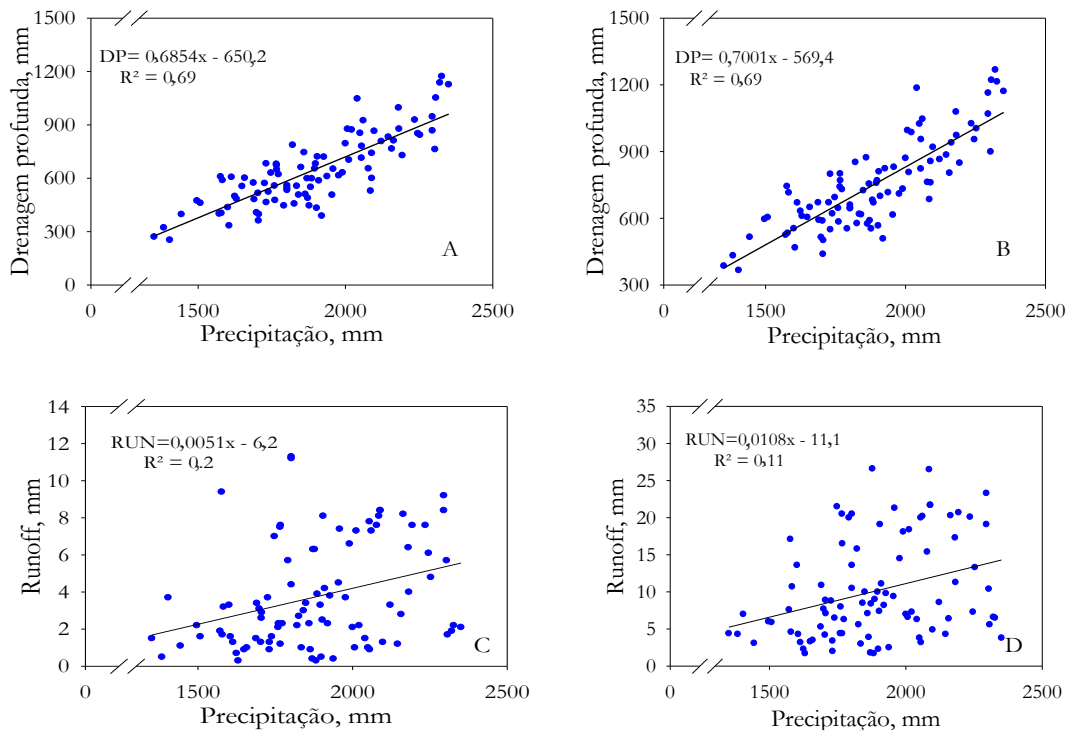


**Figura 52.** Variabilidade interanual do *runoff* e da drenagem profunda em FN e PA (A, C e B, D, respectivamente), associada à série histórica de 1980-2010- HT, o cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%), - GCM8 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%) - GCM15, simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). Senador Guiomard, AC, 2022.

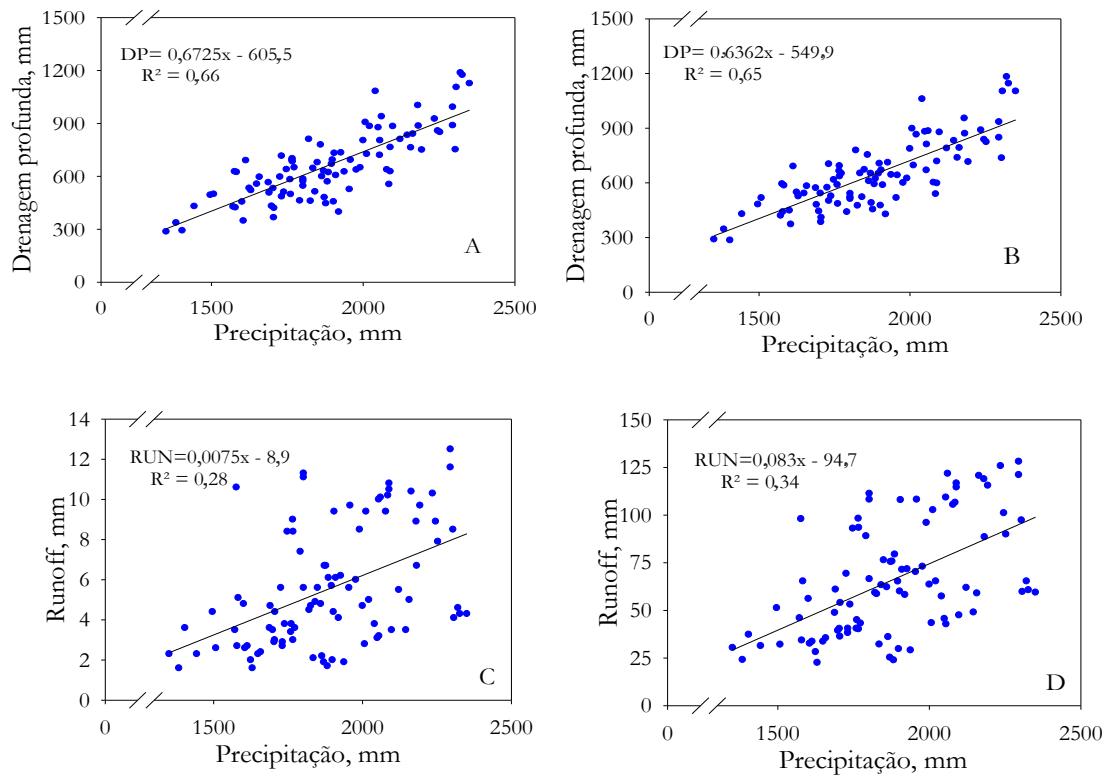
A precipitação média anual e o *runoff* apresentaram uma relação positiva com a drenagem profunda e média relação com o *runoff*, tanto na FN como na PA e nas três regiões de estudo (Figuras 53, 54 e 55).



**Figura 53.** Relação *runoff* e drenagem profunda na área de FN (A e C) e na área de PA (B e D) com a precipitação média anual. Mâncio Lima, Ac, 2022.



**Figura 54.** Relação *runoff* e Drenagem profunda na área de FN (A e C) e na área de PA (B e D) com a precipitação média anual. Rio Branco, Ac, 2022.



**Figura 55.** Relação *runoff* e Drenagem profunda na área de FN (A e C) e na área de PA (B e D) com a precipitação média anual. Senador Guiomard, Ac, 2022.



## 5. DISCUSSÃO

A otimização dos parâmetros da equação de Van Genuchten (1980),  $\alpha$ ,  $l$ ,  $n$  e  $K_s$  por modelagem inversa com o modelo SWAP e o programa PEST foram satisfatórias para obtenção dos potenciais matriciais dos solos das três regiões de estudo. Outros estudos têm demonstrado que a otimização de parâmetros hidráulicos foi eficiente para determinação dos conteúdos de água do solo, obtendo bons valores de RMSE (VAZIFEDOUST, 2007; SINGH et al., 2010; SCARPARE, 2011; MELO, 2020). Além disso, a eficiência do algoritmo *Gauss-Marquardt-Levenberg* na estimação de parâmetros não linear foi constatada em outros estudos (VAN DAM, 2000; VAZIFEDOUST, 2007; SINGH et al., 2010).

A obtenção de maiores valores de RMSE na simulação dos potenciais matriciais neste trabalho quando comparados aos acima citados, pode estar relacionada à maior variação numérica dos valores de potenciais, uma vez que os valores de teor de água ( $\theta$ ) apresentam menor variação numérica (MELO, 2020). Além disso, é importante destacar que a otimização dos parâmetros hidráulicos foi menos eficiente para o Argissolo Vermelho Amarelo. Uma possível explicação para isso, pode estar relacionada à presença de minerais do tipo 2:1 na fração argila identificada por Araújo (2008), o que também foi relatado por Ribeiro Neto (2001), que identificou vermiculita com hidróxidos entre camadas (VHE) e traços de esmectitas nesse solo. Esses argilominerais conferem ao solo um ciclo de contração e expansão, isso pode ter diminuído a eficiência na obtenção dos potenciais de matriciais em campo e conseqüentemente diminuído a eficiência na otimização dos parâmetros hidráulicos.

O aumento da  $D_s$  e redução da  $PT$  e  $K_s$  nos sistemas de cultivo agropecuários em relação à FN, pode está diretamente relacionada com as diferenças nos teores de matéria orgânica do solo, a pressão excedida pela presença de animais nos sistemas de pastagem e pelo uso de implementos agrícolas, pois esses são fatores que interferem na densidade do solo. O que também pode explicar o fato dos sistemas terem alterados essas propriedades até 30 cm de profundidade. Além disso, os maiores valores de  $D_s$  e menor  $PT$  para o Latossolo pode também está diretamente relacionado com a umidade do solo, pois condições de umidade do solo interferem na densidade do solo, amostragens de solo em condições de solo mais seco a  $D_s$  tende a ser maior por reduzir a proporção água sólidos do solo, essa diferença de umidade do solo foi observada durante as amostragens de solo no campo para o Latossolo em relação as demais classes de solos. Isso indica a importância de se considerar as épocas de amostragens e condições de umidade do solo para evitar variabilidade nos valores de  $D_s$  e  $PT$ .

O aumento Ds e a redução da Pt após a supressão da FN para uso com PA foi verificado também em outros estudos no Acre, sobretudo, em subsuperfície, independentemente da classe de solo (MORAES et al., 1996; MELO, 2003; ARAÚJO et al., 2004; ARAÚJO et al., 2011, BRITO et al., 2022). Em outras regiões também foi constatado o aumento da Ds e Pt em sistema de pastagem após a substituição da FN (ALBUQUERQUE et al., 2001; BORTOLINI et al., 2013; MOREIRA et al., 2014). Verificou-se também que o PD tende a compactar em alguns casos o solo em subsuperfície (BERTOL et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001; COSTA et al., 2004).

A menor Ds e maior Pt em área de FN têm sido atrelados ao fato que, normalmente, solos sob floresta nativa apresentam maior porosidade e menor densidade comparativamente aos solos cultivados (ALBUQUERQUE et al., 2001; FONSECA et al., 2007). A supressão da FN para introdução de sistemas agrícolas causa um desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades do solo, cuja intensidade varia com as condições de clima, uso e manejos adotados e a natureza do solo (GODEFROY; JACQUIN, 1975). O uso intensivo dos solos geralmente condiciona a deterioração das suas propriedades físicas (COOTE; RAMSEY, 1983). Modificações na densidade e na porosidade do solo podem variar consideravelmente, dependendo da textura, do teor de matéria orgânica do solo (CURTIS; POST, 1964) e da frequência de cultivo (HAJABBASI et al., 1997).

Em sistema de PA, o aumento da DS e Pt tem sido associado à pressão causada pelo pisoteio do gado e trânsito de máquinas e menor conteúdo de matéria orgânica (ALBUQUERQUE et al., 2001; MULLER et al., 2001; LANZANOVA et al., 2007, FLORES et al., 2007; FLORES, 2008; SPERA et al., 2010; CONTE et al., 2011). Sendo condicionada pela granulometria do solo (CORREA e REICHARDT, 1995), pelo sistema de pastejo e pela altura de manejo da pastagem (LEÃO et al., 2004) e umidade do solo (ALBUQUERQUE et al., 2001; SILVA et al. 2002; COSTA et al., 2004; LEÃO et al., 2004), bem como pela quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (SILVA et al., 2000).

