



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**
– MESTRADO –

**ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO BRASIL
UTILIZANDO O MÉTODO NRCS-CN POR COMPUTAÇÃO EM
NUVEM (GOOGLE EARTH ENGINE)**

Por

DEIVIDY KAIK DE LIMA ARAUJO

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Novembro de 2023



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO BRASIL
UTILIZANDO O MÉTODO NRCS-CN POR COMPUTAÇÃO EM
NUVEM (GOOGLE EARTH ENGINE)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

DEIVIDY KAIK DE LIMA ARAUJO

Orientador: Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos

Coorientador: Prof. Dr. Alexandro Medeiros Silva

João Pessoa – Paraíba

Novembro de 2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663e Araujo, Deividy Kaik de Lima.

Estimativa de escoamento superficial no Brasil utilizando o método NRCS-CN por computação em nuvem (google earth engine) / Deividy Kaik de Lima Araujo. - João Pessoa, 2023.

219 f.

Orientação: Celso Augusto Guimarães Santos.

Coorientação: Alexandro Medeiros Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Escoamento superficial. 2. Mudanças climáticas. 3. Resiliência dos ecossistemas. 4. Sensoriamento Remoto. 5. Teste de fisher. I. Santos, Celso Augusto Guimarães. II. Silva, Alexandro Medeiros. III. Título.

UFPB/BC

CDU 556.16(043)

DEIVIDY KAIK DE LIMA ARAUJO

**ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO BRASIL
UTILIZANDO O MÉTODO NRCS-CN POR COMPUTAÇÃO EM
NUVEM (GOOGLE EARTH ENGINE)**

Dissertação aprovada em 09 de novembro de 2023 como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **CELSO AUGUSTO GUIMARAES SANTOS**
Data: 11/11/2023 00:19:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos – UFPB
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRO MEDEIROS SILVA**
Data: 14/11/2023 16:21:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alexandro Medeiros Silva – UFPB
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 **RICHARDE MARQUES DA SILVA**
Data: 11/11/2023 09:31:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Richarde Marques Da Silva – UFPB
(Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL MOISES FERREIRA DE QUEIROZ**
Data: 16/11/2023 23:07:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz – UFCG
(Examinador Externo)

Dedico aos que sempre estiveram do meu
lado e correram comigo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar minha gratidão ao criador dos universos, Deus, aquele que tem o poder de colocar os planetas em órbita e manipular os átomos. Sem Sua permissão, nada seria possível. Agradeço a toda minha família, especialmente a Kalina Ligia, minha mãe; Mércia Maria, minha tia; Julyana Araújo, minha companheira; e meus avós, Francisco Leandro e Márcia Maria.

Meus sinceros agradecimentos ao Professor Dr. Celso Augusto Guimarães Santos, pelo apoio e oportunidade de ser seu orientando. É uma honra aprender sempre mais com você e um privilégio tê-lo como orientador. Desde o início, sua orientação sábia e conselhos valiosos foram fontes inestimáveis de inspiração. Sua habilidade em compartilhar conhecimento, bem como em motivar e desafiar, foi crucial para o sucesso do meu projeto de pesquisa. A paciência demonstrada ao responder às minhas dúvidas e orientar meu trabalho demonstrou um comprometimento excepcional com o processo de aprendizagem. Gratidão.

Agradeço também ao meu coorientador, Prof. Dr. Alexandro Medeiros Silva, por criar um ambiente de trabalho colaborativo e encorajador, que contribuiu significativamente para o meu progresso. Sua dedicação em incentivar a excelência e em fornecer um suporte constante fez toda a diferença na minha jornada acadêmica na fase do mestrado.

Todos os membros da banca foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. A visão crítica dos Professores Dr. Richarde Marques da Silva e Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz foi indispensável para alcançarmos este resultado. Serei eternamente grato por suas contribuições.

Durante esta fase, tive o privilégio de trocar conhecimento e aprender bastante com Dr. Reginaldo Moura Brasil Neto, um grande pesquisador na área de recursos hídricos. Gratidão. Aos grandes parceiros que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, Raul Muniz e Lindemberg Vidal, deixo minhas saudações e agradecimentos.

Agradeço a todos os pesquisadores que colaboraram direta ou indiretamente, reconhecendo o brilhante esforço e dedicação em suas literaturas científicas publicadas.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos, colegas e companheiros que me apoiaram e acreditaram em mim nesta trajetória, contribuindo positivamente para que eu pudesse chegar até este momento. Muito obrigado.

RESUMO

O presente estudo foca na gestão do escoamento superficial, crucial para a conservação dos recursos hídricos e uso sustentável dos biomas brasileiros. Objetiva-se estimar e avaliar o escoamento superficial no território brasileiro de forma distribuída, empregando o método NRCS-CN na plataforma *Google Earth Engine* (GEE). A metodologia envolve o cálculo das lâminas de escoamento pixel a pixel, utilizando dados de sensoriamento remoto e a linguagem JavaScript. Foram aplicados dados de precipitação (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data – CHIRPS*), uso e ocupação do solo (*Land Cover Type 1 MODIS*) e tipo de solo (*OpenLandMap Soil Texture Class USDA System*). A partir destes, classificaram-se os valores de Curva Número (CN), ajustáveis conforme as Condições de Umidade Antecedente (CUA) do solo. Os dados processados foram exportados (formatos TIF e CSV) para elaboração de mapas em softwares SIG (ArcGis e Qgis), aplicação de estatísticas descritivas (Excel) e teste de significância (Teste de Fisher - MATLAB). Investigou-se a relação entre escoamento e precipitação, considerando as características de Tipo e Uso do solo, através do Teste de Fisher. Os resultados indicam alta variabilidade no comportamento espaço-temporal das lâminas de escoamento no Brasil. Destaca-se que o Bioma Pampa apresentou o maior escoamento médio anual de 569 mm (2002), enquanto a Caatinga teve o menor, com 40 mm (2012), em uma série histórica de 2001–2020. Nesse período, o ano mais seco teve um escoamento de 7,02% em relação ao ano de escoamento mais intenso (529 mm de diferença). Foram gerados 120 mosaicos com os resultados das relações de precipitação e escoamento, abrangendo todas as combinações de tipo e uso/ocupação do solo. Este estudo fornece conhecimentos valiosos para a elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas e mitigação de riscos de desastres hídricos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Mudanças Climáticas, Resiliência dos Ecossistemas, NRCS-CN, Estatística Descritiva, Teste de Fisher.

ABSTRACT

The present study focuses on the management of surface runoff, essential for the conservation of water resources and sustainable use of Brazilian biomes. The objective is to estimate and evaluate the surface runoff across the Brazilian territory in a distributed manner, employing the NRCS-CN method on the Google Earth Engine (GEE) platform. The methodology involves calculating runoff depth pixel by pixel, using remote sensing data and the JavaScript language. Data from precipitation (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data – CHIRPS), land use and land cover (Land Cover Type 1 MODIS), and soil type (OpenLandMap Soil Texture Class USDA System) were applied. Based on these, Curve Number (CN) values were classified, adjustable according to the Antecedent Moisture Conditions (AMC) of the soil. The processed data were exported (in TIF and CSV formats) for map production in GIS software (ArcGis and Qgis), application of descriptive statistics (Excel), and significance testing (Fisher's Exact Test - MATLAB). The relationship between runoff and precipitation, considering the characteristics of Soil Type and Land Use, was investigated through Fisher's Exact Test. The results indicate high variability in the spatiotemporal behavior of surface runoff in Brazil. It is noteworthy that the Pampa Biome showed the highest average annual runoff of 569 mm (2002), while the Caatinga had the lowest, at 40 mm (2012), in a historical series from 2001-2020. In this period, the driest year had a runoff of 7.02% compared to the year with the most intense runoff (529 mm difference). A total of 120 mosaics were generated with the results of the precipitation and runoff relationships, covering all combinations of soil type and land use/occupation. This study provides valuable knowledge for the development of climate change adaptation plans and the mitigation of water-related disaster risks.

KEYWORDS: Remote Sensing, Climate Change, Ecosystem Resilience, NRCS-CN, Descriptive Statistics, Fisher's Test.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	GERAIS	16
2.2	ESPECÍFICOS	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	IMPORTÂNCIA E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA.....	17
3.2	O CICLO HIDROLÓGICO	19
3.3	MODELAGEM CHUVA-VAZÃO (CHUVA-DEFLÚVIO)	21
3.4	O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SEUS COMPONENTES.....	23
3.5	SENSORIAMENTO REMOTO	24
3.5.1	<i>CHIRPS Daily - Precipitações</i>	<i>25</i>
3.5.2	<i>OpenLandMap – Grupo Hidrológico do solo (Textura do Solo)</i>	<i>26</i>
3.5.3	<i>MODIS - Uso e Ocupação do solo</i>	<i>27</i>
3.6	MÉTODO NRCS-CN.....	28
3.7	MECANISMO DO <i>GOOGLE EARTH ENGINE</i>	29
3.8	ESTATÍSTICA DESCRITIVA	30
3.9	TESTE DE FISHER	33
4	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	36
5	MATERIAL E MÉTODOS	42
5.1	SCRIPT CHUVA-VAZÃO COM DADOS DE NUVEM	43
5.2	MODELO <i>NRCS-CN</i> NO GEE.....	43
5.3	AVALIAÇÃO DAS LÂMINAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	48
5.3.1	<i>Elaboração de Layout e Exportação de Mapas e GIFs</i>	<i>49</i>
5.3.2	<i>Estatística Descritiva dos Biomas</i>	<i>49</i>
5.3.3	<i>Teste de Fisher</i>	<i>49</i>
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
6.1	DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL ESCOAMENTO	52
6.1.1	<i>Bioma Amazônia.....</i>	<i>52</i>
6.1.2	<i>Bioma Caatinga.....</i>	<i>53</i>
6.1.3	<i>Bioma Cerrado</i>	<i>54</i>

6.1.4	<i>Bioma Mata Atlântica</i>	55
6.1.5	<i>Bioma Pampa</i>	56
6.1.6	<i>Bioma Pantanal</i>	57
6.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA - PRECIPITAÇÃO	59
6.2	ESTATÍSTICA DESCRITIVA - ESCOAMENTO	66
6.3	TESTE DE FISHER - PRECIPITAÇÃO VERSUS ESCOAMENTO	72
7	CONCLUSÕES	84
8	RECOMENDAÇÕES	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
9	APÊNDICE A	102
9.1	TESTE DE FISHER – BIOMA AMAZÔNIA	103
9.2	TESTE DE FISHER – BIOMA CAATINGA	123
9.3	TESTE DE FISHER – BIOMA CERRADO.....	143
9.4	TESTE DE FISHER – BIOMA MATA ATLÂNTICA.....	163
9.5	TESTE DE FISHER – BIOMA PAMPA	183
9.6	TESTE DE FISHER – BIOMA PANTANAL.....	203

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Principais componentes do ciclo hidrológico.	20
Figura 2 - Precipitação / <i>CHIRPS Daily</i>	26
Figura 3 - Textura do solo (Grupo Hidrológico) - América do Sul / <i>OpenLandMap</i>	27
Figura 4 - Uso e Ocupação do solo / <i>MODIS</i>	28
Figura 5 – Principais componentes do <i>Earth Engine Editor</i>	30
Figura 6 - Mapa do Brasil na América do Sul, mostrando a distribuição dos biomas brasileiros e os estados.	41
Figura 7 – Fluxograma Metodológico.	42
Figura 8 - Fluxograma Script chuva-vazão (GEE – <i>JavaScript</i>).	43
Figura 9 – Ilustração do modelo NRCS-CN no GEE	47
Figura 10 – Organograma da exposição dos resultados	48
Figura 11 – Mapas utilizados para aplicação do modelo NRCS-CN no GEE (ano 2001)..	51
Figura 12 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Amazônia	52
Figura 13 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Caatinga.....	53
Figura 14 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Cerrado	54
Figura 15 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Mata Atlântica	55
Figura 16 – Distribuição das Lâminas de escoamento Bioma Pampa.....	56
Figura 17 – Distribuição das Lâminas de escoamento Bioma Pantanal.....	57
Figura 18 - Precipitação máxima, média, mínima e desvio padrão anual Biomas Brasileiros.	65
Figura 19 - Escoamento máximo, médio, mínimo e desvio padrão anual no período 2001 a 2020.	71
Figura 20 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Caatinga em 2004.	72
Figura 21 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Amazônia em 2014.	74
Figura 22 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Cerrado em 2004.....	76
Figura 23 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Mata Atlântica em 2009.....	78
Figura 24 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Pampa em 2002.....	80

Figura 25 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Pantanal em 2014.....	82
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contagens de homens e mulheres que praticam ou não exercício físico	34
Tabela 2 – Reclassificação do Tipo de Solo (Grupo hidrológico).	44
Tabela 3 – Reclassificação dos valores de Uso e Ocupação do Solo.	44
Tabela 4 – Número da curva (NRCS-CN) simplificado.	46
Tabela 5 - Estatística descritiva para a precipitação média no período de 2001–2020	59
Tabela 6 – Estatística Descritiva precipitação dos Biomas	63
Tabela 7 - Estatística descritiva para escoamento médio no período de 2001–2020	66
Tabela 8 – Estatística Descritiva do Escoamento por Biomas	69

1 INTRODUÇÃO

O escoamento superficial desempenha um papel fundamental na produtividade de diferentes biomas, incluindo terras de uso agrícola. Portanto, para a gestão dos ecossistemas, é fundamental compreender as influências mais relevantes nos processos hidrológicos (Yu et al., 2016). O escoamento é um fenômeno natural que ocorre em praticamente todos os regimes climáticos (Zhao et al., 2018; Brito et al., 2021) e seus impactos afetam inúmeros setores, como agricultura, recursos hídricos, mudanças climáticas, aquecimento global, turismo, energia elétrica e os ecossistemas (biomas) (Ionita et al., 2016).

A estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas é necessária para o planejamento e execução de projetos em gerenciamento de recursos hídricos (Tucci, 2001). Os principais fatores que podem exercer influência no escoamento superficial em uma bacia são: área e forma da bacia, características topográficas da bacia (declividade, depressão e relevo), condições de superfície do solo e constituição geológica (vegetação, impermeabilização, capacidade de infiltração e tipos de rochas), e interferência humana (irrigação, canalização, transposição de bacias, mudanças no uso e cobertura do solo).

Os diversos impactos no meio ambiente urbano podem provocar mudanças climáticas; dentre eles, as emissões de dióxido de carbono aparecem como os mais severos e com poucas soluções eficientes (HULME et al., 2002). Entre esses impactos, a forma desordenada e sem planejamento, como a maioria dos grandes centros urbanos cresceu, e seus padrões de urbanização contribuíram para o surgimento de espaços sem preocupação com o meio ambiente e que prejudicam a isonomia, eficiência e continuidade das cidades (GUEDES et al., 2017; UNTHANK, 2016).

Pontua-se que as lâminas de escoamento superficial ocasionadas pelos eventos extremos de chuva representam um dos mais severos desastres naturais do mundo, capazes de causar danos a nível global e regional (Merino et al., 2015), e são consideradas como o segundo maior desastre em termos geográficos (Thomas et al., 2016), o que torna a sua compreensão espaço-temporal essencial para gerenciar os recursos hídricos.

Uma forma de gerenciar a dinâmica do escoamento superficial e do uso e cobertura do solo é por meio da utilização de geotecnologias. O sensoriamento remoto pode ser definido pelas atividades baseadas na obtenção e diagnóstico de informações adquiridas por sistemas fotográficos ou opticoeletrônicos, os quais detectam e armazenam a radiação emitida ou refletida de um objeto (NOVO, 2002).

O *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) – anteriormente conhecido como *Soil Conservation Service* (SCS) – do *United States Department of Agriculture* (USDA), desenvolveu um método conhecido como curva-número (CN). Este método utiliza o total de precipitação e um índice

de abstrações iniciais para calcular o volume total de água escoada em uma bacia (MANTOVANI et al., 2013). Vários estudos têm sido realizados incorporando Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) locais em modelos hidrológicos (MELESSE e SHIH, 2002). Conforme mencionado, é comum incorporar SIGs locais em modelos hidrológicos. O diferencial deste trabalho está no processamento em nuvem das imagens de escoamento, tornando o processo mais dinâmico e eficiente com o *Google Earth Engine* (GEE).

De acordo com Gorelick et al. (2017), o *Google Earth Engine* é uma plataforma de análise geoespacial em escala planetária, baseada em nuvem, que utiliza o poder computacional do *Google* para resolver uma variedade de problemas sociais de alto impacto. Além disso, o *Google Earth Engine* é um serviço de computação paralelo e de alto desempenho. Acesso e controle são feitos por meio de uma interface de programação de aplicativos (API), acessível pela Internet, e um ambiente de desenvolvimento interativo (IDE) baseado na web, facilitando a criação de protótipos e a visualização rápida dos resultados.

Modelos hidrológicos, particularmente os distribuídos, necessitam de dados específicos sobre uso e cobertura do solo e sua localização na bacia (LIU e DE SMEDT, 2005). No campo da hidrologia, o GEE tem sido usado para diversos fins, incluindo o monitoramento da dinâmica das águas superficiais (NGUYEN et al., 2019), monitoramento de reservatórios ou lagos (MURPHY et al., 2018), estudos costeiros (VOS et al., 2019), e estudos de neve e geleiras (SNAPIR et al., 2019), entre outros.