Em geral, o efeito do pisoteio sobre os atributos físicos é mais pronunciado nas camadas superficiais do solo (KUNS et al., 2013). No sistema PD, o menor revolvimento do solo tende à compactação superficial, que tem sido constatada pelo aumento da densidade do solo e da microporosidade e pela diminuição da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade (VIEIRA e KLEIN et al., 2007; KLEIN et al., 2008). Portanto, o aumento da compactação pode condicionar a degradação do solo, reduzindo a capacidade de infiltração e drenagem (BERTOL et al., 2000; LANZANOVA et al., 2007; MIGUEL et al., 2009; GIRARDELLO et al., 2014) e aumentando o *runoff* (LANZANOVA et al., 2007) e que condicionam a eventos de erosão

(SOANE, 1990), dessa forma, reduzindo a capacidade produtiva de culturas (SOANE, 1990; ALBUQUERQUE et al., 2001).

A maior retenção de água no solo sob FN em relação aos sistemas agrícolas pode está diretamente relacionada a variação nos teores de matéria orgânica do solo que melhora a capacidade de retenção de água no solo e diretamente relacionada as mudanças estruturais do solo nos sistemas de cultivo agropecuário o que foi observado pela maior Ds e menor PT nesses sistemas. O que também pode explicar a maior capacidade de retenção de água do Argissolo Amarelo em relação as demais classes de solo.

A maior retenção de água do solo em subsuperfície em FN em relação a sistemas agropecuários foi observada em outros estudos, independente da classe de solo (PORTELA et al., 2001; MACHADO et al., 2008; KLEIN e LIBARDI, 2002; ARAÚJO et al., 2004; RAMOS et al., 20013). Ela se relaciona diretamente à Ds que influencia de forma negativa na retenção de água do solo (MACHADO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2004) uma vez que sua ação na retenção de água é decorrente da alteração da porosidade do solo (STRECK et al., 2008; DALMAGO et al., 2009; PIRES et al., 2012).

A menor retenção de água observada no PD em ML em relação à PA na profundidade de 15 cm diverge de outros estudos, que indicam maior retenção de água em subsuperfície em PD em relação a sistemas convencionais (BESCANSÁ et al., 2006; VITA et al., 2007; ZANETTE et al., 2007; DALMAGO et al., 2009). Essa maior retenção de água no solo PD é relacionada à barreira formada pelos resíduos, que reduziria a evaporação da água na superfície (BAUMHARDT; JONES, 2002).

Entretanto, a maior retenção de água em subsuperfície, principalmente, no ponto de saturação observada no Argissolo Amarelo e Latossolo na FN em relação à PA, ao PD e ao CM e em relação ao Argissolo Vermelho-Amarelo, não necessariamente reflete em maior retenção de água disponível no solo sob FN e entre os solos. Isso se deve ao fato que, segundo Klein e Libardi (2002), essas diferenças interferem muito pouco na disponibilidade de água às plantas, pois maiores valores de umidade próximos à saturação significam água facilmente drenável. Além disso, esses autores destacam que, para a retenção de água, o que importa são as diferenças de umidade próximos ao ponto de murcha permanente. Sendo que a retenção de água disponível está relacionada aos limites de capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, modificados pelo manejo do solo (DALMAGO et al., 2009). O que de fato foi observado para as três classes de solo, ou seja, não foram observadas diferenças na retenção de água disponível entre os sistemas agropecuários em relação à FN.



Não houve diferença na retenção de água disponível entre as classes de solo, apesar do caráter arenoso do Argissolo Amarelo em relação a outras duas classes de solo. Essa constatação não está de acordo com resultados de alguns estudos, que verificaram menor retenção de água disponível em solos arenosos (FIDALSKI; TORMENA, 2007; MACHADO et al., 2008; FIDALSKI et al., 2010b; FIDALSKI et al., 2013). Contudo, é importante destacar que o conteúdo de água retido em determinado potencial decorre da estrutura e da distribuição dos tamanhos de poros (BEUTLER et al., 2002) dos teores de matéria orgânica (RAWLS et al., 1991). Em baixos potenciais (no solo mais seco), a composição granulométrica e a mineralogia do solo tornam-se mais importantes devido à superfície disponível para a adsorção de água (GUPTA e LARSON, 1979).

Maiores valores simulados de condutividade hidráulica na FN em relação aos sistemas agropecuários também foram verificados em outros estudos (SILVA et al., 2005; MARQUES et al., 2010; SANTOS et al., 2011; RAMOS et al., 2013), que também registraram maiores valores de condutividade na FN, além de menores valores de condutividade hidráulica em subsuperfície sistemas agropecuários (BASTO, 2004; SILVA et al., 2012). Esses resultados estão atrelados ao fato que a condutividade hidráulica está diretamente relacionada com o aumento da  $D_s$  que altera a distribuição e proporção de poros do solo e por consequência diminui as taxas de infiltração e condutividade da água no solo (KLEIN e LIBARDI, 2002; SANTOS et al., 2011; RAMOS et al., 2013), além de aumentar o escoamento superficial e o processo de erosão (PANACHUKI et al., 2006). O que está de acordo com os valores encontrados neste trabalho, maiores valores de densidade nos sistemas agropecuários, bem como maior  $D_s$  em subsuperfície nos sistemas agropecuários.

A menor precipitação que chega à superfície do solo, precipitação líquida, e a menor taxa de evaporação, bem como, a maior interceptação na área de FN em relação aos sistemas agropecuários está diretamente relacionado ao denso dossel formado pela floresta que tem maior capacidade de captação de água pelas folhas e troncos e proteção do solo contra a evaporação. Isso interfere diretamente no balanço final de saída de água para a atmosfera. Já nos sistemas a proteção do solo é menor o que proporciona maiores taxas de evaporação, principalmente. Essa dinâmica foi observada nas três regiões de estudo. Esse balanço de distribuição de entrada e saída de água interfere diretamente na variação da taxa de evapotranspiração, onde é maior nas áreas de florestas em Senador Guiomar e Rio Branco, o que está diretamente relacionada a maior taxa de transpiração simulada em decorrência da maior capacidade de extração de água do solo pelo denso e profundo sistema radicular e entre os sistemas de pastagem e cultivo de milho também está relacionada a maior taxa de transpiração simulada e evaporação na área de pastagem.

Quanto aos componentes do balanço hídrico, a maior variabilidade da drenagem profunda em relação aos demais componentes também foi verificada por Melo (2020) e Ghiberto et al. (2011). Essa maior variabilidade nas taxas de drenagem profunda foi atribuída à dificuldade de se estimar o fluxo de água abaixo do sistema radicular, à variação espacial das propriedades hidráulicas do solo, o que condiciona as maiores incertezas nos valores de drenagem medidos (GHIBERTO et al., 2011). É importante destacar também a variabilidade interanual na precipitação, o que condiciona variação na taxa de drenagem profunda.

A EVAP real média diária interanual simulada para ML foi de  $3,5 \text{ mm d}^{-1}$  ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ) em área de FN e  $3,4 \text{ d}^{-1} \text{ mm}$  ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ) em área de CM e PA, respectivamente; em RBR foi de  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$  ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ) em área de FN e  $3,3 \text{ mm d}^{-1}$  ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ) em área de PA e em SG foi de  $3,6 \text{ mm}$  ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ),  $3,3 \text{ mm}$  ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ) e  $3,4 \text{ mm d}^{-1}$  ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ) para FN, CM e PA, respectivamente. Esses resultados são similares às estimativas anteriores da evapotranspiração média diária na Amazônia com base em modelos, com valores que variaram de  $2,7$  a  $5,2 \text{ mm d}^{-1}$ , com média de  $3,9 \text{ mm d}^{-1}$ , enquanto estimativas baseadas em observações de campo incluem  $3,5 \text{ mm d}^{-1}$  (ROCHA et al., 2004);  $3,7 \text{ mm d}^{-1}$  (VON RANDOW et al., 2004) e  $3,1 \text{ mm d}^{-1}$  (HUTYRA et al., 2007).

Para as três regiões de estudo, a EVAP contribuiu com a maior quantidade de precipitação que retorna à atmosfera, com valor médio de  $61\%$  ( $\pm 8\%$ ), independentemente do tipo de cobertura do solo, portanto, alterações no regime da evapotranspiração decorrente da supressão de FN para sistemas agropecuários na Amazônia pode comprometer a sustentabilidade hídrica em escala local ou regional, uma vez que, a EVAP é responsável por até  $50\%$  da precipitação anual na Amazônia (VAN DER ENT et al., 2010). A absorção de água do solo pelas raízes e a subsequente transpiração das plantas fornecem a maior contribuição para a reciclagem de água na Amazônia (KUNERT et al., 2017). Contudo, o entendimento da dinâmica da umidade do solo na Amazônia é complexo, em decorrência das diferenças climáticas regionais (SOMBROEK, 2001; NEGRÓN-JUÁREZ, 2020), características do solo (QUESADA et al., 2010) e diversidade e complexidade da cobertura florestal (TER STEEGE et al., 2013) que alteram a troca de água no sistema solo-planta-atmosfera (GIMENEZ et al., 2019). Embora complexa e desafiadora, estudos da dinâmica de umidade na Amazônia têm demonstrado a importância da absorção de águas profundas para a transpiração, sobretudo, em períodos de menor precipitação na Amazônia (BRUNO et al., 2006; NEGRÓN-JUÁREZ et al., 2020).

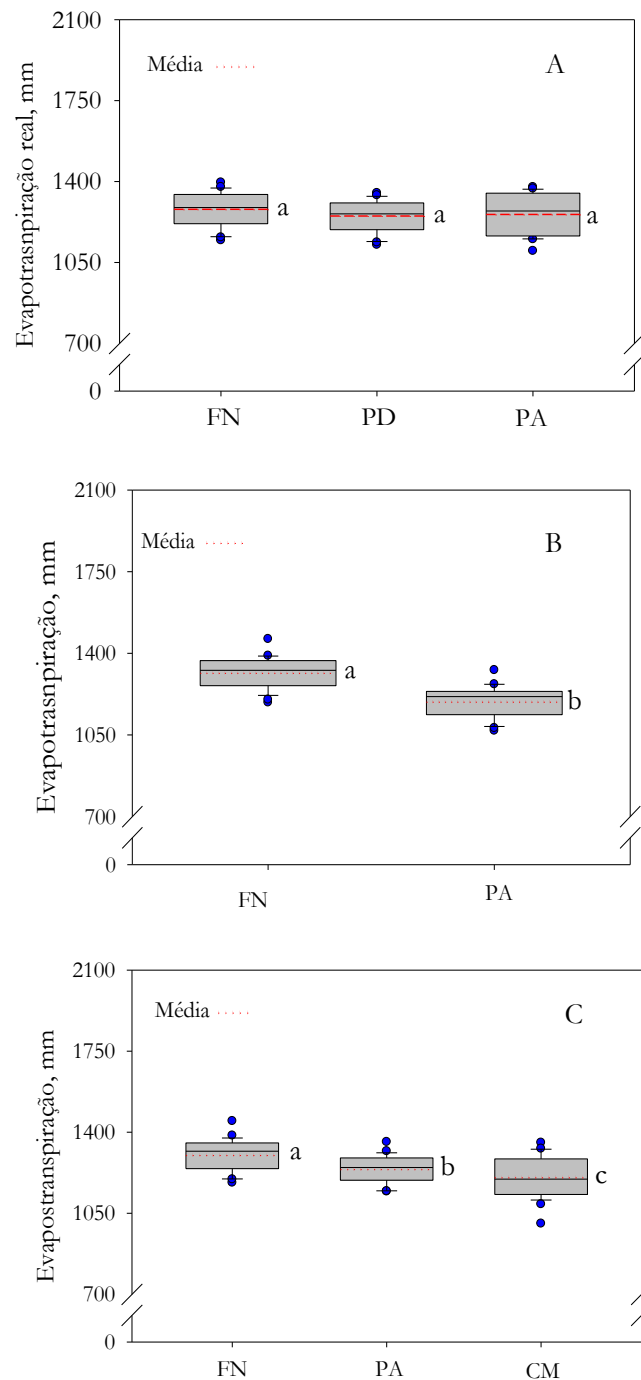
Os ecossistemas terrestres controlam descargas de bacias hidrográficas, que ocorrem em função da evapotranspiração e que podem ser alteradas por atividades agropecuárias ou mudanças climáticas (ROCHA et al., 2009). Isso foi verificado neste estudo em RBR e SG, onde

a taxa de EVAP nos sistemas agropecuários foi reduzida em relação à FN (**Figura 56 B e C**, respectivamente). Contudo, é importante destacar que, em ML, os sistemas de PA e PC não modificaram a taxa de EVAP em relação à FN (**Figura 56 A**). Esse fato pode se relacionar diretamente à maior taxa de precipitação média anual, acima de 2000 mm, nesta região, condicionando um equilíbrio na taxa de EVAP entre a FN e PA, principalmente pela expressiva taxa de evaporação nos sistemas agropecuários em relação à FN.

É importante ainda destacar que a evaporação, um dos elementos de grande importância dentro da composição da EVAP, foi modificada pelos sistemas agropecuários, ou seja, a taxa de evaporação foi amplamente maior nos sistemas agropecuários em todas as regiões de estudo em relação à FN. Nesse sentido, as florestas são os agentes mais eficientes no controle da taxa de evaporação (FERNANDES et al., 2013).

Na Amazônia a absorção de água do solo pelas raízes e a subsequente transpiração das plantas fornecem a maior contribuição para a reciclagem de água (KUNERT et al., 2017). Pois, em florestas tropicais bem estabelecidas é observado um sistema radicular mais denso e profundo (BRUNO et al., 2006) e a combinação de fenologia foliar sistemas radiculares extensos e a capacidade de extrair umidade do solo de profundidade na coluna do solo, aparentemente, permitem que nessas condições há maior taxa de EVAP, sobretudo na estação seca, o que é controlado pela demanda evaporativa atmosférica (ROCHA et al., 2009). A EVAP é o componente do balanço hídrico de maior importância, pois transforma em vapor de água uma parcela expressiva, da ordem de 60% da chuva que incide sobre a superfície do terreno (OKI; KANAE, 2006), além de manter o ciclo hidrológico em funcionamento, alimentação de corpos hídricos superficiais e subterrâneos (BORMA, 2015).

Além disso, os resíduos vegetais presentes no solo armazenam a água da chuva influenciando o processo de infiltração e do escoamento superficial (BERTOL et al., 2006), influenciando diretamente no regime de umidade de solos. A umidade solo desempenha um papel fundamental nos orçamentos hidrológicos, biogeoquímicos e energéticos dos ecossistemas terrestres (NEGRÓN-JUÁREZ et al., 2020). Pois, é um importante controle na infiltração e percolação no perfil de solo, escoamento superficial, geração de interfluxo e recarga de águas subterrâneas (KOSTER et al., 2004). Também tem fortes efeitos biogeoquímicos através de impactos na atividade microbiana, respiração do solo e ciclagem de nutrientes (AUSTIN et al., 2004), bem como saúde e serviços do ecossistema (NEGRÓN-JUÁREZ et al., 2020).



**Figura 56.** Variabilidade interanual da evapotranspiração real simulada, média de 26 anos (1993 a 2018) para ML **(A)** em área de FN, PA e PD; para RB **(B)** em área de FN e PA e para SG **(C)** em área de FN e PA. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). AC, 2022.

A maior taxa de *runoff* simulada nos sistemas agropecuários para as três classes de solo em relação à FN, estão diretamente relacionadas as mudanças na estrutura do solo, como maiores valores de densidade do solo, o que interfere diretamente na taxa de infiltração e drenagem de água no solo, o que foi observado nesse estudo à menor taxa de condutividade hidráulica do solo simulada até 30 cm, a menor proteção da superfície conferida pela pastagem e cultivo de milho e

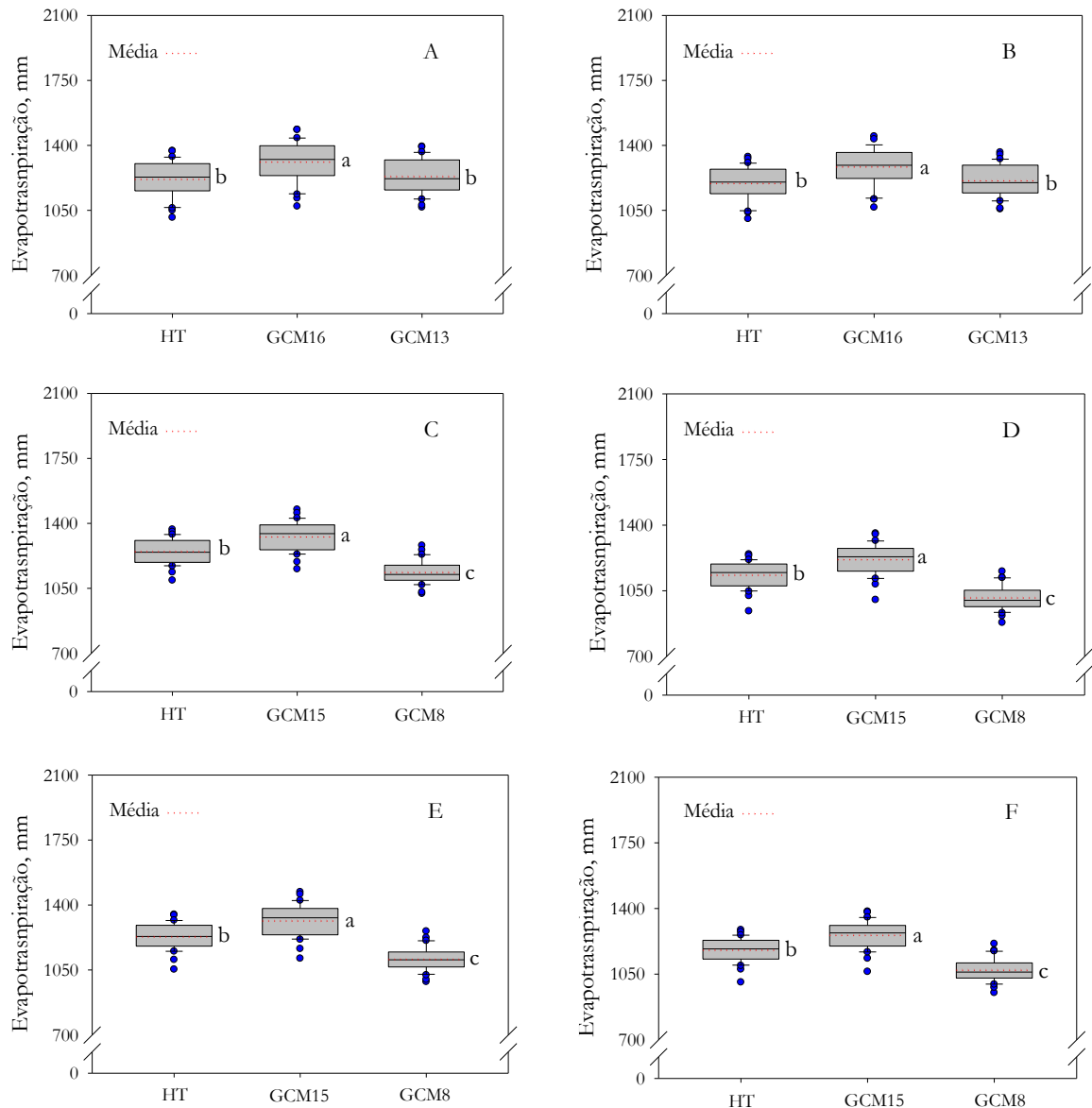
também ao volume de água que chega a superfície do solo. A expressiva taxa de *runof* no Argissolo Amarelo em Mâncio Lima na área com cultivo de milho pode está diretamente relacionada a maior compactação do solo na profundidade de 10 cm (0 a 20 cm) condicionando a maior taxa de *runoff*. Além disso, as diferenças na taxa de *runoff* entre as classes de solo também está relaciona as diferenças a variação nos valores de Ds e condutividade hidráulica do solo, o que pode ser observado principalmente no Latossolo Vermelho em Senador Guiomard com maiores valores de Ds e menor condutividade hidráulica simulada. Isso também pode explicar a variabilidade de drenagem profunda entre os sistemas e entre os solos.

A dinâmica de umidade também é influenciada pela taxa de *runoff* na superfície do solo, que neste estudo foi aumentada significativamente pelos sistemas agropecuários em relação às áreas de FN. O escoamento superficial é um dos componentes mais importantes do ciclo hidrológico, devido seu potencial para causar erosão e assoreamento dos cursos de água (LOREZON et al., 2015). Dentre os fatores que influenciam o escoamento superficial, tem-se a textura e compactação do solo, umidade, cobertura vegetal, o manejo do solo e o volume de precipitação (ALENCAR et al., 2006; MELLO, 2009). Sendo a cobertura do solo é o fator mais importante no processo de escoamento superficial e da infiltração (MOURA et al., 2009).

Neste estudo, o *runoff* teve forte relação com a precipitação, o que também foi observado em outros estudos (COSTA et al., 2013; SILVA et al., 2015). Assim como, foi verificado em outros estudos maior taxa de *runoff* em sistemas agropecuários em relação à FN (SILVA, 2010; CASTRO et al., 2012; SILVA et al., 2015; LOREZON et al., 2015), bem como em sistemas de pastagem que pode contribuir para o aumento da compactação em subsuperfície comumente observado nas áreas de PD (REICHERT et al., 2004; CAVALIERI, 2007). Isso afeta diretamente as perdas de sedimentos e poluentes decorrentes de atividades agrícolas, principalmente, nitrogênio e fósforo (SHARPLEY et al., 2001; LEINWEBER et al., 2002; HATCH et al., 2002; SILVA, 2010). Contudo, sistemas conservacionistas de uso do solo têm-se destacado como eficiente na proteção superficial e aumento da matéria orgânica do solo (DERPSCH et al., 1991); a melhoria da estrutura do solo (JIAO et al., 2006) e o aumento da infiltração da água (SASAL et al., 2010; PANACHUKI et al., 2011) que promovem a diminuição do escoamento superficial (MELLO et al., 2003; VOLK et al., 2004).