Observa-se a existência de estudos do processo precipitação-escoamento, semelhantes a este trabalho, como os apresentados por Jain et al. (2021) e Sujud e Jaafar (2022), utilizando computação em nuvem no GEE. No entanto, nota-se a escassez de trabalhos deste tipo (modelo distribuído NRCS-CN no GEE) para o território brasileiro, tornando este estudo mais desafiador devido às dimensões continentais do Brasil.

Nesse contexto, a presente pesquisa visa contribuir para o estudo das lâminas de escoamento superficial geradas em todo o Brasil, utilizando diferentes tipos de produto e técnicas de sensoriamento remoto, juntamente com análises estatísticas. A pesquisa também é uma oportunidade de mitigar a escassez de estudos que combinam geoprocessamento em nuvem no *Google Earth Engine* (GEE) com estimativas de lâminas de escoamento superficial. Entre as muitas vantagens, destaca-se a rapidez no processamento e análise de dados para desenvolver resultados abrangendo todo o Brasil.

As informações sobre variações das lâminas de escoamento, neste caso, fornecem aos gestores dos recursos hídricos dados valiosos para auxiliar em várias áreas, como produção agrícola, planejamento de secas, controle de enchentes, e análise temporal do aumento das lâminas, entre outros aspectos relacionados.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

O objetivo deste estudo é realizar uma estimativa e avaliação espaço-temporal do escoamento superficial em todo o território brasileiro, na escala de Biomas, por meio da aplicação de um algoritmo com o modelo chuva-vazão *NRCS-CN*. Este modelo é desenvolvido no *Google Earth Engine* (GEE) e inclui análises estatísticas, tanto descritivas quanto de testes de significância.

2.2 Específicos

- Fornecer informações e produtos derivados da estimativa e análise do comportamento espaço-temporal do escoamento superficial no Brasil, no período de 2001 a 2020, de maneira distribuída;
- Desenvolver um modelo de estimativa de escoamento superficial por meio de computação em nuvem, adaptado às características dos ecossistemas brasileiros;
- Realizar análises de precipitação e escoamento superficial utilizando dados de sensoriamento remoto, com o objetivo de identificar a probabilidade e as relações entre os valores estimados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção do estudo, é realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre os principais conceitos e temas relevantes à pesquisa.

3.1 Importância e distribuição da água

A água, elemento vital para a existência e sustentação da vida na Terra, desempenha um papel crítico em diversas esferas da atividade humana e dos ecossistemas naturais. Sua relevância é amplamente reconhecida, dada a necessidade da água para a sobrevivência de todos os seres vivos, a produção de alimentos, a geração de energia, o desenvolvimento industrial, a manutenção da saúde humana e o equilíbrio ecológico.

No contexto agrícola, a água é um recurso indispensável, sendo a irrigação um componente crucial para a produção de alimentos. A escassez hídrica, nesse cenário, pode resultar em redução significativa da produção agrícola, acarretando riscos de insegurança alimentar. Além disso, a água tem um papel fundamental na geração de energia hidrelétrica, representando uma fonte renovável e estratégica de eletricidade em diversas nações.

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), no Brasil, a área dedicada à irrigação e fertirrigação totaliza cerca de 8,2 milhões de hectares. Destes, aproximadamente 5,3 milhões de hectares são destinados especificamente à irrigação, enquanto os restantes 2,9 milhões de hectares são empregados majoritariamente em fertirrigação, notadamente na cultura da cana-de-açúcar para a aplicação de vinhaça.

Contudo, as projeções indicam que até 2040, a extensão total dedicada a práticas de irrigação e fertirrigação no Brasil poderá alcançar cerca de 12,4 milhões de hectares. Este aumento será predominantemente na área de irrigação, com uma expansão estimada de 5,3 para 9,5 milhões de hectares, representando um incremento de aproximadamente 79%. Em termos da cultura da cana-de-açúcar, a área total alocada é de cerca de 3,65 milhões de hectares, divididos entre 2,9 milhões de hectares para fertirrigação e o restante distribuído em sistemas de irrigação para salvamento (15,5%), suplementação (4,2%) e irrigação plena (0,8%). Estes últimos se caracterizam por aplicar quantidades variáveis de água, desde lâminas baixas em períodos críticos até a satisfação completa da demanda hídrica da planta (ANA, 2021).

Os 0,75 milhão de hectares dedicados à irrigação na cana-de-açúcar representam 14% da área total de irrigação no país. Estima-se que este número cresça para 1,13 milhão de hectares até 2040, o que implica um aumento de 50,67%. Este crescimento expressivo reflete os avanços na tecnologia de irrigação no setor sucroalcooleiro. Contudo, é crucial ressaltar que tal progresso implica um aumento na demanda por recursos hídricos, num contexto em que as questões ambientais relacionadas ao uso e à qualidade da água estão se tornando cada vez mais prementes.

Essa discussão é especialmente relevante em regiões como o Nordeste brasileiro, onde historicamente a escassez de chuvas tem sido apontada pelas instituições governamentais como a principal causa da falta de acesso à água. Essa perspectiva tende a simplificar o problema, abordando-o como uma questão meramente técnica e administrativa, sem considerar as dimensões sociais e políticas envolvidas na gestão dos recursos hídricos, como evidenciado nas políticas da Agência Nacional de Águas (ANA).

Conforme os relatórios anuais da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) sobre a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, a região Nordeste enfrenta consideráveis desafios relacionados à escassez hídrica. Tais dificuldades são frequentemente atribuídas a fatores climáticos e geográficos específicos da região. De acordo com a ANA (2020, p. 17):

“Os baixos índices de precipitação, a irregularidade do seu regime, temperaturas elevadas durante todo o ano, a baixa capacidade de armazenamento de água no solo, entre outros fatores, contribui para os reduzidos valores de disponibilidade hídrica observados no Nordeste Brasileiro. Naturalmente, é uma área crítica de elevado risco hídrico e demanda gestão especial, compreendendo intervenções de caráter permanente e estruturante para oferta de água.”

A água é um elemento vital para a existência e sustentabilidade da vida na Terra. Sua presença é ubíqua, variando em estado físico e distribuindo-se em diferentes ambientes, como a atmosfera, a superfície terrestre e reservatórios subterrâneos. Devido à sua importância intrínseca para as esferas sociais e econômicas, a água tornou-se um dos recursos naturais mais valiosos. Como enfatiza Carson (2010), a água não é apenas um componente essencial para a sobrevivência, mas também desempenha um papel crucial no desenvolvimento e no bem-estar das sociedades humanas.

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWAP, 2016) destaca que aproximadamente metade da força de trabalho global está empregada em setores diretamente dependentes dos recursos hídricos e naturais. Estes setores incluem agricultura, silvicultura, pesca, energia, manufatura de recursos intensivos, reciclagem, construção e transporte. A gestão eficiente dos recursos hídricos, juntamente com infraestruturas hídricas adequadas e o acesso a um fornecimento seguro e confiável de água, além de serviços de saneamento eficazes, são cruciais para elevar os padrões de vida, impulsionar economias locais, gerar empregos de qualidade e promover a inclusão social (WWAP, 2016).

Ao examinar a distribuição da água no planeta, constata-se que 97,5% é água salgada, encontrada principalmente em mares e oceanos, enquanto apenas 2,5% é água doce, localizada em rios, lagos e geleiras (MELLO e SILVA, 2013). O Brasil detém a maior reserva de água doce do mundo, representando 12% do total global, superando as quantidades presentes em continentes como

Europa e África, que possuem, respectivamente, 7% e 10% dos recursos hídricos globais (ROTHER, 2016). Contudo, observa-se uma distribuição espacial desigual desses recursos no Brasil, com 81% concentrados na Região Hidrográfica Amazônica, onde reside apenas cerca de 5% da população do país e onde a demanda por água é relativamente baixa. Em contraste, as regiões hidrográficas ao longo do Oceano Atlântico, que abrigam 45,5% da população brasileira, dispõem de apenas 2,7% dos recursos hídricos do país (BRASIL, 2015). Essa desigualdade destaca a necessidade de uma gestão sustentável da água, especialmente em áreas com escassez hídrica.

A gestão eficaz dos recursos hídricos é um desafio que se estende além das fronteiras nacionais, exigindo uma abordagem global. É essencial adotar práticas de conservação da água, uso eficiente e equitativo, proteção dos ecossistemas aquáticos e melhoria da infraestrutura hídrica. A cooperação entre governos, organizações internacionais, o setor privado e a sociedade civil é imprescindível para enfrentar os desafios relacionados à água e assegurar sua disponibilidade para as futuras gerações.

3.2 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo da água, é o processo pelo qual a água circula continuamente entre a atmosfera, a superfície terrestre e os oceanos, alterando-se entre os estados líquido, sólido (gelo) e gasoso (vapor). Este ciclo inicia-se com a evaporação da água de fontes como oceanos, lagos, rios e solo, um processo estimulado pelo calor solar que transforma a água em vapor, ascendendo à atmosfera (SILVA et al., 2004).

Além de desempenhar um papel crucial na distribuição da água no planeta e na regulação climática, o ciclo hidrológico também exerce uma influência significativa nos ecossistemas terrestres, na agricultura e no fornecimento de água potável às comunidades humanas. Contudo, este ciclo pode ser afetado por diversos fatores, incluindo mudanças climáticas e atividades humanas. Práticas como desmatamento, urbanização e poluição têm o potencial de alterar as taxas de evaporação, a qualidade da água e a disponibilidade de recursos hídricos em diferentes regiões (TUCCI et al., 2004).

O ciclo hidrológico, como descrito por Castro e Lopes (2001), é um processo contínuo e fechado, impulsionado pela radiação solar e pela gravidade, onde a água transita desde a evaporação no mar, passando pelo continente e retornando ao mar, essencial para a renovação da água no planeta. Este ciclo é um fenômeno global de circulação fechada.

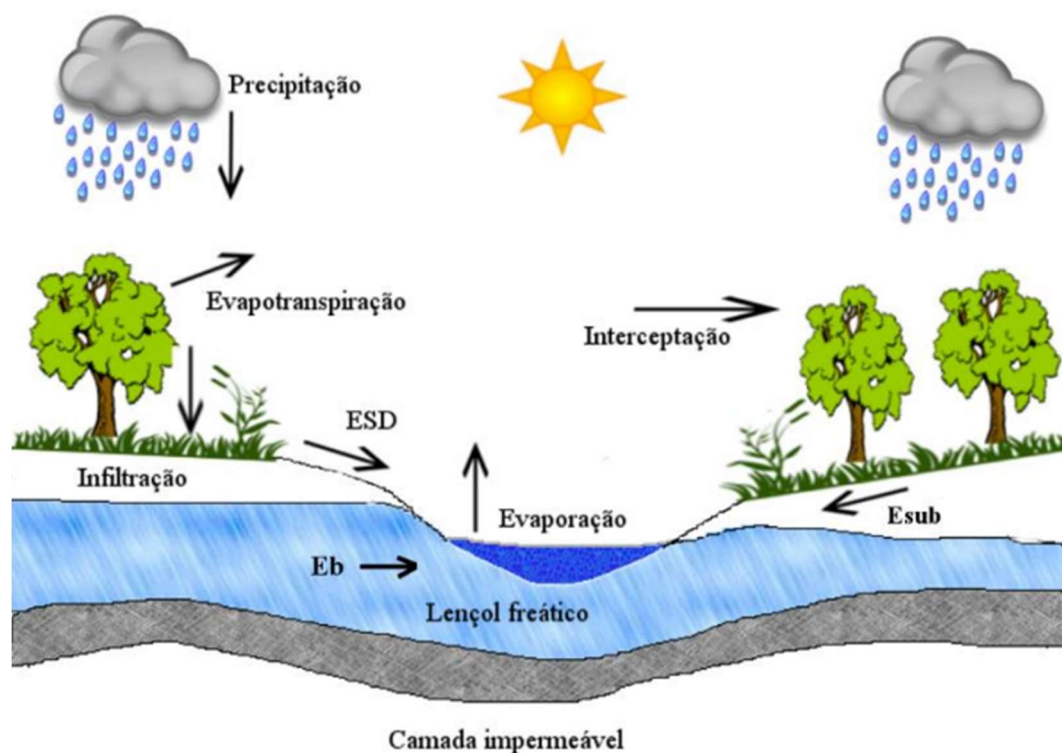


Figura 1- Principais componentes do ciclo hidrológico.

Fonte: Castro e Lopes, (2001).

Dentro deste ciclo, a precipitação é o principal componente de entrada, e todos os demais elementos estão relacionados às suas características espaciais e temporais, bem como aos fatores do solo, vegetação e manejo local (SILVA et al., 2004). Quando a precipitação atinge a superfície terrestre, ela se divide em duas partes principais: infiltração no solo e escoamento superficial.

A infiltração é fundamental, pois fornece água para as plantas e recarrega os aquíferos, reabastecendo nascentes e contribuindo para o escoamento de base nos rios durante períodos de estiagem (MELLO e SILVA, 2013). Esta parcela da água, que infiltra e é retida no solo, desempenha um papel vital na manutenção dos ecossistemas terrestres e na sustentabilidade dos recursos hídricos.

Por outro lado, a parcela que resulta em escoamento superficial direto é impulsionada pela gravidade e é responsável pelo transporte de sedimentos. Este componente do ciclo hidrológico pode ter impactos significativos no meio ambiente, incluindo a erosão do solo, perda de nutrientes agrícolas e assoreamento de cursos d'água. Além disso, o escoamento superficial pode contribuir para a contaminação dos corpos hídricos, afetando a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos.

O escoamento superficial direto, que se inicia com a formação de filetes de água sobre a superfície do solo, é impulsionado pela gravidade e afetado pelo relevo, vencendo o atrito com a superfície do solo. Este fenômeno é influenciado pela cobertura vegetal, que desempenha um papel crucial na redução do impacto da chuva sobre o solo e na obstrução do escoamento superficial, favorecendo a infiltração da água e minimizando a erosão (SILVEIRA, 2001).

No ciclo hidrológico, a água que infiltra no solo contribui para a transpiração das plantas, processo pelo qual a água absorvida é utilizada em processos metabólicos e posteriormente liberada para a atmosfera. Além disso, a evaporação, que é a passagem da água do estado líquido para o gasoso, ocorre em massas de água e em superfícies úmidas, como o solo.

É importante ressaltar que a evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente na natureza, e a distinção entre esses dois processos é muitas vezes difícil. Portanto, o termo evapotranspiração é utilizado para descrever a transferência total de água do sistema solo-planta para a atmosfera (TUCCI et al., 2004). Este processo é fundamental no ciclo hidrológico, podendo, em algumas regiões, superar a quantidade de água recebida pela precipitação. A evapotranspiração é crucial para o planejamento de áreas agrícolas, seja irrigadas ou de sequeiro, a determinação da necessidade hídrica das culturas, e a construção e operação de reservatórios. A compreensão da evapotranspiração, juntamente com o ganho de água por meio das precipitações, é essencial para determinar a disponibilidade hídrica em uma região.

As ações humanas, tais como o manejo inadequado do solo, podem influenciar significativamente a dinâmica do ciclo hidrológico, alterando a quantidade e a intensidade do escoamento superficial direto. A redução da capacidade de infiltração do solo, resultado de práticas inadequadas, leva a um aumento do escoamento superficial direto, que por sua vez contribui para a erosão e o transporte de sedimentos. Além disso, esse aumento no escoamento superficial direto resulta na diminuição da recarga dos aquíferos (MELLO e SILVA, 2013).

Essa influência humana na hidrologia de uma bacia hidrográfica é crucial, pois reflete diretamente no ciclo hidrológico, um processo natural vital que descreve a circulação contínua da água na Terra. Este ciclo é essencial para garantir a disponibilidade de água para todos os seres vivos e para a manutenção dos ecossistemas. A interação entre os componentes do ciclo hidrológico - precipitação, infiltração, evapotranspiração e escoamento - é complexa e sensível às intervenções humanas, destacando a importância da gestão sustentável dos recursos hídricos e do manejo adequado do solo.

3.3 Modelagem chuva-vazão (chuva-deflúvio)

A modelagem chuva-vazão é uma metodologia empregada para estimar a resposta dos rios e sistemas de drenagem em face das precipitações. Essencial em campos como hidrologia e engenharia de recursos hídricos, esta técnica visa compreender e antecipar o fluxo hídrico em bacias hidrográficas.

Diversos métodos são aplicáveis na modelagem chuva-vazão, sendo um dos mais prevalentes o emprego de modelos hidrológicos. Estes modelos são estruturados com base nas propriedades físicas da bacia, incluindo topografia, uso do solo, vegetação e a capacidade de retenção de água do

solo e aquíferos. Dados históricos sobre precipitação e vazão são fundamentais para a calibração e validação desses modelos (TUCCI et al., 2004).

Entender a variabilidade espaço-temporal da vazão é crucial para a engenharia e o planejamento hídrico, pois a disponibilidade de água influencia diretamente o uso e a demanda por recursos hídricos na bacia. A quantificação dos recursos hídricos, realizada através do monitoramento hidrológico, é essencial para o gerenciamento adequado desses recursos. As séries de dados hidrológicos são ferramentas valiosas para os profissionais da área, possibilitando decisões informadas relativas ao planejamento, uso e gestão dos recursos hídricos (NUNES, 2015).

Em essência, uma bacia hidrográfica pode ser vista como um sistema que transforma a chuva em vazão ou deflúvio. Portanto, a determinação de variáveis como a vazão de pico, volume do escoamento superficial direto e o hidrograma resultante de distintos eventos pluviométricos é fundamental. Estes dados são imprescindíveis tanto para a gestão de desastres naturais quanto para o projeto e construção de estruturas hidráulicas (TUCCI et al., 2004).