Quanto ao efeito das mudanças climáticas nos componentes do balanço hídrico, os cenários climáticos avaliados neste estudo demonstraram que a mudança do clima influenciou a taxa de EVAP independentemente dos sistemas de uso do solo nas três regiões de estudo. Contudo, em ML apenas o cenário climático menos pessimista (GCM16) aumentou a taxa de EVAP na área de FN e PA (**Figura 57 A e B**, respectivamente), enquanto em RBR e SG os dois

cenários climáticos modificaram a taxa de EVAP nas áreas de FN e PA (**Figura 57 C e D e Figura 58 E e F**, respectivamente). O cenário mais quente e com incremento na precipitação aumentou a taxa de EVAP e o cenário mais quente e com menos chuva reduziu a taxa de EVAP. Essa variação está diretamente relacionada as mudanças da temperatura e que afeta a remoção de água do solo e das plantas por meio da evapotranspiração controlado pela demanda evaporativa atmosférica, bem como pela variação do volume da precipitação (ROCHA et al., 2009).



**Figura 57.** Variabilidade interanual da evapotranspiração real média anual associado à série histórica de 1980-2010- HT, para o cenário mais quente e com menos chuva (-18,69%) - GCM13 e para o outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (5,97%) - GCM16 para ML em área de floresta nativa (A) e pastagem (B) e um cenário mais quente e com menos chuva (-13,10%) - GCM8 e outro cenário mais quente, porém, com um leve incremento na precipitação (0,85%) - GCM15 para RBR e SG em área de FN (C e D) e pastagem (E e F), respectivamente. Modelos simulados para 2040–2069 em relação a 1980–2010. Letras iguais na horizontal indicam que não há diferença nos valores, Duncan (5%). AC, 2022.

Avaliando o efeito da mudança climática nos componentes do balanço hídrico em diferentes regiões da Amazônia para dois cenários climáticos, um com aumento de 3,8 °C e outro com 1,8 °C na temperatura e aumentando e reduzindo a precipitação em 15% até 2100 em relação à média atual, Liberato e Brito (2010) concluíram que o aumento de temperatura previsto foi capaz de aumentar a evapotranspiração real produzindo uma redução da umidade do solo e uma diminuição do escoamento superficial e subsuperfície. Ainda segundo os autores, há indicação de que o clima dos estados de Rondônia e Acre se torne sub-úmido ou sub-úmido seco devido ao aumento do grau de aridez da região o que facilitará a queima de florestas e dificultará as navegações nos rios. Foi observado também que os menores valores de EVAP foram observados no sul e norte da Amazônia Ocidental, com valores entre 1323 mm/ano e 1523 mm/ano com aumento da temperatura e redução da precipitação.

De acordo com Hutyrá et al. (2007), eventos climáticos extremos como secas induzidas tanto pela variabilidade climática natural, quanto pelas atividades humanas: mudanças no uso do solo, podem fragmentar a Floresta Amazônica e transformar grandes áreas em savana. Estudos têm demonstrado que aumento da temperatura e redução da precipitação diminui a vazão de rios em bacias hidrográficas na Amazônia (LIBERATO; BRITO, 2010; MOHOR et al. 2015; SIQUEIRA JÚNIOR et al. 2015; DALAGNOU et al., 2017).

Mudanças na cobertura do solo podem alterar o índice de área foliar, a evapotranspiração, o conteúdo de água no solo, a capacidade de infiltração de água no solo, geração de escoamento superficial, os regimes de escoamento, a recarga dos aquíferos, assim como erosão do solo por meio das complexas relações entre vegetação, solo, relevo e processos climáticos (DALAGNOL et al., 2017). Estudos têm mostrado a magnitude dos impactos associados às mudanças do uso do solo em diferentes bacias e condições climáticas (TU, 2009; MAO; CHERKAUER, 2009; JARSJO et al., 2012; MONTENEGRO; RAGAB, 2012; LOPEZ-MORENO et al., 2014).

Existem projeções que os desmatamentos da floresta tropical amazônica levarão a um clima mais quente e seco na região (SAMPAIO et al., 2007; COSTA et al., 2007). Simulações dos efeitos climáticos em decorrência da supressão da floresta para introdução de pastagens na Amazônia produzidas e observações dos projetos Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study (ABRACOS) (GASH, NOBRE, 1997) e Large Scale Biosphere- Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) indicam que há um aumento da temperatura entre 0,3 °C e 3 °C, redução da evapotranspiração entre 15% e 20% devido à mudança de vegetação de floresta para pastagem.

Alguns estudos têm mostrado que o estômato da planta abre menos com altas concentrações de CO<sub>2</sub> (FIELD et al., 1995), o que reduz diretamente o fluxo de umidade entre a

superfície e a atmosfera (SELLERS et al., 1996), podendo aumentar a temperatura do ar próximo da superfície pelo aumento da razão entre o fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente (LIBERATO; BRITO, 2010). Numa região como a Amazônia, em que uma grande parte da umidade para a precipitação é originada da evaporação da superfície, a redução da abertura estomatal pode contribuir na redução das taxas de precipitação (BETTS et al., 2004).

Os impactos potenciais da supressão da floresta para introdução de pastagens em padrões de temperatura e precipitação na Amazônia como resultado de mudanças na energia de superfície (GASH et al., 1996), ainda não são claramente entendidos. Nesse sentido, em um processo de adaptação às mudanças climáticas, a preservação da cobertura florestal natural pode ter grande importância na retenção de água e manutenção da sustentabilidade hídrica nessa região.





## 6. CONCLUSÕES

O modelo SWAP foi calibrado e validado com sucesso e realizou previsões consistentes com os dados observados em outros estudos para os componentes do balanço hídrico obtidos nas áreas de florestas e sistemas agropecuários estudados.

A supressão de floresta nativa para a introdução de cultivos agropecuários, nas condições deste estudo, degradou a qualidade física do solo em subsuperfície refletida pelo aumento da densidade do solo, redução da porosidade e condutividade hidráulica simulada e conseqüentemente modificando os componentes do balanço hídrico, aumentando sobretudo, as taxas de *runoff* e reduzindo a taxa de evapotranspiração.

O cenário de mudança climática previsto, mais quente e com menos chuva, modificou a dinâmica dos componentes do balanço hídrico, reduzindo as taxas de evapotranspiração; o outro cenário previsto, mais quente e com leve incremento na precipitação, incrementou a taxa de evapotranspiração.



## REFERÊNCIAS

- ABREU, U. G. P.; BERGIER, I.; COSTA, F. P.; OLIVEIRA, L. O. F. de; NOGUEIRA, E.; SILVA, J. C. B.; BATISTA, D. S. do N.; SILVA JUNIOR, C. Sistema intensivo de produção na região tropical brasileira: o caso do Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2018. 26 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 155).
- ACRE. Governo do Estado do Acre. 2010. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): Documento Síntese. 2.ed. SEMA, Rio Branco, Brasil. 356 p.
- ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento ecológico-econômico do estado do Acre, fase II (escala 1:250.000): documento síntese. Rio Branco: SEMA, 2006. 356 p.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J. PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.717-723, 2001.
- ALENCAR, D. B. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 26, p.103-112, 2006.
- ALLEN, C. D.; MACALADY, A. K., CHENCHOUNI, H., BACHELET, D.; MCDOWELL, N.; VENNETIER, M.; ... COBB, N. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n.4, p. 660-684, 2010.
- ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; RAMALHO, J. H.; GARCIA, J. C.; VIANA, M. C. M.; CASTRO, A. A. D. N. Sistema de Integração lavoura-pecuária: o modelo implantado na Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 93).
- ALVARES, C. A.; STAPES, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2014.
- AMARAL, E. D.; ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, H., MELO, A. W. F.; ...; BARDALES, N. G. Ocorrência e distribuição das principais classes de solos do estado do Acre. In: ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. M.; WADT, P. G. S; LUMBRERAS, J. F. Guia de campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos. Rio Branco: EMBRAPA, 2013. p. 97-127.
- AMARAL, E. F. **Estratificação de ambientes para gestão ambiental e transferência de conhecimento, no Estado do Acre, Amazônia Ocidental**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2007.185p.

- AMARAL, E. F.; VALENTIM, J. F.; LANI, J. L.; BARDALES, N. G.; ARAÚJO, E. A. Áreas de risco de morte de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, com o uso da base de dados pedológicos do zoneamento ecológico-econômico no estado do Acre. In: BARBOSA, R.A. (Org.). Morte de pastos de braquiárias. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 2006, p. 151-174.
- ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F. Síndrome da morte do capim-brizantão no Acre: características, causas e soluções. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2007. 41 p. (Documento, 105).
- ARAÚJO, E. A. **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre.** Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. 253p.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**, v.41, p.03-114, 2011.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.
- ARTAXO, P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NAGY, L.; LUIZÃO, F. J.; CUNHA, H. B.; QUESADA, C. A. N.; MARENGO, J. A.; KRUSCHE, A. Perspectivas de Pesquisas na Relação entre Clima e o Funcionamento da Floresta Amazônica. **Ciência e Cultura**. v. 66, p. 41-50, 2014.
- AUSTIN, A. T.; YAHDJIAN, L.; STARK, J. M., BELNAP, J.; PORPORATO, A.; NORTON, U.; SCHAEFFER, S. M. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. **Oecologia**, v. 141 p. 221–235, 2004.
- AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R. S. D. A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. In: **Tópicos de Ciência do Solo**. v. 1, p. 1-47, 2007.
- BAGINSKA, B.; MILNE-HOME, W.; CORNISH, P. S. Modelling nutrient transport in Currency Creek, NSW with AnnAGNPS and PEST. **Environmental Modelling & Software**, v. 48, p. 801–808, 2003.
- BAIDYA ROY, S.; AVISSAR, R. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 1-12, 2002.
- BARROS, A. H. C. **Desenvolvimento de funções de pedotransferência e sua utilização em modelo agro-hidrológico.** Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. 149p.
- BASTOS, D. C. O. **Manejo da salinidade em irrigação localizada: Análise da alternativa de lixiviação incompleta.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004. 68p.

- BATISTELLA, M.; LUIZÃO, F. LBA and the future of Amazonian research. **Global Change Newsletter**, v. 67, p. 4-5, 2006.
- BAUMHARDT, R. L.; JONES, O. R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum, for a clay loam in Texas. **Soil & Tillage Research**, v. 68, p.71-82,2002.
- BELMANS, C.; WESSELING, C.; FEDDES, R. A. Simulation of the water balance of a cropped soil: SWATRE. **Journal of Hydrology**, v. 63, p. 271-286, 1983.
- BERTOL, I.; MELLO, E. L.; COGO, N. P.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; GONZÁLEZ, A. P. Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante da enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.715-722, 2006.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E. F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, p.91-95, 2000.
- BESCANSÀ, P.; IMAZ, M. J.; VIRTO, I.; ENRIQUE, A.; HOOGMOED, W. B. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 87, p. 19-27, 2006.
- BETTS, R. A.; COX, P. M.; COLLINS, M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. D. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. **Theoretical Applied Climatology**, v. 78, p. 157–175, 2004.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, v. 34, p. 365-371, 2004.
- BORMA, L. S.; GITIRANA J. R., G. F. N.; LUIZ, G. C. Interação solo-planta-atmosfera e o papel dos solos não saturados. In: CARVALHO, J. C.; GITIRANA JUNIOR, G. F. N.; MACHADO, S. L; MASCARENHA, M. M. A.; FILHO, F. C. S. (Org.). Solos não saturados no contexto geotécnico. 1 ed. São Paulo: ABMS, 2015, v. 2, p. 327-360.
- BORTOLINI, D.; ALBUQUERQUE, J. A.; RECH, C.; MAFRA, A. L.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; E PÉRTILE, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico, **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.15, n.1, p.60-67, 2016.
- BORTOLINI, D.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Altura de manejo de papuã e propriedades de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, v.60, p.535-543, 2013.
- BRITO, E. S. **Atributos químicos e físico-hídricos do solo após conversão de floresta nativa em pastagem e em integração lavoura-pecuária na Amazônia Ocidental**. Dissertação 9Mestrado em ciência do Solo) – Centro de Ciência Agroveterinária, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2016. 170p.