De acordo com Khaleghi et al. (2011), a ocupação humana frequentemente acarreta mudanças no espaço, como construções, remoção de vegetação e alterações nos cursos de água. Essas ações antrópicas impactam diretamente o aumento da vazão de pico e o volume de escoamento em bacias hidrográficas, conforme destacado por Pappas et al. (2008).

Estimar vazões máximas e desenvolver hidrogramas de projeto são essenciais para o manejo e gestão de bacias hidrográficas, além de prever seu comportamento hidrológico. No entanto, as previsões hidrológicas enfrentam desafios como a falta ou imprecisão de dados de precipitação, custos elevados de monitoramento, escassez de informações sobre as bacias e a necessidade de longos períodos para obter resultados confiáveis (KHALEGHI et al., 2011; NUNES, 2015).

Diante desse contexto, a aplicação de modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão torna-se crucial, especialmente para analisar a disponibilidade de água em bacias hidrográficas. Essa necessidade se torna ainda mais evidente em um país como o Brasil, onde há uma grande falta de dados fluviométricos, particularmente em pequenas bacias que estão sob crescente exploração. Portanto, a utilização de modelos hidrológicos é fundamental para uma gestão eficiente dos recursos hídricos nessas regiões.

A aplicação de modelos chuva-vazão enfrenta desafios significativos, especialmente na necessidade de estabelecer valores para parâmetros com base em séries observadas de chuva e vazão. Esta etapa é crucial, pois somente após a calibração e validação destes parâmetros é que tais modelos podem ser efetivamente utilizados no gerenciamento de recursos hídricos de uma localidade específica (TUCCI, 2005).

Dentre os diversos modelos chuva-vazão existentes, um que se destaca globalmente na prática de engenharia, com um volume considerável de informações disponíveis, é o modelo NRCS-CN.

Desenvolvido originalmente pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), atualmente conhecido como Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS), o modelo NRCS-CN foi inicialmente projetado para aplicações em áreas agrícolas. Contudo, nos últimos anos, tem sido objeto de estudo, desenvolvimento e aplicação também em áreas urbanas, conforme indicado por Trambly et al. (2010). Os detalhes específicos deste modelo serão explorados nas seções seguintes.

3.4 O escoamento superficial e seus componentes

O escoamento superficial é um fenômeno hidrológico que se refere ao deslocamento da água sobre a superfície terrestre. Este processo ocorre principalmente quando a taxa de precipitação supera a capacidade de infiltração do solo ou em situações em que o solo se encontra saturado. Esse fenômeno é essencial para entender o ciclo hidrológico, sendo diretamente relacionado a eventos como a formação de enxurradas, a erosão do solo e a alimentação dos corpos d'água.

O escoamento superficial é de fundamental importância em diversos aspectos da gestão hídrica, incluindo o dimensionamento de obras hidráulicas e o manejo de bacias hidrográficas, devido ao seu impacto significativo no transporte de sedimentos e no risco de inundações. Segundo Mello e Silva (2013), o estudo detalhado deste componente do ciclo hidrológico é crucial para um eficiente aproveitamento hídrico e para o desenvolvimento de estratégias de manejo apropriadas.

Este fenômeno pode ser subdividido em três componentes principais: escoamento superficial direto (Q), escoamento subsuperficial e escoamento base ou subterrâneo. O escoamento superficial direto é gerado por precipitações de intensidade maior que a capacidade de infiltração do solo, movendo-se livremente pela superfície terrestre. Este tipo de escoamento, também conhecido como precipitação efetiva ou deflúvio superficial, é uma resposta imediata à chuva intensa.

Diversos fatores influenciam o escoamento superficial direto, incluindo aspectos climáticos, como o padrão de precipitação, e fisiográficos, que se referem às características específicas da bacia hidrográfica. Tucci et al. (2004) destacam a importância de compreender estes fatores para melhorar o manejo e planejamento das bacias hidrográficas, mitigando os riscos associados ao escoamento superficial, como inundações e erosão.

No que se refere aos fatores climáticos influenciando o escoamento superficial, a intensidade e duração da precipitação, bem como a umidade do solo antecedente, são de crucial importância. Particularmente, as chuvas de origem convectiva, caracterizadas por alta intensidade e curta duração, são fundamentais no estudo de cheias em bacias hidrográficas de pequena escala e em áreas urbanizadas, conforme Mello e Silva (2013) elucidam.

Quanto aos fatores fisiográficos, a permeabilidade e o relevo do solo são atributos de particular interesse. Bacias que possuem solos mais permeáveis tendem a experimentar cheias de menor

magnitude devido à maior capacidade de infiltração, que atenua a porção do escoamento superficial direto. Este comportamento é uma consequência da estrutura intrínseca do solo, que determina sua capacidade de infiltração e resistência à erosão.

Além disso, a textura do solo também exerce um papel significativo sobre a infiltração. Solos de textura mais grosseira (média a arenosa) apresentam maior facilidade para a infiltração da água. Exemplificando, alguns Latossolos vermelhos, embora sejam argilosos, apresentam alta capacidade de infiltração devido à sua estrutura granular, o que resulta em um comportamento hidrológico semelhante ao de solos arenosos.

Finalmente, o relevo também é um fator fisiográfico que merece destaque no estudo do escoamento superficial direto. Áreas com relevo mais acidentado tendem a ter cheias com maiores volumes e aumentam a velocidade do escoamento superficial direto, o que consequentemente eleva a taxa de erosão do solo. Tucci (2005) ressalta a relevância de considerar o relevo na análise do escoamento superficial direto, enfatizando seu impacto significativo no comportamento hidrológico das bacias.

Em áreas com relevo acidentado, a força gravitacional exerce influência significativa sobre a água que incide na superfície do solo, impulsionando-a a se mover rapidamente sobre este, em vez de permitir sua infiltração. Este fenômeno é explicado pelo fato de que as forças que governam a infiltração e a redistribuição da água no solo incluem as forças gravitacionais, atuantes nos macroporos, e as forças de capilaridade e adsorção, que retêm a água na matriz do solo. Tucci (2005) esclarece que, devido à orientação do vetor da força gravitacional em direção ao centro de gravidade da Terra, em terrenos com declividades acentuadas, a água na superfície tende a ser deslocada pela gravidade, reduzindo a eficiência da infiltração.

Além disso, o escoamento subsuperficial ocorre em uma camada de solo saturada próxima à superfície, podendo influenciar significativamente o escoamento superficial direto. Já o escoamento base ou subterrâneo é resultado da drenagem natural dos aquíferos, desempenhando um papel ambiental vital, pois reflete a capacidade de armazenamento de água da bacia e sua transmissividade. Este tipo de escoamento é crucial para a sustentação do fluxo de água durante períodos de estiagem, apresentando um comportamento dinâmico mais lento, similar ao de uma curva exponencial de decaimento, conforme delineado por Mello e Silva (2013).

3.5 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é uma técnica avançada que facilita a aquisição de informações sobre objetos na superfície terrestre através da detecção e mensuração das alterações que eles causam no campo eletromagnético. Conforme explicado por Vilela (2010), qualquer objeto com temperatura acima de -273°C emite radiação eletromagnética, cujos comprimentos de onda variam ao longo do

espectro. Essa radiação interage com a atmosfera terrestre - sendo absorvida, espalhada e refletida - e é captada pelos sensores remotos.

Novo (2007) ressalta que os sensores em sensoriamento remoto apresentam três características fundamentais de resolução. Primeiramente, a resolução espectral refere-se à amplitude das faixas de sensibilidade de cada banda do sensor. Em segundo lugar, a resolução espacial, conforme apontado por Rosa (2007), é a menor distância entre dois objetos que um sensor pode identificar como distintos, e é medida em pixels. Por fim, a resolução radiométrica indica a capacidade do sensor em diferenciar as reflectâncias e/ou emitâncias dos elementos da paisagem, ou seja, quantos níveis de intensidade luminosa cada pixel pode representar.

Vilela (2010) também destaca a eficiência da aquisição de imagens por sensoriamento remoto como um método rápido e eficaz para coletar informações de uma região específica. Um exemplo notável disso é o satélite americano Land-Sat, amplamente utilizado devido ao seu vasto acervo de imagens disponíveis gratuitamente. Desenvolvido pela NASA, o Land-Sat marcou um ponto de virada no campo do sensoriamento remoto, sendo o primeiro satélite lançado especificamente para a observação da Terra em 1972.

3.5.1 CHIRPS Daily - Precipitações

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) é um conjunto de dados de precipitação vital, desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS) em colaboração com o *Climate Hazards Group da University of California, Santa Barbara* (UCSB). Este conjunto de dados foi elaborado especialmente para fornecer suporte à Rede de Sistemas de Alerta Prévio contra Fome da United States Agency for International Development (FEWS NET). Seu principal objetivo é monitorar a seca agrícola e as variações ambientais globais, empregando técnicas avançadas de interpolação e fornecendo estimativas de precipitação de longo período, abrangendo de 1981 até o presente. As estimativas são disponibilizadas em níveis diário, pentadal e mensal, cobrindo uma extensão quase global (50°S – 50°N, 180°E – 180°W) com uma resolução espacial primária de 0,05° (Funk et al., 2015).

O CHIRPS integra várias fontes de informação para compor suas estimativas de precipitação, incluindo: (I) O *Precipitation Climatology do Climate Hazards Group* (CHPClim); (II) Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (TIR), de fontes geoestacionárias quase globais da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), Centro de Previsão Climática (CPC) e o *National Climatic Data Center* (NCDC); (III) Campos de Precipitação do Coupled Forecast System da NOAA, versão 2 (CFSv2); (IV) Dados de diversas estações meteorológicas e outros serviços regionais. Estas fontes combinadas proporcionam uma visão abrangente e confiável das precipitações em escala global (FUNK et al., 2015).

A aplicação prática destes dados pode ser visualizada na Figura 2, que demonstra a distribuição de precipitação na América do Sul, ilustrada com base nos dados processados na plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Esta figura exemplifica como o CHIRPS pode ser efetivamente utilizado para análises hidrológicas e climáticas na região.

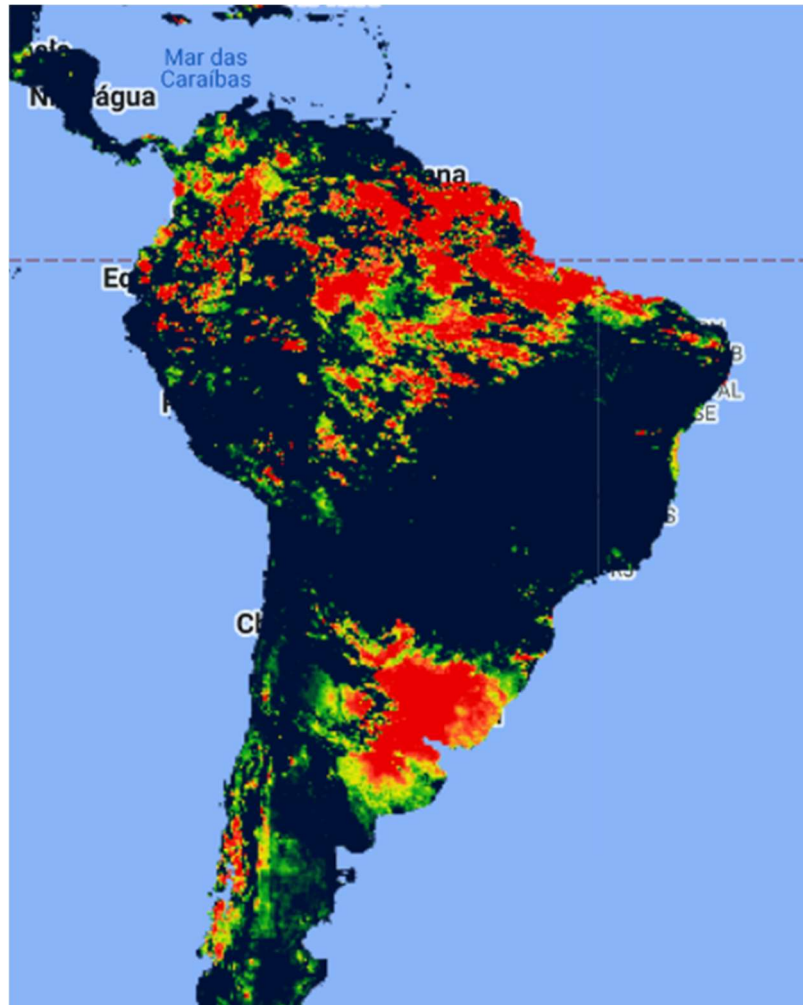


Figura 2 - Precipitação / *CHIRPS Daily*.
Fonte: Autor (2023).

3.5.2 *OpenLandMap* – Grupo Hidrológico do solo (Textura do Solo)

O *OpenLandMap* é uma iniciativa colaborativa que oferece dados e mapas globais de grande relevância para a análise do uso do solo. Desenvolvido em parceria pelo *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA), *Institute for Environment and Sustainability* (IES) e *Joint Research Centre* (JRC) da Comissão Europeia, o *OpenLandMap* destaca-se como uma ferramenta fundamental para promover o acesso aberto a informações geoespaciais. Seu objetivo primordial é apoiar a tomada de decisões em áreas como gestão territorial e desenvolvimento sustentável (HENGL, 2018).

Dentre os recursos oferecidos pelo *OpenLandMap*, as classes de textura do solo conforme o sistema USDA são particularmente valiosas. Essas classes estão disponíveis em formato *raster*,

abrangendo seis profundidades padrão do solo (0, 10, 30, 60, 100 e 200 cm) com uma resolução de 250 metros. Esses dados são derivados das frações de textura do solo previstas utilizando o pacote *groundtexture* em R, um método sofisticado que fornece informações detalhadas sobre a composição do solo. Importante mencionar que a Antártica não está incluída nesses dados (HENGL, 2018). A Figura 3 ilustra a distribuição das classes de textura do solo na América do Sul, utilizando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para demonstrar a aplicação prática desses dados.

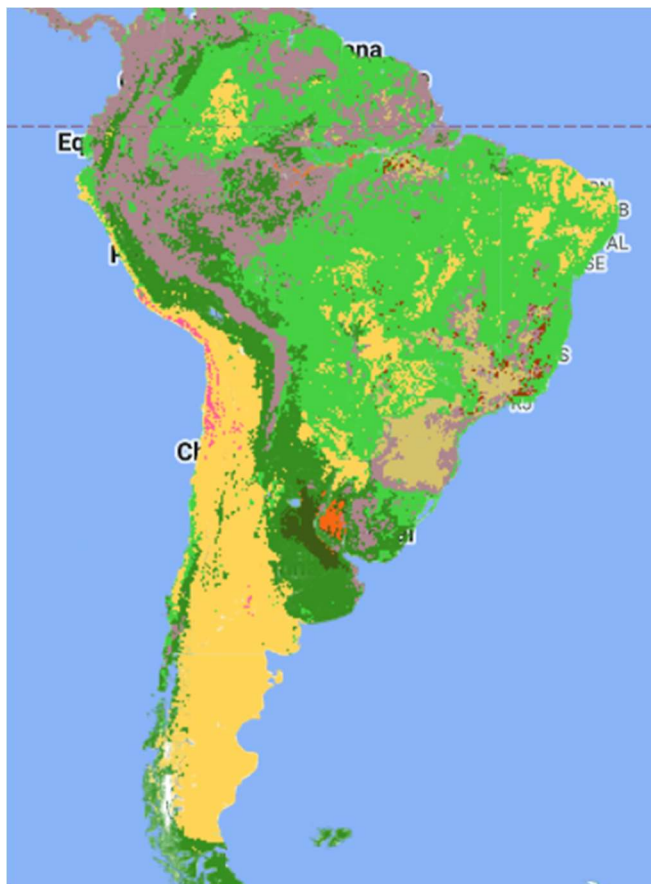


Figura 3 - Textura do solo (Grupo Hidrológico) - América do Sul / *OpenLandMap*.
Fonte: Autor (2023).

3.5.3 MODIS - Uso e Ocupação do solo

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um instrumento crucial para a aquisição de imagens e dados sobre a superfície terrestre e a atmosfera a partir do espaço. Integrado em dois satélites da NASA, Terra (lançado em 1999) e Aqua (lançado em 2002), o MODIS coleta dados essenciais para diversas pesquisas e análises ambientais. Estes satélites orbitam a Terra em uma trajetória polar sincronizada com o Sol, garantindo que sobrevoem o mesmo local na Terra aproximadamente no mesmo horário local todos os dias, facilitando a análise comparativa dos dados (SANTANA et al., 2019).

Os produtos derivados do MODIS são utilizados em várias composições temporais, como de 8 e 16 dias. Um desafio no processamento desses dados é a presença de nuvens, que pode resultar em imagens compostas de pixels capturados em diferentes datas, sob condições de retroespalhamento e

espalhamento frontal. Apesar desses desafios, o produto MODIS MCD12Q1 tem sido amplamente empregado em estudos de uso e ocupação do solo, mostrando-se eficaz para esse propósito. Trabalhos de Zhao et al. (2018), Liang (2015), Dong (2012), Zhou (2019) e Zeng (2015) ilustram o sucesso na aplicação deste produto para análises de uso e ocupação do solo. A Figura 4 ilustra a distribuição de classificação de uso e ocupação do solo na América do Sul, obtida através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE).