- BRITO, E. S.; MUETANENE, B. A.; FRADE JUNIOR, E. F.; ALASSANE, D.; ARAÚJO, E. A. Physical and chemical attributes and carbon stocks in a Yellow Acrisol in distinct use and management systems in Western Amazon, **Revista de Agricultura**, v. 97, n. 1, p. 71-85, 2022.
- BRUNO, R. D.; DA ROCHA, H. R.; DE FREITAS, H. C.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D. Soil moisture dynamics in an eastern Amazonian tropical forest. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 20, n. 12, p. 2477-2489, 2006.
- CASTRO, M. A.; DA CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; PAIVA NETO, V. B.; RODRIGUES, A. P. L.; MAGALHÃES, F.; CRUZ, G. H. M. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-Grossense. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 3, n. 2, p. 19, 2012.
- CAVALIERI, K. M. V. **Aspectos metodológicos da pesquisa sobre compactação e qualidade física do solo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. 72p.
- CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C. L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1301-1309, 2011.
- COOTE, D. R.; RAMSEY, J. F. Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. **Canadian journal of soil science**, v. 63, n. 1, p. 1-14, 1983.
- CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.107-114, 1995.
- COSTA, C. F. G.; FIGUEIREDO, R. O.; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, I. P. O. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 162-169, 2013.
- COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, p.281-284, 2004.
- COSTA, F. S.; CAMPOS FILHO, M. D.; SANTIAGO, A. C. C.; MAGALHÃES, I. B.; CORDEIRO, L. S.; LIMA, A. P. de; MAIA, G. R.; SILVA, E. P.; KLEIN, M. A.; SILVA, F. de A. C.; BARDALES, N. G.; QUEIROZ, L. R.; BRITO, E. S. Agricultura conservacionista na produção familiar de mandioca e milho no Juruá, Estado do Acre: efeitos da adoção nos resultados de safras de 2006 a 2014. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2014. 10 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 186).
- COSTA, J. P. P. **Calibração inversa de um modelo de escoamento subterrâneo, com aplicação aos sistemas aquíferos de albufeira-ribeira de quarteira e quarteira**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Recursos hídricos) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2006. 120p.

- COSTA, M. H.; YANAGI, S. N. M.; SOUZA, P. J. O. P.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. L07706, 2007.
- CRESCIMANNO, G.; MORGA, F.; VENTRELLA, D. Application of the SWAP model to predict impact of climate change on soil water balance in a Sicilian vineyard. **Italian Journal of Agronomy**. v. 7, p. 116-123, 2012.
- CURTIS, R. O.; POST, B. W. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils. **Science Society of America Journal**, v. 28, n. 2, p. 285-286, 1964.
- DALAGNOL, R.; BORMA, L. S.; MATEUS, P.; RODRIGUEZ, D. A. Assessment of climate change impacts on water resources of the Purus Basin in the southwestern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 47, p. 213 – 226, 2017.
- DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; CLEUSA A. M. B.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p. 855–864, 2009.
- DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C. DE; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F. M BUSTAMANTE, M. D. C.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA J. R., C.M.; WOFSY, S.C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p. 321-328, 2012.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil. In: DERPSCH, R., ROTH, C. H., SIDIRAS, N., KOPKE, U. Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista. Eschborn: GTZ, 1991.
- DESJARDINS, T.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Organic carbon and <sup>13</sup>C contents in soils and soil size- fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. **Geoderma**, v. 61, p.103-118, 1994.
- DOHERTY, J. PEST: model independent parameter estimation. Corinda: Watermark Computing, 2002. 279 p.
- DOHERTY, J.; JOHNSTON, J. M. Methodologies for calibration and predictive analysis of a watershed model. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 39, n. 2, p. 251–265, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Embrapa, 1979. 412p.
- FEDDES, R. A.; KOWALIK, P. J.; ZARADNY, H. Simulation of field water use and crop yield. Wageningen: Pudoc, 1978. 189 p. (Simulation Monographs).
- FERNANDES, R. P.; SILVA, R. W. C.; SALEMI, L. F.; ANDRADE, T. M. B.; MORAES, J. M. Geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 3, p. 178-190, 2013.



- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1316-1322, 2007.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; AULER, P. A. M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranavai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 613-621, 2013.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, Á. P. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 448-453, 2010b.
- FIELD, C. B.; JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A. Stomatal responses to increased CO<sub>2</sub>: implications from the plant to the global scale. **Plant, Cell and Environment**, v. 18, p.1214-1225, 1995.
- FLORES, J. P. C. **Atributos físicos e químicos do solo e rendimento de soja sob integração lavoura-pecuária em sistemas de manejo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. 102p.
- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. D.A.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.22-30, 2007.
- GANDU, A. W.; COHEN, J. C. P.; SOUZA, J. R. Simulations of deforestation in Eastern Amazon using a higher-resolution model. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 123-135, 2004.
- GASH, J. C. H.; NOBRE, C.A; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. Amazonian Deforestation and Climate, **John Wiley**, p. 1-14, 1996.
- GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A. Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78 p. 823–830, 1997.
- GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. D. D. S.; TRIVELIN, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. *Agricultural Water Management*, v. 102, n. 1, p. 1-7, 2011.
- GIMENEZ, B. O.; JARDINE, K. J.; HIGUCHI, N.; NEGRON-JUAREZ, R. I.; SAMPAIO, I. D.; COBELLO, L. O., ...; CHAMBERS, J. Q. Species-specific shifts in diurnal sap velocity dynamics and hysteretic behavior of ecophysiological variables during the 2015–2016 El Niño event in the Amazon Forest. **Frontiers in Plant Science**, p. 830, 2019.

- GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.
- GODEFROY, J.; JACQUIN, F. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et les apports organiques en conditions tropicales; comparaison avec les sols forestiers. **Fruits**, v. n. 30, p. 595-612, 1975.
- GOVENDER, M.; EVERSON, C. S. Modelling stream flow from two small South African experimental catchments using the SWAT model. *Hydrological Processes*, **Chichester**, v. 19, n. 3, p. 683–692, 2005.
- GROSSI, M. C.; JUSTINO, F.; ANDRADE, C. de L. T.; SANTOS, E. A.; RODRIGUES, R.; COSTA, L. C. Modeling the impact of global warming on the sorghum sowing window in distinct climates in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 51, p. 53-64, 2013.
- GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Resources Research**, v. 15 p. 1633-1635, 1979.
- HAJABBASI, M. A.; JALALIAN, A.; KARIMZADEH, H. R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. **Plant Soil**, v. 190, p. 301-308, 1997.
- HATCH, D.; KEITH, G.; MURPHY, D. Nitrogen. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). *Agriculture, hydrology and water quality*. Cambridge: CAB International, 2002. p. 19-21.
- HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; NASCENTE, A. S.; ZEVIANI, W. M.; STONE, L. F.; SENTELHAS, P. C. Upland rice cultivar responses to row spacing and water stress across multiple environments. **Experimental Agriculture**, v. 53, n. 4, p. 609-626, 2017b.
- HUDSON, N. I.; RUANE, A. C. “Appendix 2. Guide for running AgMIP climate scenario generation tools with R in Windows, Version 2.3,” in *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: 6e Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) Integrated Crop and Economic Assessments, Part 1*, C. Rosenzweig and D. Hillel, Eds., ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation, vol. 3, pp. 387–440, Imperial College Press, London, UK, 2015.
- HUTYRA, L. R.; MUNGER, W.; SALESKA, S. R.; GOTTLIEB, E.; DAUBE, B. C.; DUNN, A. L.; AMARAL, D. F.; CAMARGO, P. B.; WOFYSY, S. C. Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. **Journal Geophysical Research**, v. 112, p. G03008, 2007.
- INES, A. V. M.; DROOGERS, P. Inverse modeling in estimating soil hydraulic functions: genetic algorithm approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 6, p. 49–65, 2002.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazonia Legal por Satélite (PRODES). 2021. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 21 jan. 2021.

- IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C. B. Field et al. Cambridge/New York, Cambridge university Press/iPCC, 2014.
- IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation. San Diego: Academic Press, 1983. 390 p.
- JARSJÖ, J.; ASOKAN, S. M.; PRIETO, C.; BRING, A.; DESTOUNI, G. Hydrological responses to climate change conditioned by historic alterations of land-use and water-use. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, p. 1335–1347, 2012.
- JHORAR, R.K.; BASTIAANSEN, W.G.M.; FEDDES, R.A.; VAN DAM, J.C. Inversely estimating soil hydraulic functions using evapotranspiration fluxes. **Journal of Hydrology**, v. 258, p. 198–213, 2002.
- JIANG, J.; FENG, S.; HUO, Z.; ZHAO, Z.; JIA, B. Application of the SWAP model to simulate water-salt transport under deficit irrigation with saline water. **Mathematical and Computer Modelling**. v. 54, p. 902-911, 2011.
- JIANG, J.; FENG, S.; MA, J.; HUO, Z.; ZHANGA, C. Irrigation management for spring maize grown on saline soil based on SWAP model. **Field Crops Research**, v. 196, p. 85–97, 2016.
- JIAO, Y.; WHALEN, J. K.; HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, v. 134, p. 24-33, 2006.
- KHORASANIZADEH, H.; MOHAMMADI, K. Introducing the best model for predicting the monthly mean global solar radiation over six major cities of Iran. **Energy**, v. 51, p. 257-266, 2013.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002.
- KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v. 38, p. 365-371, 2008.
- KOSTER, R. D.; DIRMEYER, P. A.; GUO, Z. C.; BONAN, G.; CHAN, E.; COX, P.; TEAM, G. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. **Science**, v. 305, p. 1138–1140, 2004.
- KOTLAR, A. M.; DE JONG VAN LIER, Q.; BRITO, E. S. Pedotransfer functions for water contents at specific pressure heads of silty soils from Amazon rainforest. **Geoderma**, v. 361, 2020 p. 114098, 2020.
- KROES, J. C.; VAN DAM, J. C.; GROENENDIJK, P.; HENDRIKS, R.F.A.; JACOBS, C.M.J. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Alterra, Wageningen, Report 1649, 2008. 284 p.