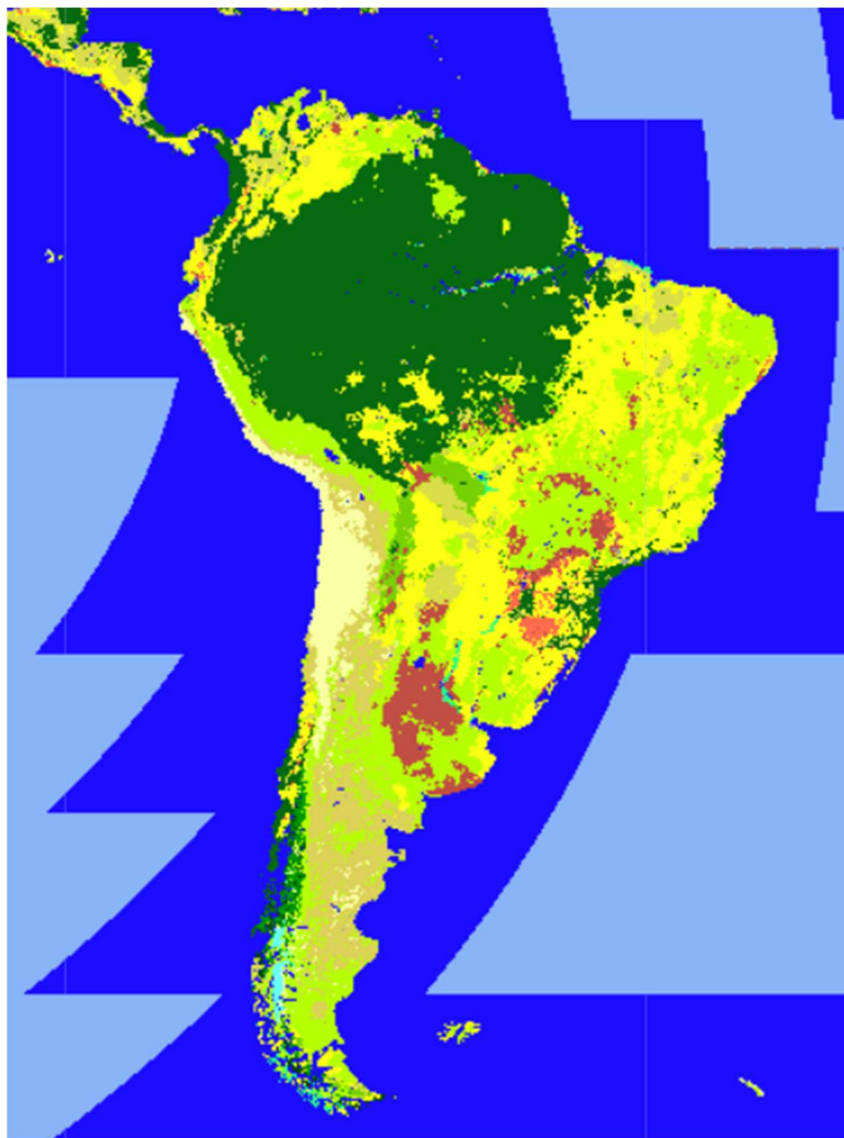


Figura 4 - Uso e Ocupação do solo / *MODIS*.
Fonte: Autor (2023).

3.6 Método NRCS-CN

O método da Curva Número (CN) do Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS) dos Estados Unidos é uma abordagem adotada em engenharia hidrológica para estimar o escoamento superficial em bacias hidrográficas. Originado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) na década de 1950, o método fundamenta-se na relação entre a capacidade de infiltração do solo e a quantidade de precipitação que excede essa capacidade.

A curva número é um indicador adimensional que reflete a capacidade de infiltração e escoamento do solo, considerando suas características físicas e práticas de manejo. Este parâmetro é determinado com base em fatores como tipo de solo, cobertura vegetal e umidade do solo. Valores da curva número variam de 0 a 100, sendo que valores mais altos indicam maior potencial de escoamento.

O método tradicional CN (*Curve Number*) é um modelo de chuva-vazão concentrado e baseia-se nas seguintes equações de balanço hídrico:

$$P = I_a + F + Q \quad \text{eq. (1)}$$

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad \text{eq. (2)}$$

$$I_a = \lambda S \quad \text{eq. (3)}$$

A equação do NRCS-CN é descrita como:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ for } P > I_a \quad \text{eq. (4)}$$

$$Q = 0 \text{ for } P \leq I_a \quad \text{eq. (5)}$$

onde P é a precipitação diária, I_a a interceptação inicial, F a retenção real, Q o escoamento superficial direto, S a retenção máxima potencial e λ o coeficiente de interceptação inicial. O valor de S pode ser calculado pela equação:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{eq. (6)}$$

Neste método, S é expresso em milímetros e CN é um coeficiente de escoamento adimensional dependente do uso do solo, tipo de solo e condição de umidade antecedente (AMC). As classes de AMC refletem a umidade relativa da bacia, variando conforme as condições antecedentes de precipitação. AMC I indica condições secas, AMC II condições médias, e AMC III condições úmidas. As equações para derivar CN nas condições AMC I e III são:

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2,281 - 0,0128CN(II)} \quad \text{eq. (7)}$$

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0,427 - 0,00573CN(II)} \quad \text{eq. (8)}$$

No estudo atual, mapas de textura do solo foram convertidos em mapas de grupos de solos e combinados com mapas de uso e cobertura do solo (usando o produto MODIS) para preparar os mapas CN II.

3.7 Mecanismo do Google Earth Engine

A plataforma *Google Earth Engine* (GEE) representa um mecanismo de análise geoespacial baseado em nuvem, desenvolvido pelo Google. Essa plataforma integra um vasto acervo de imagens

de satélite e conjuntos de dados geoespaciais com capacidades computacionais avançadas, permitindo aos usuários a análise e visualização de transformações na superfície terrestre (JAIN et al., 2021).

O GEE é acessível via web e se destaca pela sua capacidade de realizar análises geoespaciais em escala global, abordando uma diversidade de questões sociais de grande impacto (GORELICK et al., 2017). Além disso, a plataforma disponibiliza um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) que opera com base em JavaScript. Esse recurso possibilita aos usuários escrever e executar análises geoespaciais complexas e algoritmos customizados. Entre as funcionalidades oferecidas estão a capacidade de filtrar, agregar, visualizar e exportar dados geoespaciais, tornando-a uma ferramenta versátil para manipulação e processamento de dados (JAIN et al., 2021).

A Figura 5 ilustra os componentes principais do *Earth Engine Editor*, demonstrando as várias interfaces e ferramentas que a plataforma oferece para facilitar a análise geoespacial.



Figura 5 – Principais componentes do *Earth Engine Editor*

Fonte: JAIN (2021).

3.8 Estatística descritiva

A estatística descritiva é um ramo da estatística que envolve a organização, resumo e interpretação de dados. Frequentemente, os pesquisadores se deparam com grandes conjuntos de dados, tornando a tarefa de organizá-los complexa. A estatística descritiva é particularmente útil nessas situações, pois ajuda a tornar as informações mais compactas e manejáveis (PEREIRA, 2019).

Costa (2011, p.19) oferece uma definição abrangente de estatística descritiva, explicando que:

“É aquela que possui um conjunto de técnicas para planejar, organizar, coletar, resumir, classificar, apurar, descrever, comunicar e analisar os dados em tabelas, gráficos ou em outros recursos visuais, além do cálculo de estimativas de parâmetros representativos desses dados, interpretação de coeficientes e exposição que permitam descrever o fenômeno”

Andrade e Ogliari (2013) ressaltam a importância da análise descritiva de dados como ponto de partida para qualquer trabalho de análise estatística. Essa fase inicial é crucial para obter um entendimento preliminar dos dados. Em muitos estudos, especialmente aqueles baseados em levantamentos, uma análise descritiva bem executada pode ser suficiente para atender aos objetivos da pesquisa. Em outros casos, ela serve como uma etapa preparatória para análises mais aprofundadas.

Andrade e Ogliari (2013) destacam a relevância da estatística descritiva no contexto da pesquisa, enfatizando seu papel na organização, apresentação, resumo e exploração dos dados. Esta área da estatística permite ao pesquisador adquirir um entendimento profundo e uma perspectiva crítica dos dados observados, auxiliando-o a atingir os objetivos específicos de sua pesquisa.

Silvestre (2007) descreve a estatística descritiva como um conjunto de métodos focados na organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários. Por outro lado, Fonseca e Martins (1996) a definem como um conjunto de técnicas destinadas a descrever, analisar e interpretar dados numéricos de uma amostra.

Runger e Montgomery (2012) veem a estatística descritiva como uma ferramenta para organizar e resumir dados de maneira que facilitem a interpretação e análise subsequente. Eles também enfatizam a importância de entender os conceitos de população e amostra. Segundo Fonseca e Martins (1996), uma população é um conjunto de indivíduos ou atributos com pelo menos uma característica em comum, podendo ser finita ou infinita. Em situações práticas, quando uma população finita possui um grande número de elementos, ela é frequentemente considerada como infinita. Devido à impraticabilidade, na maioria das vezes, de se analisar todos os elementos de uma população, uma amostra é retirada de acordo com algum critério de amostragem estabelecido.

Field (2009) define uma amostra como um subconjunto menor de uma população, utilizado para inferir informações sobre toda a população. No contexto desta pesquisa, as ferramentas mais empregadas para a estatística descritiva dos atributos incluem tabelas de distribuição de frequência, gráficos tipo histograma, medidas de tendência central e medidas de dispersão.

Andrade e Ogliari (2013) explicam que a distribuição de frequência é a relação entre as categorias ou valores de um atributo e suas frequências observadas. Esta distribuição pode ser organizada em forma de tabelas ou gráficos, proporcionando uma visão geral do comportamento dos valores de um atributo.

Andriotti (2013) menciona que a representação gráfica mais comum de dados amostrais é o histograma. Existem dois tipos de histogramas: o simples e o acumulado. Um histograma é composto por um conjunto de retângulos alinhados ao eixo das abscissas, com o ponto médio correspondendo ao valor central do intervalo de classe. Se os intervalos de classe forem iguais, as alturas dos retângulos serão proporcionais às frequências de classe. Além disso, as medidas de tendência central são utilizadas para resumir um conjunto de dados relativos à observação de um fenômeno específico de forma concisa.

Conforme Andrade e Ogliari (2013), as medidas de tendência central mais comumente empregadas para resumir um conjunto de dados são a média aritmética e a mediana. A média aritmética, como explicada por Andriotti (2013) e Andrade e Ogliari (2013), é o resultado da soma dos valores numéricos de um atributo (ou variável) dividido pela quantidade de valores. Essa medida é de fácil compreensão e implementação, incorpora todos os valores da amostra, fornece um único valor resumido e é facilmente integrável em fórmulas matemáticas. No entanto, sua principal desvantagem é a suscetibilidade a valores extremos. Field (2009) destaca que a média é um modelo estatístico simples e eficaz, pois representa um resumo abrangente dos dados.

Rumsey (2012) e Andriotti (2013) definem a mediana como o valor que separa um conjunto ordenado de dados pela metade, de modo que metade dos dados tenha valores inferiores e a outra metade tenha valores superiores à mediana. Quando o conjunto de dados possui um número ímpar de elementos, a mediana é exatamente o valor central, contanto que os dados estejam ordenados. Se houver uma quantidade par de dados, a mediana será a média aritmética dos dois valores centrais. A comparação entre a média e a mediana fornece uma indicação da assimetria na distribuição dos dados.

Conforme explicado por Andrade e Ogliari (2013), a utilização de uma medida de tendência central, como a média ou mediana, para representar um conjunto de dados deve ser acompanhada por uma medida de dispersão que resuma a variabilidade dos dados. As medidas de dispersão, como destacado por Fonseca e Martins (1996), avaliam o grau de variabilidade dos valores em torno da média, fornecendo uma noção de quão representativa é a média para o conjunto de dados analisado.

Uma média mais elevada do que a mediana sugere que os valores no topo da distribuição estão significativamente afastados do centro em comparação aos valores mais baixos. Esta característica é fundamental para entender a distribuição dos dados, pois a estatística existe justamente devido à variabilidade nos fenômenos observados (ANDRADE e OGLIARI, 2013).

Entre as principais medidas de dispersão estão a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação. A variância e o desvio padrão são calculados com base nos desvios de cada observação em relação à média aritmética. A variância é obtida elevando ao quadrado os desvios de cada observação em relação à média, somando esses valores e dividindo o resultado pela quantidade de observações menos um ($n - 1$). O desvio padrão, por sua vez, é a raiz quadrada positiva da variância,

proporcionando uma medida de dispersão que retorna ao padrão de mensuração dos dados originais (ANDRIOTTI, 2013). Essas medidas são essenciais para uma compreensão completa e representativa dos dados coletados em uma pesquisa.

3.9 Teste de Fisher

No âmbito da análise estatística, o Teste de Fisher é aplicado para examinar a associação entre duas variáveis nominais. Esse teste é particularmente útil quando se deseja investigar se as proporções de uma variável diferem em função dos valores da outra variável. O Teste de Fisher é frequentemente preferido ao teste qui-quadrado em situações onde o tamanho da amostra é pequeno ou quando uma das frequências esperadas é inferior a 5. A hipótese nula no Teste de Fisher sustenta que as proporções de uma variável são independentes da outra variável (BALDISSERA, 2022).

Em termos mais simples, isso implica que as proporções em uma variável permanecem constantes para diferentes valores da segunda variável. Diferentemente do teste qui-quadrado de independência, o Teste de Fisher não recorre a uma distribuição específica para calcular o valor do teste. Em vez disso, ele utiliza a razão de possibilidades para inferir a associação entre duas variáveis em uma tabela de contingência (BALDISSERA, 2022).

Na análise estatística, a razão de possibilidades é um conceito fundamental, especialmente quando se lida com dois eventos, A e B. Essa razão é definida como a comparação entre as chances de ocorrência do evento A quando o evento B está presente e as chances de A acontecer na ausência de B. Alternativamente, pode-se considerar a razão de possibilidades como a comparação entre as chances de ocorrência de B na presença de A e as chances de B acontecer sem A. Essa abordagem fornece uma visão simétrica das relações entre os dois eventos.

A independência entre duas categorias ou eventos é indicada quando a razão de possibilidades é igual a 1. Se esta razão for maior que 1, sugere-se uma associação positiva entre os eventos, indicando que a presença de um aumenta a probabilidade do outro ocorrer. Por outro lado, uma razão menor que 1 indica uma associação negativa, sugerindo que a presença de um evento reduz a probabilidade de ocorrência do outro.

No caso específico de uma tabela de contingência 2×2 , que é frequentemente utilizada para calcular essa razão em estudos estatísticos, as probabilidades são calculadas com base nas frequências observadas dos eventos nas duas categorias. Este cálculo permite avaliar a força e a direção da associação entre os eventos.

	B = 1	B = 0
A = 1	p_{11}	p_{10}
A = 0	p_{01}	p_{00}

No contexto do Teste de Fisher, a razão de possibilidades (RP) é uma medida crucial e é calculada como:

$$RP = \frac{P_{11} P_{00}}{P_{10} P_{01}}$$

onde P_{ij} representa a frequência observada de eventos específicos em uma tabela de contingência 2×2 .

Além disso, o Teste de Fisher permite o cálculo de intervalos de confiança para essa razão de possibilidades. Se, sob a hipótese nula de não associação entre as variáveis, o valor de RP for 1 e este estiver dentro do intervalo de confiança calculado, aceita-se a hipótese nula. Caso o valor 1 esteja fora desse intervalo, a hipótese nula é rejeitada.

O significado de um intervalo de confiança pode variar dependendo da abordagem estatística adotada. Na perspectiva frequentista, um intervalo de confiança de 95% indica que, em repetidas amostragens do mesmo universo amostral e com o mesmo tamanho amostral, espera-se que 95% desses intervalos contenham a proporção real do universo amostral, enquanto 5% deles podem não contê-la (Sokal e Rohlf, 2009). Isso significa que o intervalo de confiança incluirá a proporção real em 95 de 100 casos hipotéticos.

- Exemplo prático do teste exato de Fisher

No exemplo prático do teste exato de Fisher, a Tabela 1 ilustra os resultados de um estudo conduzido por estudantes de graduação em Ciências Biológicas. O foco da pesquisa era investigar a possível associação entre a prática de exercícios físicos e o sexo dos indivíduos. No estudo, 50 pessoas foram entrevistadas nos corredores de uma universidade.

Tabela 1 - Contagens de homens e mulheres que praticam ou não exercício físico

	Sim	Não	Total
Homem	15	8	23
Mulher	9	18	29
Total	24	26	50

Fonte: Baldissera, 2022.

O teste exato de Fisher calculou a probabilidade (valor de p) de existir uma associação entre as duas variáveis nominais. Das 24 pessoas que afirmaram praticar exercícios físicos, 9 eram mulheres e 15 eram homens. O valor de p obtido pelo teste foi 0,046, situando-se próximo do limiar convencional de significância de $p = 0,05$. Mesmo estando próximo desse limiar, a conclusão é que

devemos aceitar a hipótese alternativa, sugerindo a existência de uma associação entre sexo e prática de exercícios físicos.