- KROES, J. G.; VAN DAM, J. C.; BARTHOLOMEUS, R. R.; GROENENDIJK, P.; HEINEN, M.; HENDRIKS, R. F. A.; MULDER, H. M.; SUPIT, I.; VAN WALSUM, P. E. V. SWAP version 4. Theory description and user manual. **Wageningen, Wageningen Environmental Research**, Report 2780, p. 244, 2017.
- KUMARA, P.; SARANGIB, A.; SINGHB, D. K.; PARIHARB, S. S.; SAHOO, R. N. Simulation of salt dynamics in the root zone and yield of wheat crop under irrigated saline regimes using SWAP model. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 72–83, 2015.
- KUNERT, N.; APARECIDO, L. M. T.; WOLFF, S.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; DE ARAUJO, A. C.; TRUMBORE, S. A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 47–57, 2017.
- KUNZ, M.; GONÇALVES, A. D. M. A.; REICHERT, J. M.; GUIMARÃES, R. M. L.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M.F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, p.37:1699-708, 2013.
- KUNZLER, J. C. S. **Estimativa da recarga da bacia sedimentar do rio do peixe através da modelagem matemática do fluxo subterrâneo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007. 75p.
- LAL, R. World soils and global issues. **Soil and Tillage Research**. v. 97, p. 1-4, 2007.
- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1131-1140, 2007.
- LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 415-423, 2004.
- LEINWEBER, P.; TURNER, B. L.; MEISSNER, R. Phosphorus. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). *Agriculture, hydrology and water quality*. Cambridge: CAB International, 2002. 30p.
- LEMAIRE, G.; ALAN F.; A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture Ecosystems and Environment**. v. 190, p. 4–8, 2013.
- LIBERATO, A. M.; BRITO, J. I. B. Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p.170-180, 2010.
- LOPES, M. L. T.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D. T.; AGUINAGA, A. A. Q.; FLORES, J. P. C.; MORAES, A. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.39, p.1499-1506, 2009.

- LÓPEZ-MORENO, J. I.; ZABALZA, J.; VICENTE-SERRANO, S. M.; REVUELTO, J.; GILABERTE, M.; AZORIN-MOLINA, C.; MORÁN-TEJEDA, E.; GARCÍA-RUIZ, J.M.; TAGUE, C. Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: Scenarios in the Upper Aragón River, Spanish Pyrenees. **Science of the Total Environment**, v. 493, p. 1222–1231, 2014.
- LORENZON, A. S.; TEIXEIRA DIAS, H. C.; TONELLO, K. C. Escoamento superficial da água da chuva em um fragmento Florestal de Mata Atlântica, Viçosa-MG, **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.5, p. 50-58, 2015.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANDRADE BERNINI, T. A.; ZATORRE, N. P.; WADT, P. G. S. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, v.5, p.1-10, 2014.
- MA, Y.; FENG, S.; HUO, Z.; SONG, X. Application of the SWAP model to simulate the field water cycle under deficit irrigation in Beijing, China. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, p. 1044-1052, 2011.
- MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 495-502, 2008.
- MAGALHÃES, B. G.; ANDRADE, C. L. T.; SILVA, P. P. G.; LOPES, D. C.; MELO, B. F.; GARCIA, A. G. Y.; GONTIJO NETO, M. M. Avaliação, empregando modelagem, de estratégias de manejo para incrementar a produtividade de milho na segunda safra. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 204).
- MAO, D.; CHERKAUER, K. A. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. **Journal of Hydrology**, v. 374, p. 71–82, 2009.
- MARENGO, J. A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon river basin water budget. **Climate Dynamics**, v. 24, p. 11–22. 2005.
- MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; ...; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate dynamics**, v. 38, n. 9, p. 1829-1848, 2012.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; SAMPAIO DE OLIVEIRA, G.; DE OLIVEIRA, R.; ...; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of climate**, v. 2, n. 3, p. 495-516, 2008.
- MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. **Ecological Applications**, v.14, p.177-199, 2004.
- MARQUES, J. D. D. O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. **Acta amazônica**, v. 34, p. 145-154, 2004.

- MARQUES, J. D. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 193-206, 2008.
- MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; JUNIOR, O. F. C.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta amazônica**, v. 40, p. 1-12, 2010.
- MELLO, E. L. **Modelo de suporte à avaliação do impacto do uso e manejo do solo no balanço hídrico e nas perdas de solo**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 65p.
- MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háptico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 901-909, 2003.
- MELO, A. W. F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). "Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. 74p.
- MELO, M. L. A. **Condição hidráulica determinante à ocorrência de estresse hídrico na cultura da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2020. 89p.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1513-1519, 2009.
- MILES L.; NEWTON A. C.; DE PRIES, R. S.; RAVILIOUS, C.; MAY, I.; BLYTH, S.; KAPOS V.; GORDON, J. E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 491–505, 2006.
- MOHOR, G. S.; RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. L. Exploratory analyses for the assessment of climate change impacts on the energy production in an Amazon run-of-river hydropower plant. **Journal of Hydrology Regional Studies**, v. 4, p. 41–59, 2015.
- MOKHTARI, A.; NOORYA, H.; VAZIFEDOUST, M. Improving crop yield estimation by assimilating LAI and inputting satellite-based surface incoming solar radiation into SWAP model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 250, p. 159-170, 2018.
- MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 434–435, p. 55–68, 2012.
- MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brasil. **Geoderma**, v. 70, p. 63-81, 1996.

- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1103-1110, 2004.
- MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; ALVES, S. J. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1315-1326, 2014
- MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. L. C.; FIGUEIREDO, A. C.; POSSAS, J. M. C. Intercepção das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na bacia do Prata, Recife, PE, **Revista Árvore**, v. 33, p. 461-469, 2009.
- MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; SILVA, M. P. F. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1409-1418, 2001.
- NASSIF, D. S. P. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. 92p.
- NEGRÓN-JUÁREZ, R.; FERREIRA, S. F.; MOTA, M. C.; FAYBISHENKO, B.; MONTEIRO, M. F.; CANDIDO, L. A.; ...; CHAMBERS, J. Q. Calibration, measurement, and characterization of soil moisture dynamics in a central Amazonian tropical forest. **Vadose Zone Journal**, v. 19, n. 1, 2020.
- NETTO, A. A.; FERNANDES, E. J. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho em pousio e cultivo intensivo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.8, p.797-802, ago. 2005.
- OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, v. 313, p. 1068-1072, 2006.
- OLIVEIRA, T. C. **Variability of soil hydraulic properties and its impact on agro-hydrological model predictions**. Tese (Doutorado em Ciência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. 92p.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. E URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 261-268, 2006.
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.
- PEREIRA, W. L. M.; VELOSO; C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. **Scientia Agrícola**, v.57, p.531-537,2000.

- PIERZYNSKY, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. Soils and environmental quality. 2.ed. New York, CRC Press, 2005. 584p.
- PINHEIRO, E. A. R.; DE JONG VAN LIER, Q.; BEZERRA, A. H. F. Hydrology of a Water-Limited Forest under Climate Change Scenarios: The Case of the Caatinga Biome, Brazil, **Forests**, v. 8, p. 1-15, 2017.
- PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; ROCHA, W.W.; ARAÚJO JÚNIOR, C. F. E CARVALHO, R. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 635-642, 2012.
- PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; DE JONG VAN LIER, Q. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 49-54, 2001.
- PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. D. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob Plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1591-1600, 2012.
- QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATINO, S.; BAKER, T. R.; CZIMCZIK, C., ...; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences**, v. 7, p. 1515–1541, 2010.
- QURESHI, S.A. Simulation modeling of irrigation requirements for sugarcane production in Sindh province, Pakistan. Doctor (Doctor of Philosophy) - Department of Agricultural and Biosystems Engineering, University of Montreal, Montreal, 1999. 181p.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAMIREZ-CABRAL; N. Y. Z.; KUMAR, L.; TAYLOR, S. Crop niche modeling projects major shifts in common bean growing areas. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 218-219, p. 102-113, 2016.
- RAMOS, B. Z.; PAIS, P. S. M.; FREITAS, W. A.; JUNIOR, M. S. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo - Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, p. 340-346, 2013.
- RAWLS, W. J.; GISH, T. J.; BRAKENSIEK, D. L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Science**, v. 16, p. 213- 234, 1991.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. Compactação do solo em sistema de plantio direto: Limites críticos e mitigação. In: COUTO, E.G. & BUENO, J.F., eds. Os (des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira. Cuiabá, UFMT, SBCS, 2004. p.167-198.
- RIBEIRO NETO, M. A. **Caracterização e gênese de uma topossequência de solo do município de Sena Madureira**. Dissertação (Dissertação em Agronomia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001. 131p.



- ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L., MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D.; DE FREITAS, H. C.; E SILVA FIGUEIRA, A. M. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. **Ecological applications**, v. 14, n. sp4, p. 22-32, 2004.
- ROCHA, H. R.; MANZI, A. O., CABRAL, O. M.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; SALESKA, S. R., ...; MAIA, J. F. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. **Journal Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 114, n. G1, 2009.
- RUIZ, H. A.; FERNANDES, R.; COSTA, L. M. D. Condutividade hidráulica, porosidade, resistência mecânica e intervalo hídrico ótimo em Latossolos artificialmente compactados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1003-1009, 2014.
- SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, 2007.
- SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p.29-38, 2007.
- SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34. p. L17709, 2007.
- SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1339-1348, 2011.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ...; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book.
- SASAL, M. C.; CASTIGKIONI, M. G.; WILSON, M. G. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 108, p. 24-29, 2010.
- SCARPARE, F.V. **Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agrohidrológico SWAP/WOFOST**. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. 163p.
- SELLERS, P. J.; BOUNOUA, L.; COLLATZ, G. J.; RANDALL, D. A.; DAZLICH, D. A.; LOS, S. O., ... & JENSEN, T. G. Comparison of radiative and physiological effects of doubled atmospheric CO<sub>2</sub> on climate. **Science**, v. 271, p. 1402-1406, 1996.
- SENEVIRATNE, S. I.; CORTI, T.; DAVIN, E. L.; HIRSCHI, M.; JAEGER, E. B.; LEHNER, I., ...; TEULING, A. J. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 99, n. 3-4, p. 125-161, 2010.
- SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R. W.; KLEINMAN, J. A. Phosphorus loss from land to water: Integrating agricultural and environmental management, **Plant and Soil**, v. 237, p. 287-307, 2001.

- SILVA, A. H. **Uso e manejo do solo: impactos em atributos físicos do solo e nas perdas de água, solo e nutrientes via escoamento superficial**. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2010, 95p.
- SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J. VEZZANI, F. M.; PARRON, V. L. M.; ...; NETO, H. F. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, 2015.
- SILVA, A. J. N. D.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 833-842, 2005.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997a.
- SILVA, J. R.L.; ABELARDO A. A. MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 27–36, 2012.
- SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 544-552, 2005.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 9-15, 2002.
- SINGH, U. K.; REN, L.; KANG, S. Simulation of soil water in space and time using an agro-hydrological model and remote sensing techniques. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 8, p. 1210-1220, 2010.
- SIQUEIRA JUNIOR, J. L.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A. Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. **Climate Change**, v. 129, p. 117–129, 2015.
- SOANE B. D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. **Soil Tillage Research**, v. 16, p. 179-201, 1990.
- SOMBROEK, W. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall: Consequences for the planning of agricultural occupation and the protection of primary forests. **Ambio**, v. 30, p. 388–396, 2001.
- SPENCER, J. W. Fourier series representation of the position of the Sun. **Search**, v. 2, p. 162-172, 1971.

- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, p.37-44, 2010.
- STERLING, S. M.; DUCHARNE, A.; POLCHER, J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 4, p. 385-390, 2013.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. E.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2603-2612, 2008.
- TEAM, R. Core. R development core team. *RA Lang Environ Stat Comput*, v. 55, p. 275-286, 2013.
- TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMAO, R. P.; GUEVARA, J. E.; ...; SILMAN, M. R. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, n. 6156, p. 1243092, 2013.
- TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671–677, 2002.
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico em Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, p. 1023-1031, 2004.
- TU, J. Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA. **Journal of Hydrology**, v. 379, p. 268–283, 2009.
- VAN DAM, J. C. Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation and case studies. Thesis (Doctoral) – Wageningen University, Wageningen, 2000. 179p.
- VAN DAM, J. C.; GROENENDIJK, P.; HENDRIKS, R. F. A.; KROES, J.G. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. **Vadose Zone Journal**, v. 7, n. 2, p. 640-653, 2008.
- VAN DER ENT, R. J.; SAVENIJE, H. H.; SCHAEFLI, B.; STEELE-DUNNE, S. C. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. **Water Resources Research**, v. 46, n. 9, 2010.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.
- VAZIFEDOUST, M. **Development of an agricultural drought assessment system: integration of agrohydrological modelling, remote sensing and geographical information.** Thesis (Doctor of Philosophy) - Wageningen University, Wageningen, 2007.171p.