O intervalo de confiança de 95% foi calculado entre 1,007669 e 14,320910, com uma razão de possibilidades de 3,644563. Este resultado mostra que a probabilidade de homens praticarem exercícios é aproximadamente 3,6 vezes maior do que para mulheres. É crucial notar que o teste exato de Fisher pressupõe a independência das observações, ou seja, a resposta de um indivíduo não deve influenciar a resposta de outro. Por exemplo, se a pesquisa fosse realizada em um curso de Educação Física, onde todos, independentemente do sexo, provavelmente praticam exercícios, as respostas não seriam independentes, tornando os resultados do teste tendenciosos (BALDISSERA, 2022).

4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa atual tem como objetivo calcular as lâminas de escoamento superficial utilizando a plataforma GEE em todos os biomas brasileiros, isto é, em todo o território do Brasil. Após obtidos, os dados serão avaliados e analisados em diferentes escalas, com potencial de ser replicados em bacias hidrográficas específicas para auxiliar gestores.

O Brasil, o maior país da América do Sul e da América Latina, é o quinto maior do mundo em área territorial, representando 47,3% do território sul-americano, com uma extensão de 8.510.345,538 km². Além disso, é o sexto país mais populoso, com mais de 213 milhões de habitantes. Constituído por 26 estados e o Distrito Federal, o Brasil possui 5.570 municípios (IBGE, 2022).

O território brasileiro abriga seis biomas distintos. Estes são grandes ecossistemas com comunidades biológicas de características semelhantes. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os principais biomas brasileiros são a Floresta Amazônica, o Cerrado, a Mata Atlântica, a Caatinga, o Pantanal e os Pampas.

A Amazônia, cobrindo uma vasta região da América do Sul, possui uma área significativa. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Amazônia Brasileira abrange aproximadamente 4,2 milhões de quilômetros quadrados, sendo a maior porção da Amazônia. Considerando todos os países que compartilham este bioma, a área total é de cerca de 7 milhões de quilômetros quadrados, incluindo Brasil, Peru, Colômbia, Venezuela, Bolívia, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e Equador (COELHO et al., 2012).

A Bacia Amazônica desperta interesse internacional em pesquisa científica não apenas por sua notável biodiversidade, que se destaca em relação ao restante do globo (AB'SÁBER, 2004; DIRZO e RAVEN, 2003; MALHI et al., 2008), mas também pela busca por recursos naturais, questões geopolíticas, entre outros aspectos. Do ponto de vista da climatologia geográfica, é essencial focar em pesquisas que adotem uma abordagem integradora dos fatores e elementos que constituem o clima regional amazônico, bem como sua interação com as características climáticas em escala global. Nesse contexto, merecem destaque as oscilações da temperatura dos oceanos, que influenciam a circulação geral da atmosfera em diferentes graus e, conseqüentemente, afetam diversas regiões do globo de maneira variada.

Eventos extremos de chuva alteram significativamente a vazão (escoamento superficial) dos rios e frequentemente causam impactos negativos ao ritmo de vida da população amazônica (BORMA et al., 2013), que, em grande parte, reside às margens dos rios. Os principais danos incluem o aumento da incidência de doenças, dificuldades de acesso a escolas, e desafios no remanejamento de famílias em casos de enchentes. Além disso, há prejuízos significativos na atividade pesqueira, na agricultura de subsistência, no transporte, no escoamento da produção e na distribuição de água potável. Em

áreas urbanas, são observados danos à infraestrutura, como em redes de água e esgoto, e em vias de acesso. Durante períodos de seca extrema, a mortalidade de peixes aumenta devido à secagem ou redução dos níveis de água nos lagos, o que eleva a demanda por oxigênio (BORMA et al., 2013). Episódios de seca também podem comprometer a navegação, a produção de hidroeletricidade, exacerbar a expansão de incêndios, afetando a biodiversidade e aumentando a emissão de poluentes na atmosfera (COELHO et al., 2012).

A Caatinga, também conhecida como Domínio das Caatingas, é um bioma exclusivamente brasileiro, notável por sua ampla variedade de paisagens e espécies endêmicas. Suas características únicas não são encontradas em outras localidades (AB'SÁBER, 2007). De acordo com o MapBiomas (2022), a Caatinga abrange uma área de 862.850 km², o que representa aproximadamente 10% do território nacional e cerca de 70% do Nordeste brasileiro. A maior parte do bioma é coberta por formações savânicas, que são o tipo de uso e cobertura natural mais suscetível a incêndios, respondendo por 79% dos eventos registrados entre 1985 e 2022 (INPE, 2022). Conforme Vieira (2021), após as formações savânicas, as áreas mais propensas a incêndios, em ordem decrescente, são as pastagens, seguidas pelas áreas de formações florestais e campestres de vegetação nativa.

A região da Caatinga enfrenta constantemente danos significativos causados por incêndios. Segundo o monitoramento de queimadas e incêndios florestais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022), em 2021, a área queimada nesta região alcançou 50.877 km², evidenciando um aumento nos índices nos últimos anos. Especificamente em outubro de 2021, o bioma registrou 12.722 km² de área queimada e, em dezembro, contribuiu com 64,1% do total de áreas queimadas entre os biomas brasileiros (INPE, 2021). Em outubro de 2022, a Caatinga teve um total de 300 mil hectares queimados (3 mil km²), o que representa um aumento de 134% em relação a setembro do mesmo ano. Esses incêndios foram especialmente intensos em regiões próximas ao Cerrado e no Estado do Piauí (MAPBIOMAS, 2022).

Quanto aos focos de fogo, no período de 2001 a 2021, a Caatinga apresentou uma média anual de 17 mil focos, com picos nos meses de outubro, novembro e dezembro (INPE, 2022). Alves et al. (2021) destacaram a relação entre os focos de incêndio e as variáveis climáticas no bioma. Entre 2002 e 2018, a análise da variabilidade interanual dos focos de calor e sua relação com variáveis meteorológicas indicou que os meses mais secos (setembro a dezembro), que também são períodos de ventos mais fortes, coincidem com o aumento da propagação de incêndios. A análise de precipitação mostrou que chuvas abaixo da média de fevereiro a junho (período chuvoso) resultam em mais focos de calor. Além disso, períodos de maior evapotranspiração levam a um solo mais seco e, portanto, mais suscetível a incêndios. A ocorrência de baixos valores de umidade relativa também foi associada com um aumento nos focos de calor (ALVES et al., 2021).

O Bioma Cerrado representa 23,3% da área territorial do Brasil (IBGE, 2019) e estende-se por uma grande área, fazendo fronteira com outros quatro biomas brasileiros. Entre suas formações mais significativas, destacam-se as savanas, que ocupam mais de 65% de sua área total. Segundo Albuquerque e Silva (2008), o clima predominante no Cerrado, de acordo com a classificação climática de Köppen, é o tropical úmido, com um subtipo de clima de savana (Aw) caracterizado por invernos secos e chuvas intensas no verão. Uma parcela menor do bioma encontra-se sob a influência do clima temperado quente, com inverno seco (classificação Cwa). O clima do Cerrado é descrito como tropical sazonal, com verões e invernos bem definidos, e chuvas mais frequentes na estação mais quente. O período mais seco geralmente ocorre entre maio e setembro, enquanto os outros meses são mais chuvosos (MORAES, 2008).

Com uma área total de 2 milhões de km², o Cerrado é uma região crucial para o desenvolvimento socioeconômico do país e prioritária para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos. Sua diversificada vegetação, caracterizada por um mosaico de fitofisionomias, abriga 12.000 espécies de plantas e animais, das quais 4.800 são endêmicas (STRASSBURG et al., 2017). Além disso, o Cerrado desempenha um papel vital na segurança hídrica do Brasil, abrigando nascentes de seis das nove principais bacias hidrográficas brasileiras (LIMA, 2011; BRASIL, 2011).

Do ponto de vista econômico, é importante destacar que o Bioma Cerrado desempenha um papel crucial na agropecuária brasileira, sendo responsável por 64% da criação de gado e 60% da produção de soja do país (BRASIL, 2014; IBGE, 2016). Esta relevância no setor agropecuário teve início na década de 1970, impulsionada pelos incentivos governamentais para a ocupação do Centro-Oeste do Brasil. Esse processo resultou na substituição de mais de 50% da vegetação nativa do bioma por atividades antrópicas (BRASIL, 2014; ARANTES et al., 2016). Acredita-se que tais mudanças no uso do solo no Cerrado possam levar a alterações significativas no clima da região e de áreas vizinhas (HOFFMANN e JACKSON, 2000).

A Mata Atlântica é um dos cinco *hotspots* mais importantes do mundo para a biodiversidade e é reconhecida internacionalmente como uma área de alta prioridade para conservação, devido ao grande número de espécies endêmicas e ao elevado grau de ameaça a que está sujeita (MYERS et al., 2000). Atualmente, os remanescentes desse bioma correspondem a apenas 8% de sua cobertura original (CONSERVATION INTERNATIONAL, 2008).

Um dos ecossistemas mais ricos em diversidade biológica do planeta, a Mata Atlântica se estende desde a região litorânea até os planaltos e serras do interior, abrangendo cerca de 15% do território brasileiro. Originalmente, a Mata Atlântica se estendia por 17 estados do Brasil, do Ceará ao Rio Grande do Sul, além de partes da Argentina e do Paraguai (Aliança para a Proteção da Mata Atlântica, 2010). O valor desta mata é inestimável para mais de 70% da população brasileira que reside em sua área de influência. Em cidades, áreas rurais, comunidades caiçaras e indígenas, a Mata

Atlântica desempenha um papel crucial na regulação dos mananciais hídricos, proteção de nascentes, regulação do clima, temperatura e umidade, além de contribuir para a fertilidade do solo e a estabilidade de encostas e escarpas. A Mata Atlântica abrange uma extensa rede de rios e lagos, formando bacias hidrográficas de importância nacional e regional, com sete das nove maiores bacias do Brasil localizadas neste bioma (Aliança para a Proteção da Mata Atlântica, 2010).

A importância da Mata Atlântica é evidenciada, entre outros serviços ecossistêmicos, por seu papel na conservação da água para diversos usos, incluindo o abastecimento de uma significativa parcela da população brasileira (LINO e DIAS, 2003). No estado de São Paulo, por exemplo, o Parque Estadual da Serra do Mar é responsável pela produção de água para mais de dois milhões de habitantes em cidades próximas a essa unidade de conservação (STARZYNSKI, 2015).

O Bioma Pampa, integrante das formações campestres, destaca-se pela sua alta diversidade de espécies de fauna e flora, além da abundante ocorrência de pastagens. Estas últimas, um dos tipos de vegetação natural mais extensos do planeta, são frequentemente limitadas pela disponibilidade de água. Caracterizam-se por um estrato herbáceo dominante de gramíneas, que podem ou não estar acompanhadas de vegetação lenhosa (BILENCA e MIÑARRO, 2004).

O Pampa é único à porção meridional da América do Sul, cobrindo uma área de cerca de 750.000 km², abrangendo todo o Uruguai, centro-leste da Argentina, sul do Brasil (ANDRADE et al., 2018) e parte do extremo sul do Paraguai (SILVA, 2017; ATAIDE, 2015). No Brasil, esse bioma se encontra exclusivamente no estado do Rio Grande do Sul, ocupando aproximadamente 63% da área total do estado e cerca de 2,3% do território nacional (NASCIMENTO; RIBEIRO, 2017; CAMINHA, 2019; IBGE, 2019).

Caracterizado como uma savana Neotropical, o Bioma Pampa possui vegetação original composta principalmente por espécies herbáceas e gramíneas (SILVA, 2017). Essas gramíneas são fonte de forragem para aproximadamente 18 milhões de animais, principalmente bovinos e ovinos, tornando a pecuária uma das atividades econômicas mais relevantes da região (ROESCH et al., 2009). O relevo do Pampa é composto por amplas planícies e coxilhas, caracterizadas por altitudes que variam de 60 a 200 metros acima do nível do mar (SILVA, 2017).

O Pampa é um complexo sistema de formações vegetais ou fitofisionomias campestres que, juntamente com os campos do Planalto Sul-Brasileiro e as áreas ao sul e a oeste, ao longo da fronteira com o Uruguai e a Argentina, formam uma única unidade ecológica (BENCKE, 2016). A vegetação dominante é composta por prados com arbustos esparsos e formações arbóreas (ROESCH et al., 2009). No Rio Grande do Sul, o Pampa pode ser visto como um mosaico de campos nativos, matas de galeria, matas de encostas, butiazais, banhados, areais, cerros-testemunhos, serras, entre outras formações (WELTER, 2015; TRENTIN; TRENTIN; KRAMER, 2017).

Segundo o IBGE (2019), o Bioma Pantanal é o menor entre os seis biomas brasileiros, ocupando 1,8% do território nacional. Destaca-se que aproximadamente 62% deste bioma são compostos por vegetação do tipo savana. O Pantanal possui um clima tropical com estações de verão e inverno bem definidas: o verão é marcado por altas precipitações, enquanto o inverno está associado a um período mais seco, conforme a classificação climática de Köppen (Aw) (PEREIRA, CHÁVEZ e SILVA, 2012).

Como apontam Pereira, Chávez e Silva (2012), o Pantanal é uma das maiores planícies alagáveis do mundo e apresenta baixa variação altimétrica, resultando em extensas áreas inundadas durante os meses mais chuvosos. Cordões arenosos, que permanecem não afetados pelas grandes inundações, são igualmente comuns (ASSINE, 2005 apud PEREIRA, CHÁVEZ E SILVA, 2012, p.90). O regime de inundações do Pantanal é determinante para os principais processos bióticos e abióticos e as composições específicas das unidades da paisagem (ADAMOLI, 1995, apud, PEREIRA, CHÁVEZ E SILVA, 2012, p. 94).

Conforme informações da Apoena (2008), o Pantanal é um bioma único, apresentando a maior concentração de fauna das Américas e características de outros biomas, como o Cerrado, o Chaco (ou Bosque Chiquitano), a Amazônia e a Mata Atlântica. Além disso, interliga as bacias hidrográficas da Amazônia e do Prata, funcionando como um corredor biogeográfico e contribuindo para a diversidade de espécies de fauna e flora.

Os biomas são essenciais para a conservação da biodiversidade, regulação climática, proteção dos recursos hídricos e fornecimento de serviços ecossistêmicos vitais para a sociedade. No entanto, muitos enfrentam desafios significativos devido ao desmatamento, expansão agrícola, urbanização desordenada e outras atividades humanas, ressaltando a necessidade de preservação e gestão sustentável dessas áreas. A Figura 6 ilustra o território brasileiro e seus principais biomas.



Figura 6 - Mapa do Brasil na América do Sul, mostrando a distribuição dos biomas brasileiros e os estados.

Fonte: IBGE (2022).

5 MATERIAL E MÉTODOS

O fluxograma de trabalho desta pesquisa, ilustrado na Figura 7, apresenta de forma resumida os materiais, métodos, análises e produtos de sensoriamento remoto empregados, bem como os resultados e produtos finais gerados. A metodologia aplicada nesta pesquisa envolve o uso de diversas ferramentas e softwares, essenciais para a avaliação e análise das lâminas de escoamento superficial em todo o território brasileiro.

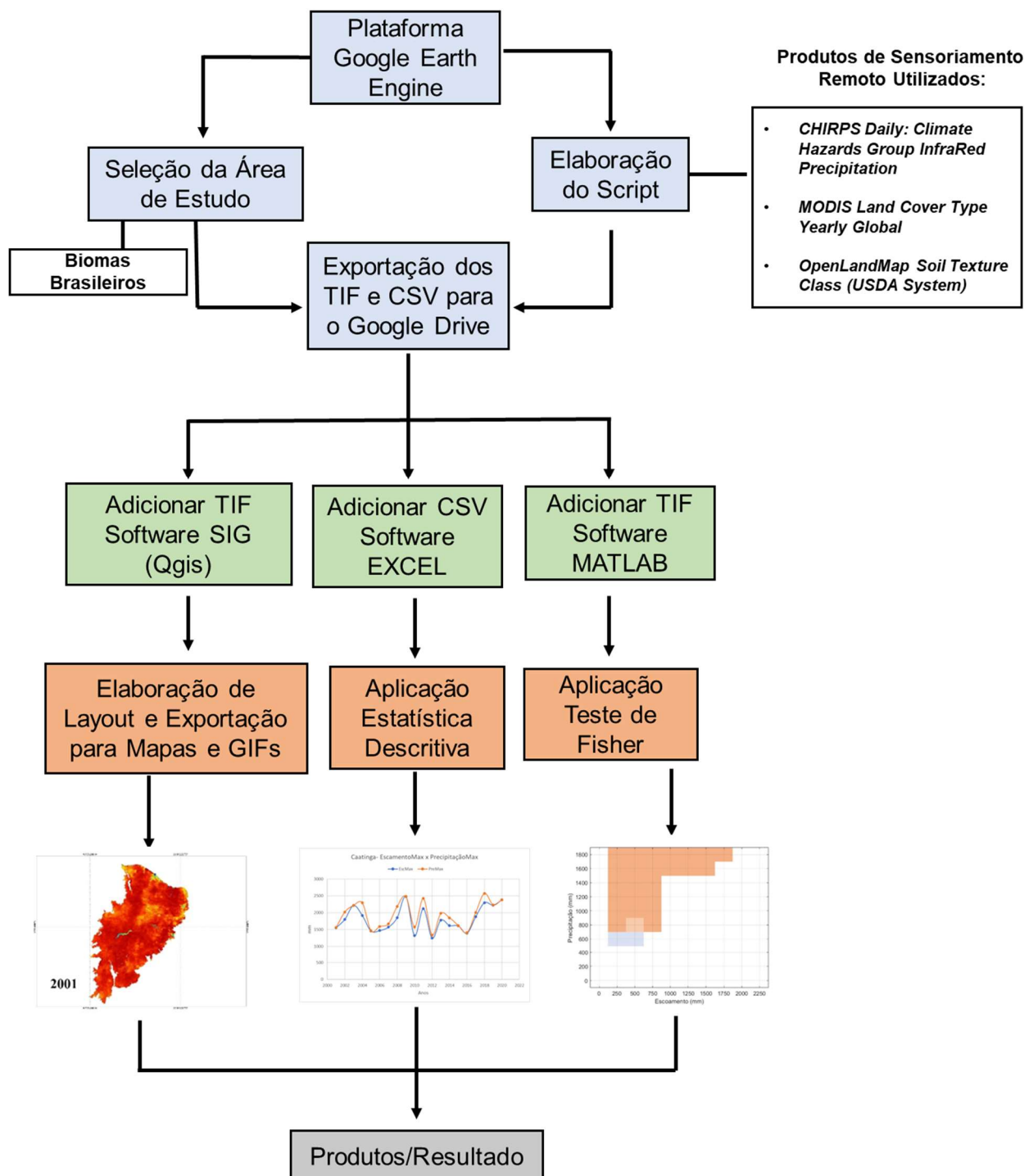


Figura 7 – Fluxograma Metodológico.
Fonte: Autor (2023).