- VERMA, A. K.; GUPTA, S. K.; ISAAC, R. K. Application of soil–water–atmosphere–plant model to assess performance of subsurface drainage system under semi-arid monsoon climate. **Irrigation and Drainage**, v. 64, p. 93-101, 2014.
- VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, p. 1271-1280, 2007.
- VITA, P. DE; PAOLO, E. D.; FECONDO, G.; FONZO, N. D.; PISANTE, M. No-tillage and convencional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 69-78, 2007.
- VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal, **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 28, p. 763-774, 2004.
- VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; DE OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. D.; ...; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1, p. 5-26, 2004.
- WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Science*. 2nd. Ed. San Diego: Academic Press, 2006. 627 p.
- WILLMOTT, C. J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, p. 1309-1313, 1982.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013), **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.
- XU, X.; HUANG, G.; SUN, C.; PEREIRA, L. S.; RAMOS, T. B.; HUANG, Q.; HAO, Y. Assessing the effects of water table depth on water use, soil salinity and wheat yield: Searching for a target depth for irrigated areas in the upper Yellow River basin. **Agricultural Water Management**, v.125, p. 46– 60, 2013.
- ZANETTE, S. V.; SAMPAIO, S. C.; SILVESTRE, M. G.; BOAS, M. A. V.; URIBE-OPAZO, M. A.; QUEIROZ, M. M. F. Análise espacial da umidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 239-247, 2007.



## APÊNDICES

### Apêndice A: Discretização vertical do perfil do solo (do arquivo de entrada do modelo SWAP)

```
* ISOILLY = number of soil layer, start with 1 at soil surface, [1..MAHO, I]
* ISUBLAY = number of sub layer, start with 1 at soil surface, [1..MACP, I]
* HSUBLAY = height of sub layer, [0.0..1000.0 cm, R]
* HCOMP= height of compartments in this layer, [0.0..1000.0 cm, R]
* NCOMP = number of compartments in this layer (= HSUBLAY/HCOMP), [1..MACP, I]
ISOILLY  ISUBLAY  HSUBLAY  HCOMP  NCOMP
  1      1      20.0    1.0    20
  2      2      20.0    5.0    4
  3      3      20.0    5.0    4
  4      4     140.0   10.0   14
```

### Apêndice B: Parâmetros da solução numérica da Equação de Richards (do arquivo de entrada do modelo SWAP).

```
DTMIN = 1.0d-6 !Minimum timestep, [1.d-7..0.01 d, R]
DTMAX = 0.2   !Maximum timestep, [ 0.01..0.5 d, R]
GWLCONV = 100.0 ! Maximum dif. groundwater level between iterations, [1.d-5..1000 cm, R]
CritDevPondDt = 1.0d-4 ! Maximum water balance error of ponding layer, [1.0d-6..0.1 cm, R]
MaxIt = 30    ! Maximum number of iteration cycles, [5..100 -, I]
MaxBackTr= 3 ! Maximum number of back track cycles within an iteration cycle, [1..10 -,I]
* Switch for mean of hydraulic conductivity, [1..4 -, I]:
* 1 = unweighted arithmetic mean; 2 = weighted arithmetic mean
* 3 = unweighted geometric mean; 4 = weighted geometric mean
Swkmean = 1
* Switch for explicit/implicit solution Richards equation with hydraulic conductivity, [1..2 -, I]:
SwkImpl = 0 ! 0 = explicit solution
          ! 1 = implicit solution
```

## Apêndice C: Arquivo de cultura (SWAP) para a floresta

```

* Contents: SWAP 4 - Crop data of simple model Forest (Maria Eliza Turek 2020)
* Comment area:
*PLANT GROWTH SECTION ***
* Part 1: Crop development
* Duration of crop growing period
  IDEV = 1 ! 1 = duration is fixed
          ! 2 = duration is variable
* If duration is fixed (IDEV = 1), specify:
LCC = 366 ! Duration of the crop growing period [1..366 days, I]
* If duration is variable (IDEV = 2), specify:
TSUMEA = 1050.0 ! Temperature sum from emergence to anthesis [0..1d4 °C, R]
TSUMAM = 1000.0 ! Temperature sum from anthesis to maturity [0..1d4 °C, R]
* Part 2: Light extinction
KDIF = 0.72 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 0.8 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWGC = 1 ! choice between leaf area index [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWGC = 1, list leaf area index LAI [0..12 (m2 leaf)/(m2 soil), R], as function of dev. stage [0..2 -, R]:
* If SWGC = 2, list soil cover fraction SCF [0..1 (m2 cover)/(m2 soil), R], as function of dev. stage [0..2 -, R]:
* DVS LAI or SCF ! ( maximum MAGRS records)
GCTB =
  0.00  5.0
  1.00  3.0
  2.00  5.0
* End of table
* Part 4: Crop factor or crop height
* Choose between crop factor and crop height
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and canopy resistance
SWCF = 2 ! 1 = crop factor
          ! 2 = crop height
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0..2 -, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -, R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1.d4 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -, R]:
  DVS  CH  CF  ! ( maximum MAGRS records)
  0.0  12.0  1.1!&
* End of table
* If SWCF = 2, in addition to crop height list crop specific values for:
ALBEDO = 0.134 ! crop reflection coefficient [0..1.0 -, R]
RSC = 58.0 ! Minimum canopy resistance [0..1d6 s/m, R]
RSW = 0.0 ! Canopy resistance of intercepted water [0..1d6 s/m, R]
* Part 5: rooting depth
* List rooting depth RD [0..1000 cm, R], as a function of development stage DVS [0..2 -, R]:
* DVS RD ! (maximum MAGRS records)
RDTB =
  0.0  200.00 !#
* End of table
* Part 6: yield response
* List yield response factor KY [0..5 -, R], as function of development stage DVS [0..2 -, R]:
* DVS KY (maximum MAGRS records)
KYTB =
  0.00  1.00
  2.00  1.00
* End of table
* Part 7: Soil water extraction by plant roots
* -- Part 7a: Oxygen stress -----
* Switch for oxygen stress:
SwOxygen = 1 ! 0 = No oxygen stress
          ! 1 = Oxygen stress according to Feddes et al. (1978)
          ! 2 = Oxygen stress according to Bartholomeus et al. (2008)
* If SwOxygen = 1, specify:
HLIM1 = 0.0 ! No water extraction at higher pressure heads [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer [-1000..100 cm, R]
* If SwOxygen = 2, specify:
SwOxygenType = 1 ! Switch for physical processes or reproduction functions to calculate oxygen stress:
          ! 1 = Use physical processes
          ! 2 = Use reproduction functions
* If SwOxygenType = 1, specify:
Q10_microbial = 2.8d0 ! Relative increase in microbial respiration at temperature rise of 10 °C
[1.0..4.0 -, R]
Specific_resp_humus = 1.6d-3 ! Respiration rate of humus at 25 °C [0.0..1.0 kg O2/kg °C/d, R]
SRL = 151375.d0 ! Specific root length [0.d0..1d10 (m root)/(kg root), R]
SwRootRadius = 2 ! Switch for calculation of root radius:
          ! 1 = Calculate root radius
          ! 2 = Root radius is given in input file
* If SwRootRadius = 1, specify:
Dry_mat_cont_roots = 0.075d0 ! Dry matter content of roots [0..1 -, R]
Air_filled_root_por = 0.05d0 ! Air filled root porosity [0..1 -, R]
Spec_weight_root_tissue = 1.0d3 ! Specific weight of non-airfilled root tissue [0..1d5 (kg root)/(m3 root), R]

```

```

Var_a                = 4.175d-10 ! Variance of root radius [0.1 -, R]
* If SwRootRadius = 2, specify:
Root_radius02 = 0.00015d0      ! Root radius (mind: in meter!) for oxygen stress module [1d-6..0.1 m, R]
* If SwOxygenType = 2, specify:

SwTopSub            = 2      ! Switch for topsoil or subsoil: 1 = topsoil, 2 = subsoil
NrStaring           = 3      ! Number of soil type according to Staring series (Wosten et al., 2001), [1..18, I]

* -- Part 7b: Drought stress -----

* Switch for drought stress:
SwDrought = 1      ! 1 = Drought stress according to Feddes et al. (1978)
              ! 2 = Drought stress according to De Jong van Lier et al. (2008)

* If SwDrought = 1, or in case of irrigation scheduling (SCHEDULE = 1), specify:
HLIM3H = -200.0    ! Pressure head below which water uptake reduction starts at high Tpot [-1d4..100 cm, R]
HLIM3L = -800.0    ! Pressure head below which water uptake reduction starts at low Tpot [-1d4..100 cm, R]
HLIM4 = -8000.0    ! No water extraction at lower soil water pressure heads [-2d4..100 cm, R]
ADCRH = 0.5        ! Level of high atmospheric demand, corresponding to HLIM3H [0..5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1        ! Level of low atmospheric demand, corresponding to HLIM3L [0.5 cm/d, R]
ALPHACRIT = 1.0    ! Critical stress index (Jarvis, 1989) for compensation of root water uptake [0.2..1 -, R]

* If SwDrought = 2, specify:
WILTPPOINT = -2000.0 ! Minimum pressure head in leaves [-1d8..-1d2 cm, R]
KSTEM = 1.03d-4      ! Hydraulic conductance between leaf and root xylem [1d-10..10 /d, R]
RXYLEM = 0.02        ! Xylem radius [1d-4..1 cm, R]
ROOTRADIUS = 0.05    ! Root radius [1d-4..1 cm, R]
KROOT = 3.5d-5       ! Radial hydraulic conductivity of root tissue [1d-10..1d10 cm/d, R]
ROOTCOEFA = 0.53     ! Defines relative distance between roots at which mean soil water content occurs [0..1 -, R]
SWHYDRIFT = 0        ! Switch for possibility hydraulic lift in root system [N=0, Y=1]
ROTEFF = 1.0        ! Root system efficiency factor [0..1 -, R]
STEPHR = 1.0        ! Step between values of hroot and hxylem in iteration cycle [0..10 cm, R]
CRITERHR = 0.001    ! Maximum difference of hroot between iterations; convergence criterium [0..10 cm, R]
TACCUR = 0.001      ! Maximum absolute difference between simulated and calculated potential transpiration rate
(1d-5..1d-2 cm/d, R)
* Part 8: salt stress

* Switch salinity stress
SWSALINITY = 0      ! 0 = No salinity stress
              ! 1 = Maas and Hoffman reduction function
              ! 2 = Use osmotic head

* If SWSALINITY = 1, specify threshold and slope of Maas and Hoffman
SALTMAX = 3.0      ! Threshold salt concentration in soil water [0..100 mg/cm3, R]
SALTSLOPE = 0.1    ! Decline of root water uptake above threshold [0..1.0 cm3/mg, R]

* If SWSALINITY = 2, specify:
SALTHEAD = 624.0   ! Conversion salt concentration (mg/cm3) into osmotic head (cm) [0..1000.0 cm/(mg/cm3), R]
* Part 9: interception

* Switch for rainfall interception method:
SWINTER = 1        ! 0 = No interception
              ! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Hune and Braden)
              ! 2 = Closed forest canopies (Gash)

* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1), specify:
COFAB = 0.25       ! Interception coefficient Von Hoyningen-Hune and Braden [0..1 cm, R]

* In case of interception method for closed forest canopies (SWINTER = 2), specify as function of time T [0..366 d, R]:
* PFREE = Free throughfall coefficient [0..1 -, R]
* PSTEM = Stem flow coefficient [0..1 -, R]
* SCANOPY = Storage capacity of canopy [0..10 cm, R]
* AVPREC = Average rainfall intensity [0..100 cm/d, R]
* AVEVAP = Average evaporation intensity during rainfall from a wet canopy [0..10 cm/d, R]

      T      PFREE      PSTEM      SCANOPY      AVPREC      AVEVAP      ! (maximum MAGRS records)
      0.0     0.8127    0.0222    3.84      2.88      0.336
      365.0   0.8127    0.0222    3.84      2.88      0.336
* End of table
* Part 10: Root density distribution and root growth

* List root density [0..100 cm/cm3, R] as function of relative rooting depth [0..1 -, R]:
* In case of drought stress according to Feddes et al. (1978) (SWDROUGHT = 1), relative root density (-) is sufficient

      Rdepth Rdensity      ! (maximum 11 records)
      RDCTB =
      0.0    1.0
      0.4    0.1
      1.0    0.0
* End of table

```



## Apêndice D: Arquivo de cultura (SWAP) para o milho

```

* Contents: SWAP 4 - Crop data of simple model
* Comment area:

*** PLANT GROWTH SECTION ***
* Part 1: Crop development

* Duration of crop growing period
  IDEV = 1 ! 1 = duration is fixed
          ! 2 = duration is variable

* If duration is fixed (IDEV = 1), specify:
  LCC = 168 ! Duration of the crop growing period [1..366 days, I]

* If duration is variable (IDEV = 2), specify:
  TSUMEA = 1050.0 ! Temperature sum from emergence to anthesis [0..1d4 °C, R]
  TSUMAM = 1000.0 ! Temperature sum from anthesis to maturity [0..1d4 °C, R]
  TBASE = 0.0 ! Start value of temperature sum [-10..30 °C, R]
* Part 2: Light extinction

  KDIF = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
  KDIR = 0.75 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction

  SWGC = 1 ! choice between leaf area index [=1] or soil cover fraction [=2]

* If SWGC = 1, list leaf area index LAI [0..12 (m2 leaf)/(m2 soil), R], as function of dev. stage [0..2 -, R]:
* If SWGC = 2, list soil cover fraction SCF [0..1 (m2 cover)/(m2 soil), R], as function of dev. stage [0..2 -, R]:

*      DVS  LAI or SCF ! ( maximum MAGRS records)
GCTB =
  0.00  0.05
  0.30  0.14
  0.50  0.61
  0.70  4.10
  1.00  5.00
  1.40  5.80
  2.00  5.20
* End of table
* Part 4: Crop factor or crop height

* Choose between crop factor and crop height
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and canopy resistance
  SWCF = 2 ! 1 = crop factor
          ! 2 = crop height

* If SWCF = 1, list crop factor CF [0..2 -, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -, R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1.d4 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -, R]:

  DVS  CF  CH      ! ( maximum MAGRS records)
  0.0  0.8  1.0
  0.3  0.8  15.0
  0.5  0.9  40.0
  0.7  1.0  140.0
  1.0  1.1  170.0
  1.4  1.2  180.0
  2.0  1.2  175.0
* End of table

* If SWCF = 2, in addition to crop height list crop specific values for:
  ALBEDO = 0.23 ! crop reflection coefficient [0..1.0 -, R]
  RSC = 70.0 ! Minimum canopy resistance [0..1d6 s/m, R]
  RSW = 0.0 ! Canopy resistance of intercepted water [0..1d6 s/m, R]
* Part 5: rooting depth

* List rooting depth RD [0..1000 cm, R], as a function of development stage DVS [0..2 -, R]:

*      DVS  RD      ! (maximum MAGRS records)
RDTB =
  0.00  5.00
  0.30  20.00
  0.50  50.00
  0.70  80.00
  1.00  90.00
  2.00  100.00
* End of table
* Part 6: yield response

* List yield response factor KY [0..5 -, R], as function of development stage DVS [0..2 -, R]:

```

```

*      DVS   KY   (maximum MAGRS records)
KYTB =
      0.00  1.00
      2.00  1.00
* End of table
* Part 7: Soil water extraction by plant roots

* -- Part 7a: Oxygen stress -----

* Switch for oxygen stress:
SwOxygen = 1      ! 0 = No oxygen stress
                ! 1 = Oxygen stress according to Feddes et al. (1978)
                ! 2 = Oxygen stress according to Bartholomeus et al. (2008)

* If SwOxygen = 1, specify:
HLIM1 = -15.0    ! No water extraction at higher pressure heads [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -30.0   ! h below which optimum water extr. starts for top layer [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -30.0   ! h below which optimum water extr. starts for sub layer [-1000..100 cm, R]

* If SwOxygen = 2, specify:
SwOxygenType = 1 ! Switch for physical processes or reproduction functions to calculate oxygen stress:
                ! 1 = Use physical processes
                ! 2 = Use reproduction functions

* If SwOxygenType = 1, specify:
Q10_microbial   = 2.8d0      ! Relative increase in microbial respiration at temperature rise of 10 °C
[1.0..4.0 -, R]
Specific_resp_humus = 1.6d-3 ! Respiration rate of humus at 25 °C [0.0..1.0 kg O2/kg °C/d, R]
SRL              = 151375.d0 ! Specific root length [0.d0..1d10 (m root)/(kg root), R]
SwRootRadius     = 2         ! Switch for calculation of root radius:
                        ! 1 = Calculate root radius
                        ! 2 = Root radius is given in input file

* If SwRootRadius = 1, specify:
Dry_mat_cont_roots = 0.075d0 ! Dry matter content of roots [0..1 -, R]
Air_filled_root_por = 0.05d0  ! Air filled root porosity [0..1 -, R]
Spec_weight_root_tissue = 1.0d3 ! Specific weight of non-airfilled root tissue [0..1d5 (kg root)/(m3 root), R]
Var_a              = 4.175d-10 ! Variance of root radius [0..1 -, R]

* If SwRootRadius = 2, specify:
Root_radiusO2 = 0.00015d0    ! Root radius (mind: in meter!) for oxygen stress module [1d-6..0.1 m, R]

* If SwOxygenType = 2, specify:
SwTopSub = 2      ! Switch for topsoil or subsoil: 1 = topsoil, 2 = subsoil
NrStaring = 3     ! Number of soil type according to Staring series (Wosten et al., 2001), [1..18, I]

* -- Part 7b: Drought stress -----

* Switch for drought stress:
SwDrought = 1      ! 1 = Drought stress according to Feddes et al. (1978)
                ! 2 = Drought stress according to De Jong van Lier et al. (2008)

* If SwDrought = 1, or in case of irrigation scheduling (SCHEDULE = 1), specify:
HLIM3H = -325.0    ! Pressure head below which water uptake reduction starts at high Tpot [-1d4..100 cm, R]
HLIM3L = -600.0    ! Pressure head below which water uptake reduction starts at low Tpot [-1d4..100 cm, R]
HLIM4 = -8000.0    ! No water extraction at lower soil water pressure heads [-2d4..100 cm, R]
ADCRH = 0.5       ! Level of high atmospheric demand, corresponding to HLIM3H [0..5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1       ! Level of low atmospheric demand, corresponding to HLIM3L [0..5 cm/d, R]
ALPHACRIT = 1.0   ! Critical stress index (Jarvis, 1989) for compensation of root water uptake [0.2..1 -, R]

* If SwDrought = 2, specify:
WILTPPOINT = -20000.0 ! Minimum pressure head in leaves [-1d8..-1d2 cm, R]
KSTEM = 1.03d-4 ! Hydraulic conductance between leaf and root xylem [1d-10..10 /d, R]
RXYLEM = 0.02 ! Xylem radius [1d-4..1 cm, R]
ROOTRADIUS = 0.05 ! Root radius [1d-4..1 cm, R]
KROOT = 3.5d-5 ! Radial hydraulic conductivity of root tissue [1d-10..1d10 cm/d, R]
ROOTCOEFA = 0.53 ! Defines relative distance between roots at which mean soil water content occurs [0..1 -, R]
SWHYDRIFT = 0 ! Switch for possibility hydraulic lift in root system [N=0, Y=1]
ROOTEFF = 1.0 ! Root system efficiency factor [0..1 -, R]
STEPHR = 1.0 ! Step between values of hroot and hxylem in iteration cycle [0..10 cm, R]
CRITERHR = 0.001 ! Maximum difference of Hroot between iterations; convergence criterium [0..10 cm, R]
TACCUR = 0.001 ! Maximum absolute difference between simulated and calculated potential transpiration rate
(1d-5..1d-2 cm/d, R)
* Part 8: salt stress

* Switch salinity stress
SWSALINITY = 0 ! 0 = No salinity stress
              ! 1 = Maas and Hoffman reduction function
              ! 2 = Use osmotic head

* If SWSALINITY = 1, specify threshold and slope of Maas and Hoffman
SALTMAX = 3.0 ! Threshold salt concentration in soil water [0..100 mg/cm3, R]
SALTSLOPE = 0.1 ! Decline of root water uptake above threshold [0..1.0 cm3/mg, R]

* If SWSALINITY = 2, specify:
SALTHEAD = 624.0 ! Conversion salt concentration (mg/cm3) into osmotic head (cm) [0..1000.0 cm/(mg/cm3), R]

```

## \* Part 9: interception

\* Switch for rainfall interception method:

```

SWINTER = 1 ! 0 = No interception
           ! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Hune and Braden)
           ! 2 = Closed forest canopies (Gash)

```

\* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1), specify:

```

COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Hune and Braden [0..1 cm, R]

```

\* In case of interception method for closed forest canopies (SWINTER = 2), specify as function of time T [0..366 d, R]:

\* PFREE = Free throughfall coefficient [0..1 -, R]

\* PSTEM = Stem flow coefficient [0..1 -, R]

\* SCANOPY = Storage capacity of canopy [0..10 cm, R]

\* AVPREC = Average rainfall intensity [0..100 cm/d, R]

\* AVEVAP = Average evaporation intensity during rainfall from a wet canopy [0..10 cm/d, R]

T	PFREE	PSTEM	SCANOPY	AVPREC	AVEVAP	! (maximum MAGRS records)
0.0	0.9	0.05	0.4	6.0	1.5	
365.0	0.9	0.05	0.4	6.0	1.5	

\* End of table

## \* Part 10: Root density distribution and root growth

\* List root density [0..100 cm/cm<sup>3</sup>, R] as function of relative rooting depth [0..1 -, R]:

\* In case of drought stress according to Feddes et al. (1978) (SWDROUGHT = 1), relative root density (-) is sufficient

\* Rdepth Rdensity ! (maximum 11 records)

```

RDCTB =
0.00 1.00
1.00 0.00

```

\* End of table