5.1 Script chuva-vazão com dados de nuvem

A Figura 8 ilustra claramente o processo operacional do algoritmo para a obtenção das lâminas de escoamento, fundamentado no método NRCS-CN e utilizando dados armazenados em nuvem processados no servidor GEE.

Para a coleta adequada dos dados, o Script emprega os seguintes produtos de sensoriamento remoto (em nuvem):

- *OpenLandMap Soil Texture Class (USDA System)*: Classificação da Textura do Solo, pertencente ao Grupo Hidrológico do Solo, com resolução de 250 m.
- *MODIS Land Cover Type Yearly Global*: Uso e Cobertura do Solo, com resolução de 500 m.
- *CHIRPS Daily: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (Version 2.0 Final)*: Dados de precipitação, com resolução de 5566 m.

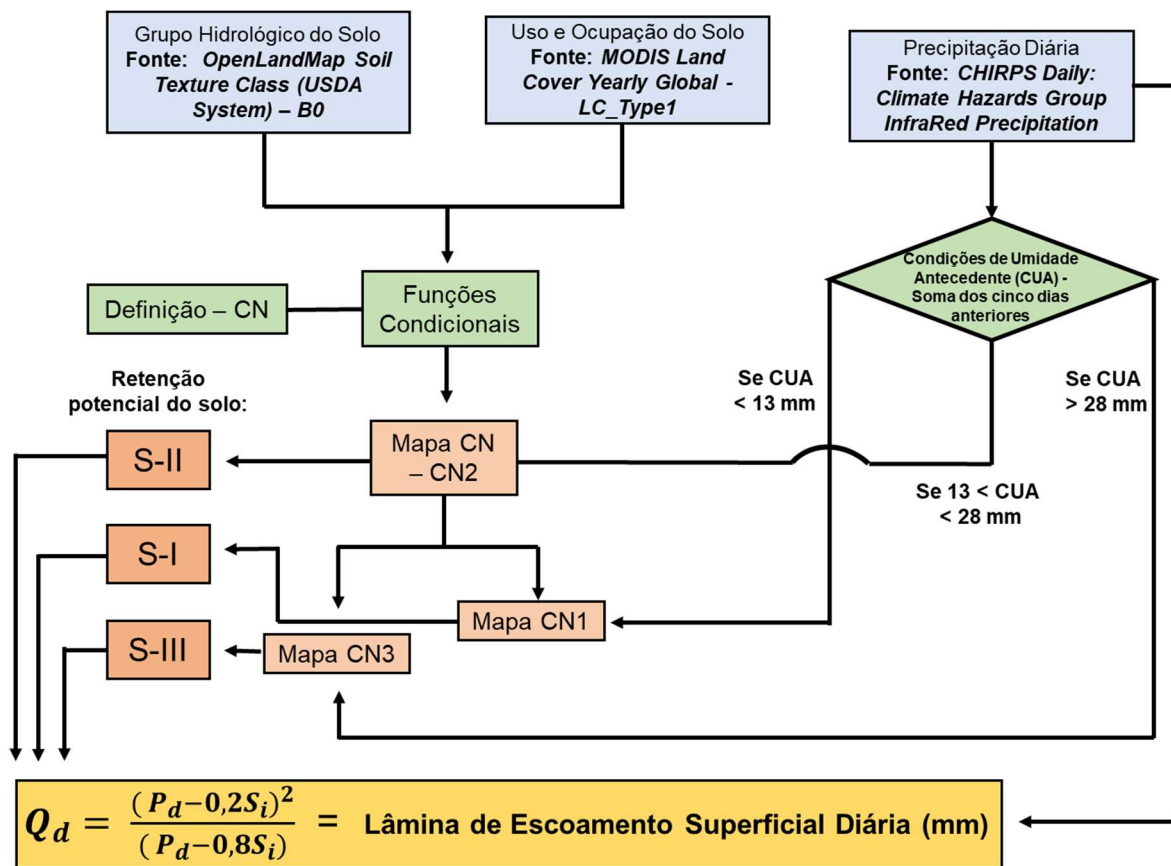


Figura 8 - Fluxograma Script chuva-vazão (GEE – JavaScript).

Fonte: Autor (2023).

5.2 Modelo NRCS-CN no GEE

Com a vasta gama de dados espaciais disponíveis no GEE, a seleção de dados de entrada torna-se mais prática e eficiente. O GEE possui numerosas funções de filtragem que facilitam aos usuários a escolha de conjuntos de dados específicos de um amplo acervo de coleções de imagens.

Além disso, o GEE é capaz de processar dados dinâmicos, uma capacidade que muitas vezes não é possível com os modelos convencionais.

No processo desenvolvido para este estudo, inicialmente, o mapa de textura do solo do *OpenLandMap* foi convertido em quatro grupos hidrológicos de solo - A, B, C e D - utilizando funções condicionais. A banda selecionada do *OpenLandMap* foi a classe de textura do solo (sistema USDA) na profundidade de 0 cm (b0), que apresenta 12 classes. Estas foram reclassificadas conforme a Tabela 2, baseando-se no trabalho de jain (2021).

Tabela 2 – Reclassificação do Tipo de Solo (Grupo hidrológico).

Valor Original	Cor	Descrição	Valor Reclassificado	Grupo Hidrológico do Solo
1	#d5c36b	Cl	1	A
2	#b96947	SiCl	2	B
3	#9d3706	SaCl	2	B
4	#ae868f	ClLo	2	B
5	#f86714	SiClLo	3	C
6	#46d143	SaClLo	3	C
7	#368f20	Lo	3	C
8	#3e5a14	Silo	3	C
9	#ffd557	SaLo	3	C
10	#fff72e	Si	3	C
11	#ff5a9d	LoSa	4	D
12	#ff005b	Sá	4	D

Fonte: Autor, 2023.

Após a reclassificação da banda (b0) do *OpenLandMap*, foi adicionada a esta uma segunda banda com imagens de uso e cobertura do solo do produto MODIS. As imagens de uso e cobertura do solo do MODIS também passaram por um processo de reclassificação. A banda selecionada do produto *MODIS Land Cover* foi a LC_type1, que contém 17 classes. Estas foram agrupadas em cinco categorias principais: agricultura, corpos d'água, pastagem, florestas/silviculturas e áreas urbanas. A Tabela 3 detalha como foram realizadas essas reclassificações.

Tabela 3 – Reclassificação dos valores de Uso e Ocupação do Solo.

Valor original MODIS	Cor	Descrição Original MODIS	Valor de Reclassificação	Uso e Ocupação do Solo - reclassificação
13	#a5a5a5	Solos Urbanos e Construídos: pelo menos 30% de área de superfície impermeável, incluindo materiais de construção, asfalto e veículos.	5	Áreas urbanas

1	#05450a	Florestas Evergreen Needleleaf: dominadas por coníferas perenes (dossel >2m). Cobertura arbórea >60%.	4	Florestas
2	#086a10	Florestas sempre-verdes de folhas largas: dominadas por árvores sempre-verdes de folhas largas e palmadas (dossel >2m). Cobertura arbórea >60%.	4	Florestas
3	#54a708	Florestas Deciduous Needleleaf: dominadas por árvores de folha caduca (larício) (dossel >2m). Cobertura arbórea >60%.	4	Florestas
4	#78d203	Florestas Caducifólias Latifoliadas: dominadas por árvores caducifólias latifoliadas (dossel >2m). Cobertura arbórea >60%.	4	Florestas
5	#009900	Florestas Mistas: dominadas por tipos de árvores nem decíduas nem perenes (40–60% de cada) (dossel >2m). Cobertura arbórea >60%.	4	Florestas
6	#c6b044	Arbustos fechados: dominados por plantas perenes lenhosas (1–2m de altura) >60% de cobertura.	3	pastagem
7	#dcd159	Arbustos abertos: dominados por plantas perenes lenhosas (1–2m de altura) 10–60% de cobertura.	3	Pastagem
8	#dade48	Savanas arborizadas: cobertura arbórea 30–60% (dossel >2m).	3	Pastagem
9	#fbff13	Savanas: cobertura arbórea 10–30% (dossel >2m).	3	Pastagem
10	#b6ff05	Pradarias: dominadas por herbáceas anuais (<2m).	3	Pastagem
15	#69fff8	Neve e Gelo Permanentes: pelo menos 60% da área é coberta por neve e gelo por pelo menos 10 meses do ano.	2	Corpos D'água
11	#27ff87	Zonas Úmidas Permanentes: terras permanentemente inundadas com 30–60% de cobertura de água e >10% de cobertura vegetal.	2	Corpos D'água
17	#1c0dff	Corpos d'água: pelo menos 60% da área é coberta por corpos d'água permanentes.	2	Corpos D'água
12	#c24f44	Áreas de cultivo: pelo menos 60% da área é cultivada.	1	Agricultura
14	#ff6d4c	Mosaicos de terras agrícolas/vegetação natural: mosaicos de cultivo em pequena escala 40–60% com vegetação natural arbórea, arbustiva ou herbácea.	1	Agricultura
16	#f9ffa4	Árido: pelo menos 60% da área é árida sem vegetação (areia, rocha, solo) áreas com menos de 10% de vegetação.	1	Agricultura

Fonte: Autor, 2023.

O mapa do Número da Curva (Curve Number, CN II) foi elaborado empregando funções condicionais para todas as combinações possíveis entre as cinco classes de uso e cobertura do solo (agricultura, corpos d'água, pastagem, florestas/silviculturas e áreas urbanas - provenientes do *MODIS*) e os quatro grupos hidrológicos de solo (A, B, C e D - do *OpenMapLand*). A tabela original do método NRCS-CN é bastante extensa e oferece uma grande variedade de combinações. No entanto, o estudo de Ragan e Jackson (1980) limitou essa variedade em função da capacidade de mapeamento da cobertura do solo por meio de imagens orbitais. Com base nessa simplificação e considerando as classes específicas da região estudada, optou-se por uma tabela simplificada para a construção das funções condicionais, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 – Número da curva (NRCS-CN) simplificado.

Uso do solo	Grupo hidrológico do solo			
	A	B	C	D
Agricultura	62	71	78	81
Corpos D'água	100	100	100	100
Pastagem	25	59	75	83
Florestas Naturais e/ou Silvicultura	36	60	70	76
Áreas urbanas	77	85	90	92

Fonte: Ragan e Jackson (1980).

Após definir o valor de CN II, é possível gerar mapas de CN I e CN III com base nas equações (7) e (8), apresentadas no item 3.6. A imagem de S (retenção máxima do solo) é criada em função da imagem de CN, que depende das Condições de Umidade Antecedente (CUA). Assim, as imagens de S correspondentes aos mapas CN serão criadas durante o cálculo da lâmina de escoamento (Q) final. Para otimizar o tempo computacional, as imagens de S serão estabelecidas como uma variável global no script.

As imagens diárias de CUA são geradas usando dados de precipitação diários do CHIRPS. A soma da precipitação dos cinco dias anteriores, incluindo a do dia em análise, é utilizada para criar uma coleção de CUA para cada dia do período de estudo. Para a estimativa do escoamento (Q), define-se uma função baseada na equação (4). Primeiro, verifica-se o intervalo de valores de CUA para cada pixel e cada dia, e a imagem S-II é criada conforme a imagem CN-II correspondente.

Pixels com CUA inferior a 13 mm receberão a imagem S-I, calculada a partir do CN I. Aqueles com CUA entre 13 e 28 mm receberão a imagem S-II, calculada com base no CN II. Pixels com CUA igual ou superior a 28 mm receberão a imagem S-III, calculada conforme o CN III. As três imagens

serão combinadas para formar uma única imagem S diária, de acordo com a condição de CUA para todos os pixels.

Ao aplicar a equação para cálculo do escoamento, verifica-se outra condição: se a precipitação em um pixel específico em um dia for menor que I_a (Perdas Iniciais/Absorção), o escoamento resultante será zero. Caso contrário, o escoamento é estimado por uma função previamente definida. Os mapas gerados representam o somatório anual das lâminas de escoamento. O processo de soma é realizado utilizando a função `ee.Reducer.sum` do GEE, e todas as imagens são padronizadas com pixels de 250 m, o menor valor de resolução dos produtos de sensoriamento remoto usados na pesquisa. A Figura 9 ilustra o processo de modelagem elaborado no GEE, incluindo os produtos de sensoriamento remoto empregados.

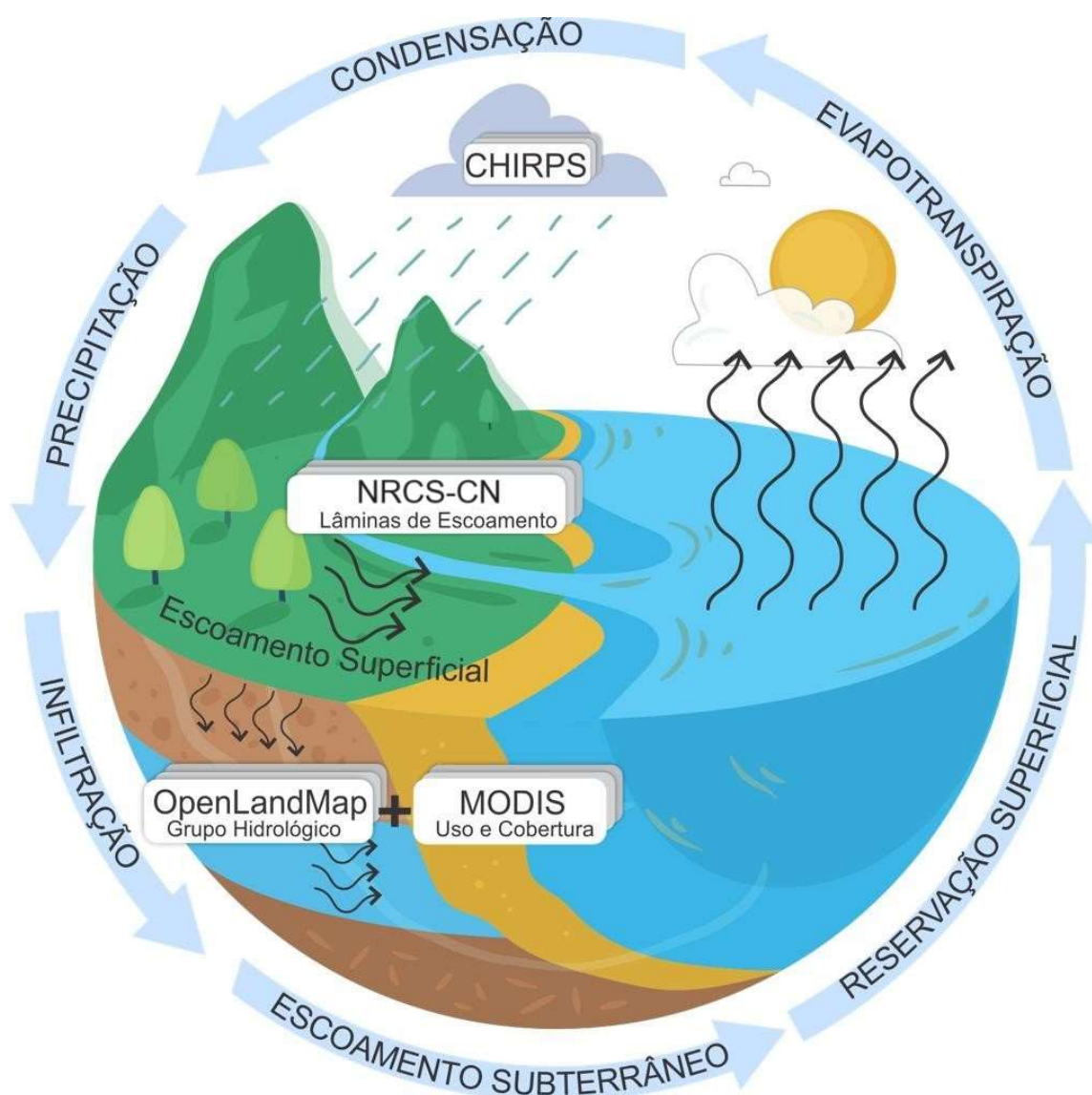


Figura 9 – Ilustração do modelo NRCS-CN no GEE

Fonte: Autor, 2023.

5.3 Avaliação das Lâminas de Escoamento Superficial

As informações sobre a intensidade do escoamento superficial são fundamentais para o planejamento eficaz do uso do solo, gestão de recursos hídricos, construção de reservatórios, conservação do solo e preservação de áreas verdes.

O algoritmo que incorpora o método NRCS-CN, processado por meio de geoprocessamento em nuvem, foi aplicado em todo o território brasileiro. A análise foi realizada para o período de 2001 a 2020, abrangendo, portanto, 20 anos consecutivos. Os resultados e produtos obtidos da análise foram organizados por biomas, conforme ilustrado na Figura 10. Posteriormente, foi realizada uma análise geral integrada dos biomas.

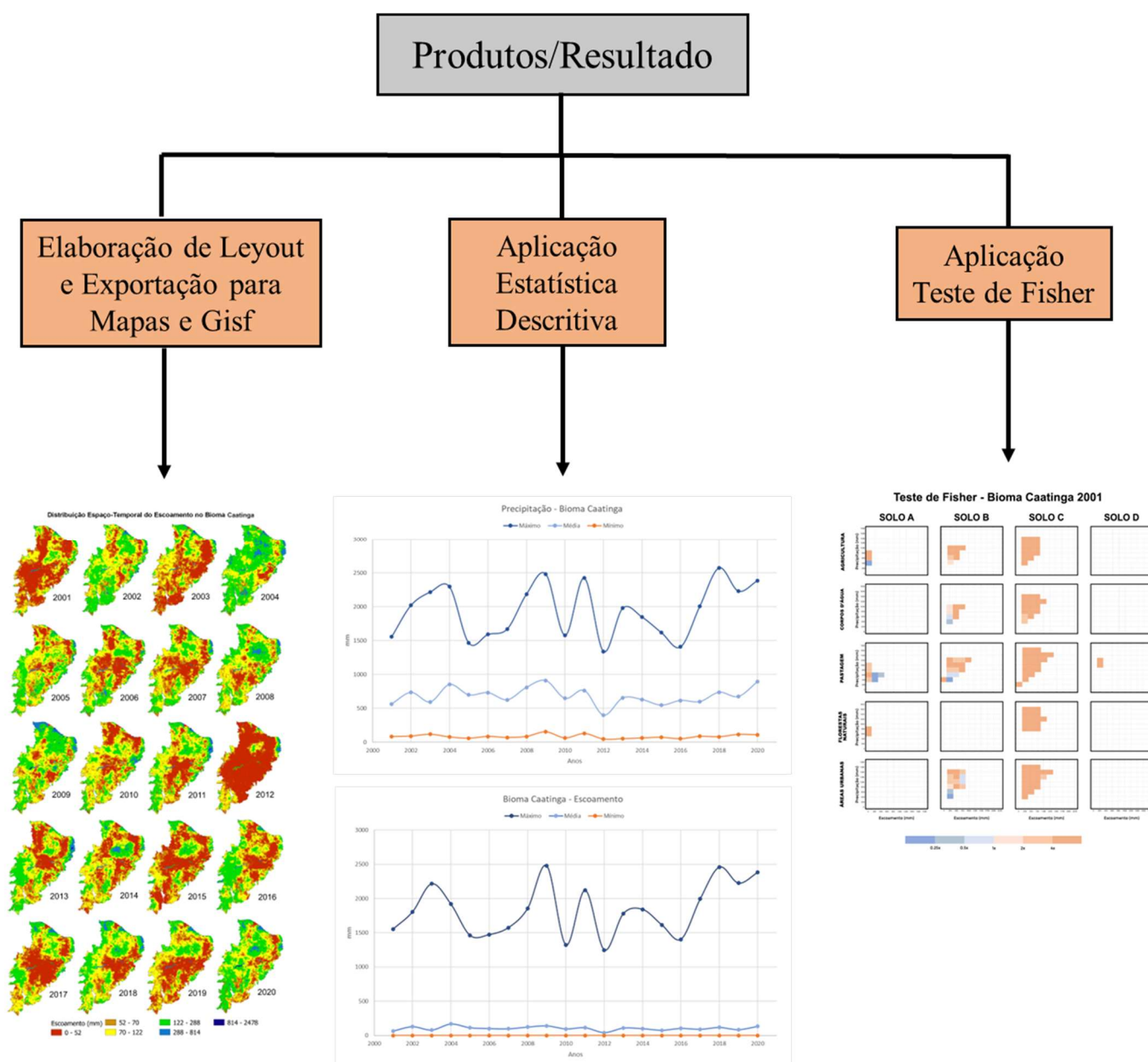


Figura 10 – Organograma da exposição dos resultados

Fonte: Autor, 2023.

5.3.1 Elaboração de Layout e Exportação de Mapas e GIFs

Utilizando os arquivos raster TIF exportados do *Google Earth Engine* (GEE), que representam o somatório anual das lâminas de escoamento calculado com a função *ee.Reducer.sum* do GEE, foi possível elaborar mapas finais. Todos os arquivos foram padronizados com pixels de 250 m. A manipulação das simbologias e a elaboração dos mapas foram realizadas nos softwares SIGs, como ArcGis e Qgis. A classificação das classes nos mapas foi definida pelo método dos intervalos geométricos no ArcGis, enquanto os mapas finais foram elaborados no Qgis.

Os mapas resultantes foram organizados em forma de mosaico, ilustrando a distribuição espaço-temporal das lâminas de escoamento em escala de Bioma. As diferentes tonalidades nos mapas indicam áreas com maiores e menores escoamentos anuais. Essas variações no escoamento podem ser associadas a fatores como maior risco de erosão, inundações, mudanças na cobertura do solo, variações de precipitação, entre outros.

5.3.2 Estatística Descritiva dos Biomas

A estatística descritiva tem como objetivo principal sintetizar uma série de valores da mesma natureza para proporcionar uma visão geral da variação desses valores. Essa síntese de dados é realizada por meio de tabelas, gráficos e medidas descritivas.

Utilizando a plataforma GEE, foi possível extrair a lista de valores anuais (de um período de 20 anos) referentes à média, aos máximos, mínimos e desvio padrão de escoamento e precipitação. Esses dados foram exportados em formato CSV utilizando as funções *ee.Reducer.Maxmin*, *ee.Reducer.Mean*, *ee.Reducer.stdDev* e *Export* do GEE. Com as listas de valores anuais exportadas, calculou-se o coeficiente de variação (CV), a variabilidade e a média das relações estatísticas obtidas. Nesta etapa, também foram elaborados gráficos e tabelas contendo os respectivos valores estatísticos para cada ano analisado.

Foram analisados os seguintes parâmetros descritivos: média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para todos os anos do período de 2001 a 2020. O CV, expresso em porcentagem (%), foi calculado pela razão entre o desvio padrão e a média correspondente. Para a análise da variabilidade, adotou-se a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980): CV menor que 12% indica baixa variabilidade; CV entre 12% e 60% indica média variabilidade; e CV maior que 60% indica alta variabilidade.

5.3.3 Teste de Fisher

Nesta fase da pesquisa, utilizando os arquivos TIFs de Uso e Cobertura do Solo, Tipo de Solo, Precipitação e Escoamento exportados do *Google Earth Engine* (GEE) e padronizados com resolução de 250 m, foi possível realizar o Teste de Fisher no software MATLAB. Este teste permite investigar

a relação entre precipitação e escoamento superficial para diferentes combinações de Tipo e Uso e Ocupação do Solo.

O Teste de Fisher é baseado na hipótese nula de que não existem associações não aleatórias entre duas variáveis, em contraposição à hipótese alternativa, que sugere a existência de uma associação não aleatória.

Para avaliar e associar os resultados, adotou-se o seguinte procedimento: para cada bioma e cada ano do período de estudo (2001–2020), foram observados os valores máximos e mínimos de precipitação. Assim, foi possível identificar os anos com maior amplitude de precipitação para cada bioma. Esses valores foram então divididos em dez classes distintas para a realização de cada teste, considerando que os valores de precipitação serão sempre inferiores ou equivalentes aos estabelecidos.

No exemplo do Bioma Caatinga, o ano com a maior amplitude de precipitação foi 2018, com variações entre 80 e 2.574 mm/ano. Para facilitar a divisão de classes, considerou-se um valor máximo de 2.500 mm/ano, com referências de parâmetros incrementadas em 250 mm/ano (ou seja, em passos de 250 mm/ano, que representam um décimo da amplitude entre 0 e 2.500 mm). Este método foi aplicado para os valores de precipitação em todos os biomas.

Especificamente para o Bioma Caatinga, avaliou-se a relação entre precipitação e escoamento superficial dos pixels com diferentes características de Uso e Ocupação do Solo e Grupos Hidrológicos do Solo. Por exemplo, foi examinada a relação entre precipitação e escoamento em áreas urbanas para diferentes Grupos de Solo. De forma similar, a mesma avaliação foi realizada para variar o Uso e Ocupação em diferentes Tipos de Solo. Assim, a relação entre precipitação e escoamento superficial foi avaliada para todas as combinações possíveis de Uso e Ocupação do Solo e Grupos Hidrológicos em cada área de interesse.

Conforme descrito na metodologia, as imagens de Uso e Ocupação do Solo foram subdivididas em cinco classes: agricultura, corpos d'água, pastagem, florestas/silviculturas e áreas urbanas. As imagens de Tipo de Solo foram divididas em quatro Grupos Hidrológicos de Solo (A, B, C e D). Assim, foram obtidas 20 combinações distintas para cada ano analisado, cujos resultados serão apresentados e analisados na sequência.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados e as análises realizadas na pesquisa. De forma resumida, incluem-se: mapas/mosaicos que demonstram a distribuição espaço-temporal das lâminas de escoamento anual, gráficos e tabelas com a estatística descritiva das lâminas de escoamento e precipitação, e mosaicos contendo figuras com o Teste de Fisher, analisando as relações entre as lâminas precipitadas e escoadas.

Os processos descritos nas seções 5.1 e 5.2, que empregam diversos produtos de sensoriamento remoto em nuvem, resultaram em vários mapas. A Figura 11, por exemplo, ilustra os principais mapas utilizados para calcular as lâminas de escoamento para o ano de 2001, e uma metodologia similar foi aplicada para os demais anos analisados.

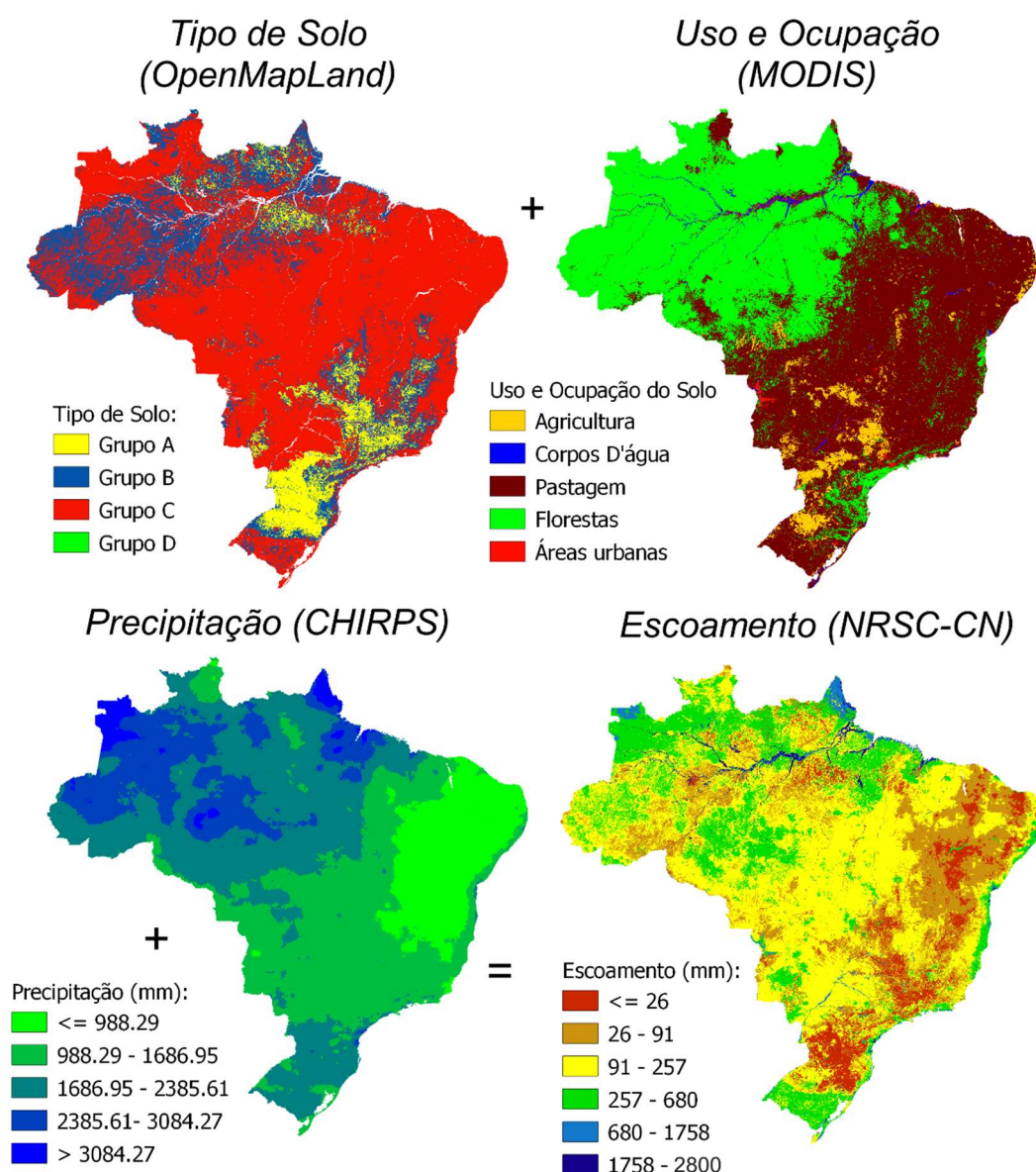


Figura 11 – Mapas utilizados para aplicação do modelo NRCS-CN no GEE (ano 2001).

Fonte: Autor, 2023.

6.1 Distribuição espaço-temporal escoamento

6.1.1 Bioma Amazônia

A Figura 12 apresenta a distribuição espacial das lâminas de escoamento anual no Bioma Amazônia durante o período de 2001 a 2020.

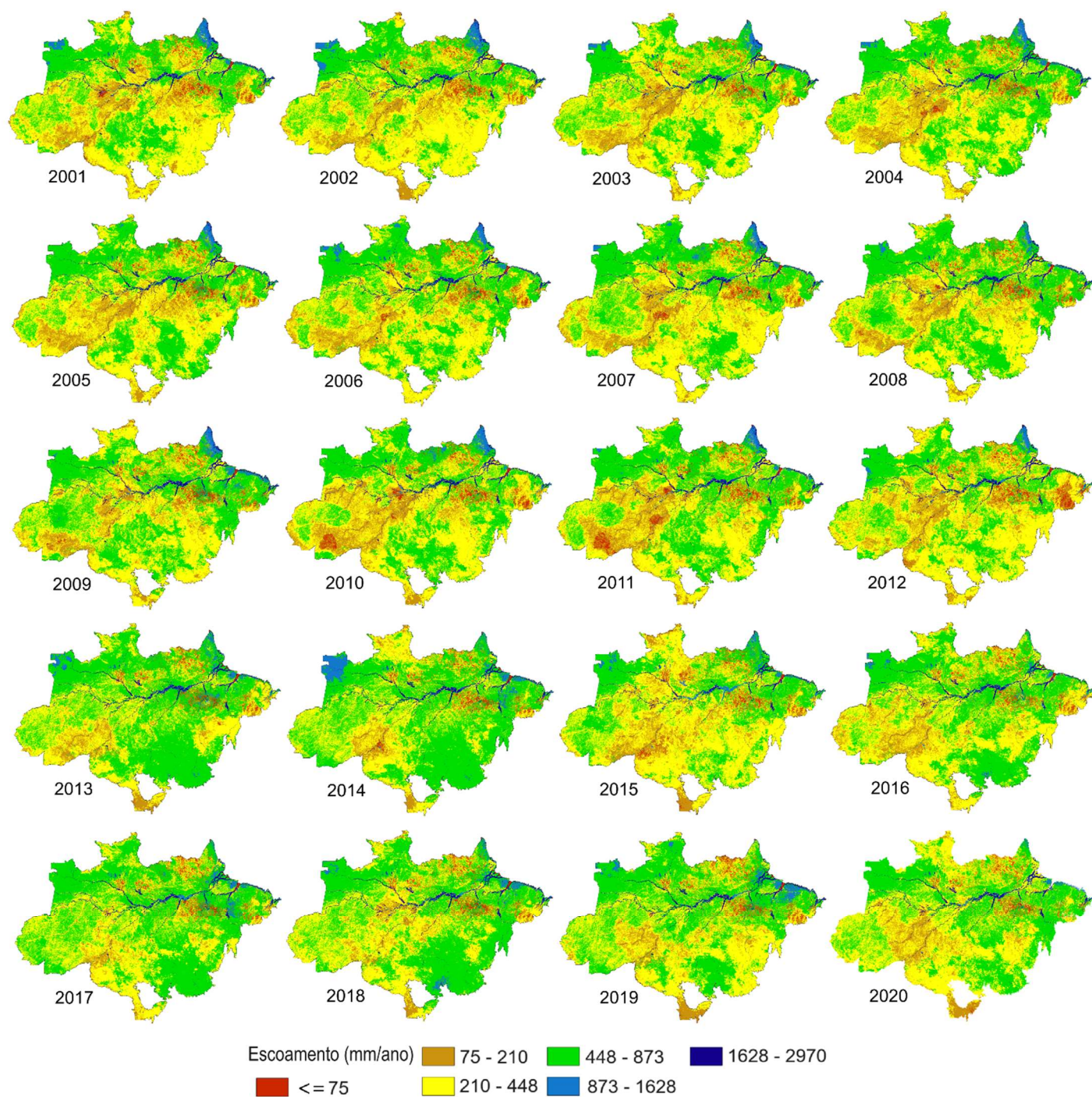


Figura 12 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Amazônia

Fonte: Autor, 2023.

6.1.2 Bioma Caatinga

A Figura 13 exibe a distribuição espacial das lâminas de escoamento anual no Bioma Caatinga para o período de 2001 a 2020.

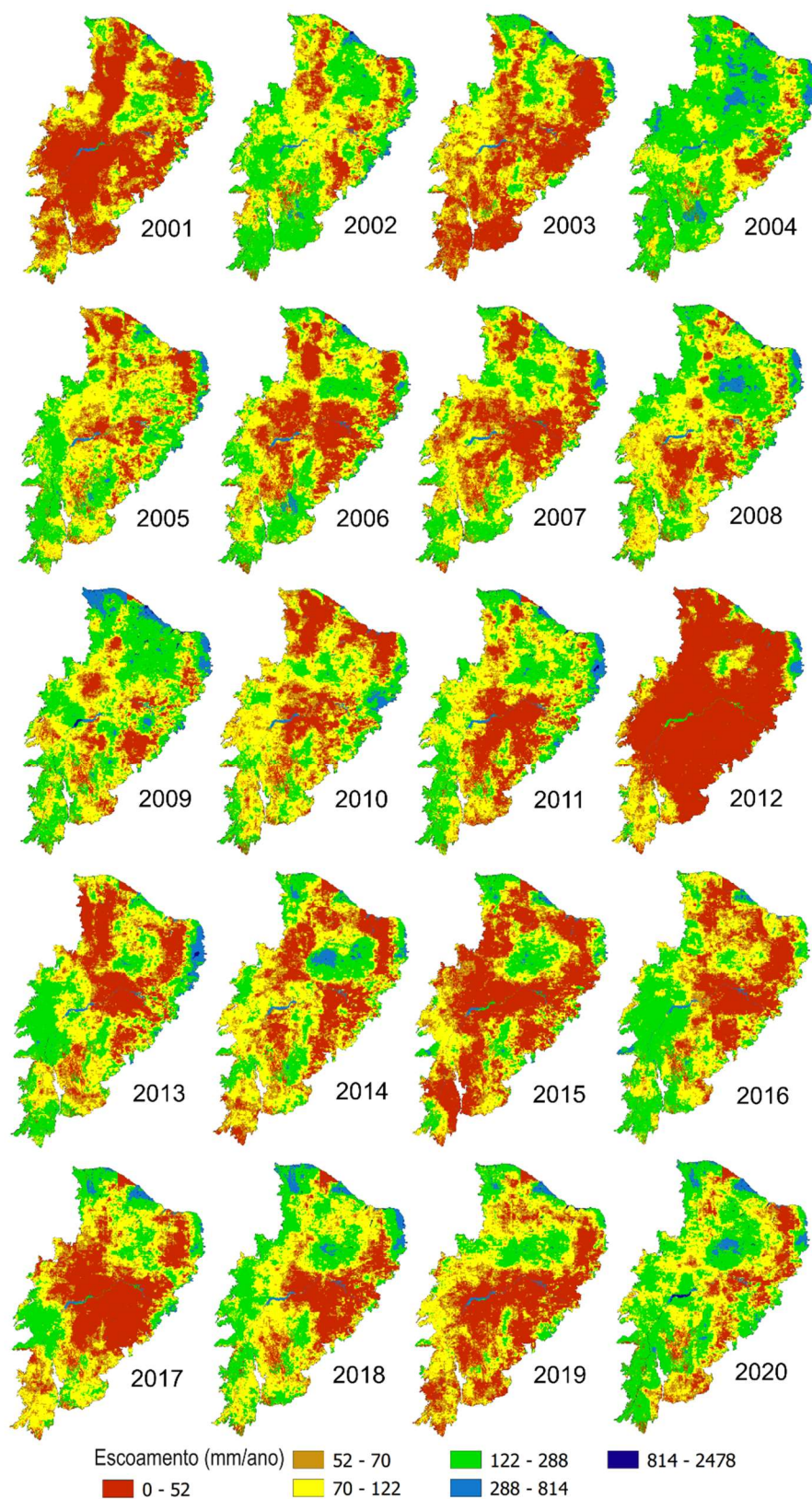


Figura 13 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Caatinga

Fonte: Autor, 2023.

6.1.3 Bioma Cerrado

A Figura 14 ilustra a distribuição espacial das lâminas de escoamento anual no Bioma Cerrado durante o período de 2001 a 2020.

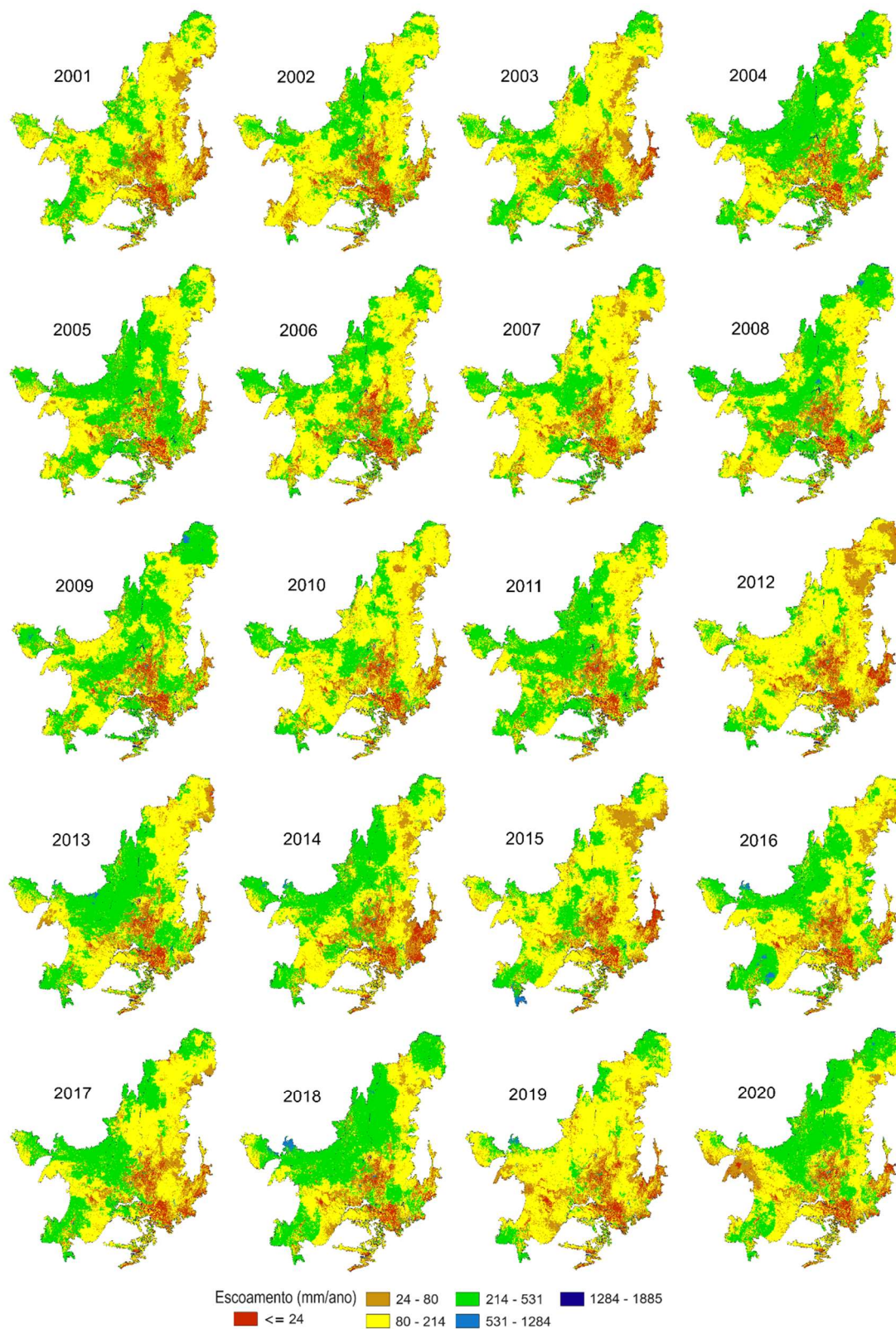


Figura 14 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Cerrado

Fonte: Autor, 2023.

6.1.4 Bioma Mata Atlântica

A Figura 15 apresenta a distribuição espacial das lâminas de escoamento anual no Bioma Mata Atlântica para o período de 2001 a 2020.

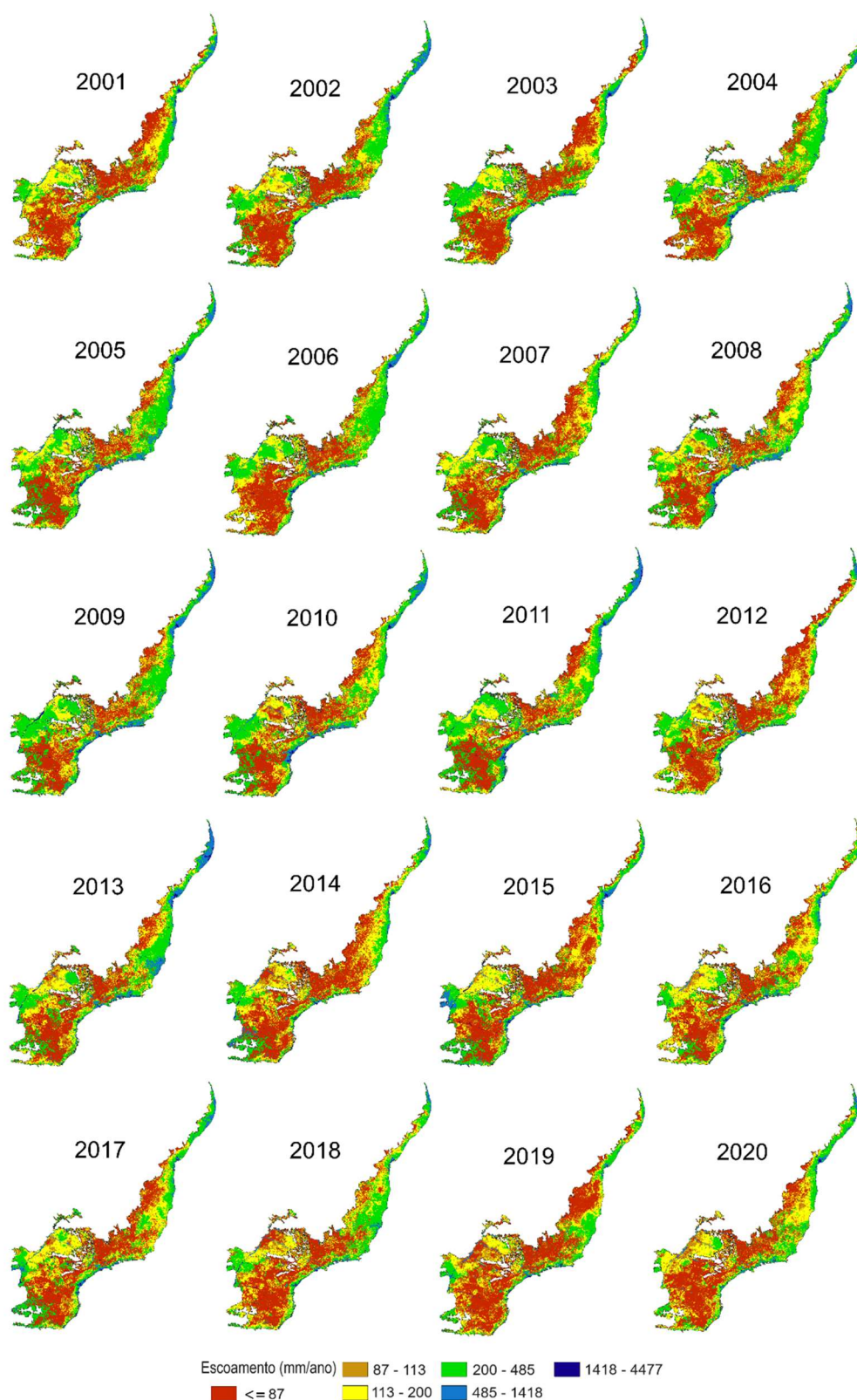


Figura 15 – Distribuição das Lâminas de Escoamento Bioma Mata Atlântica

Fonte: Autor, 2023.

6.1.5 Bioma Pampa

A Figura 16 mostra a distribuição espacial das lâminas de escoamento anual no Bioma Pampa durante o período de 2001 a 2020.

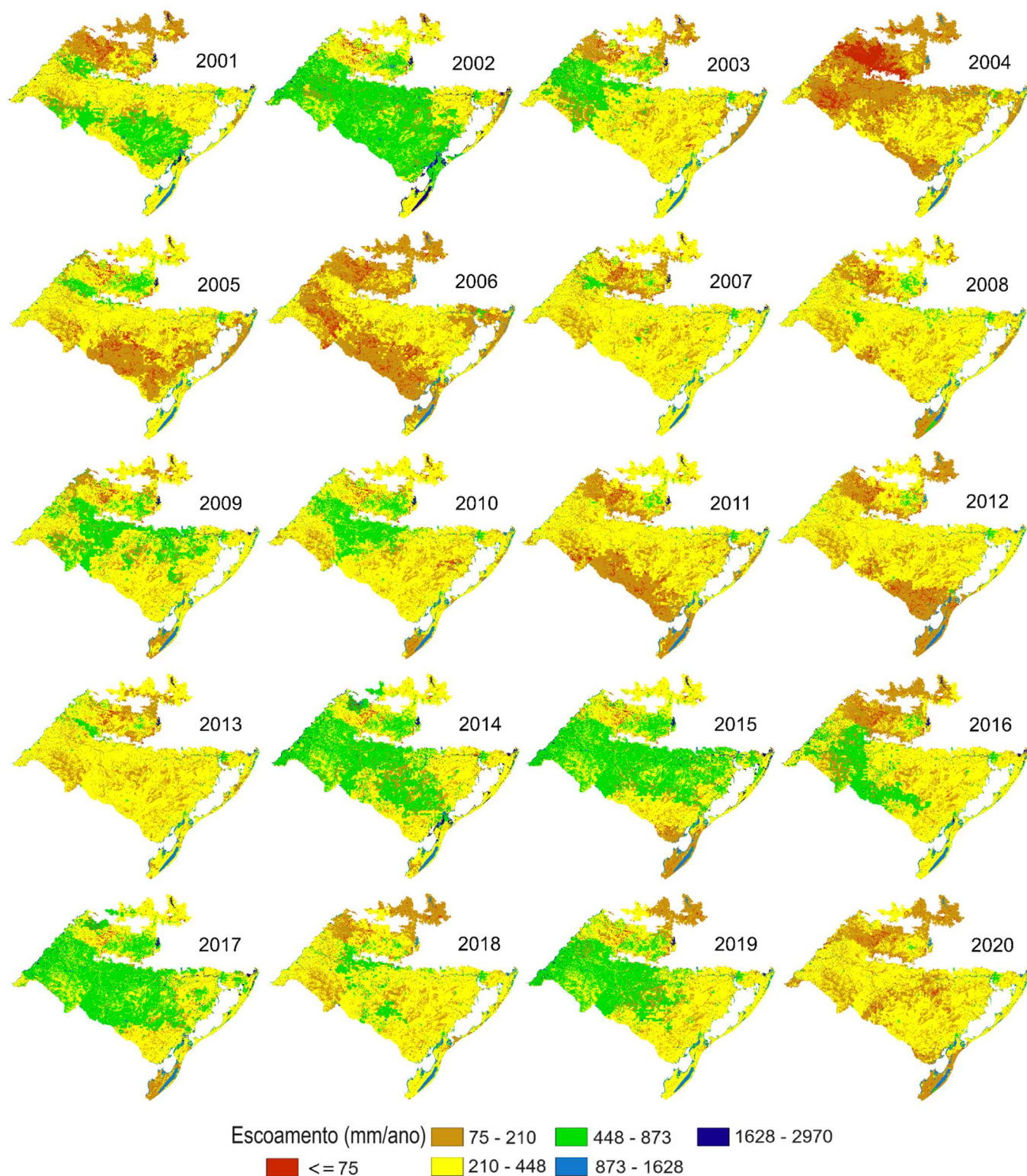


Figura 16 – Distribuição das Lâminas de escoamento Bioma Pampa.

Fonte: Autor, 2023.

6.1.6 Bioma Pantanal

A Figura 17 exibe a distribuição espacial das lâminas de escoamento anual no Bioma Pantanal para o período de 2001 a 2020.

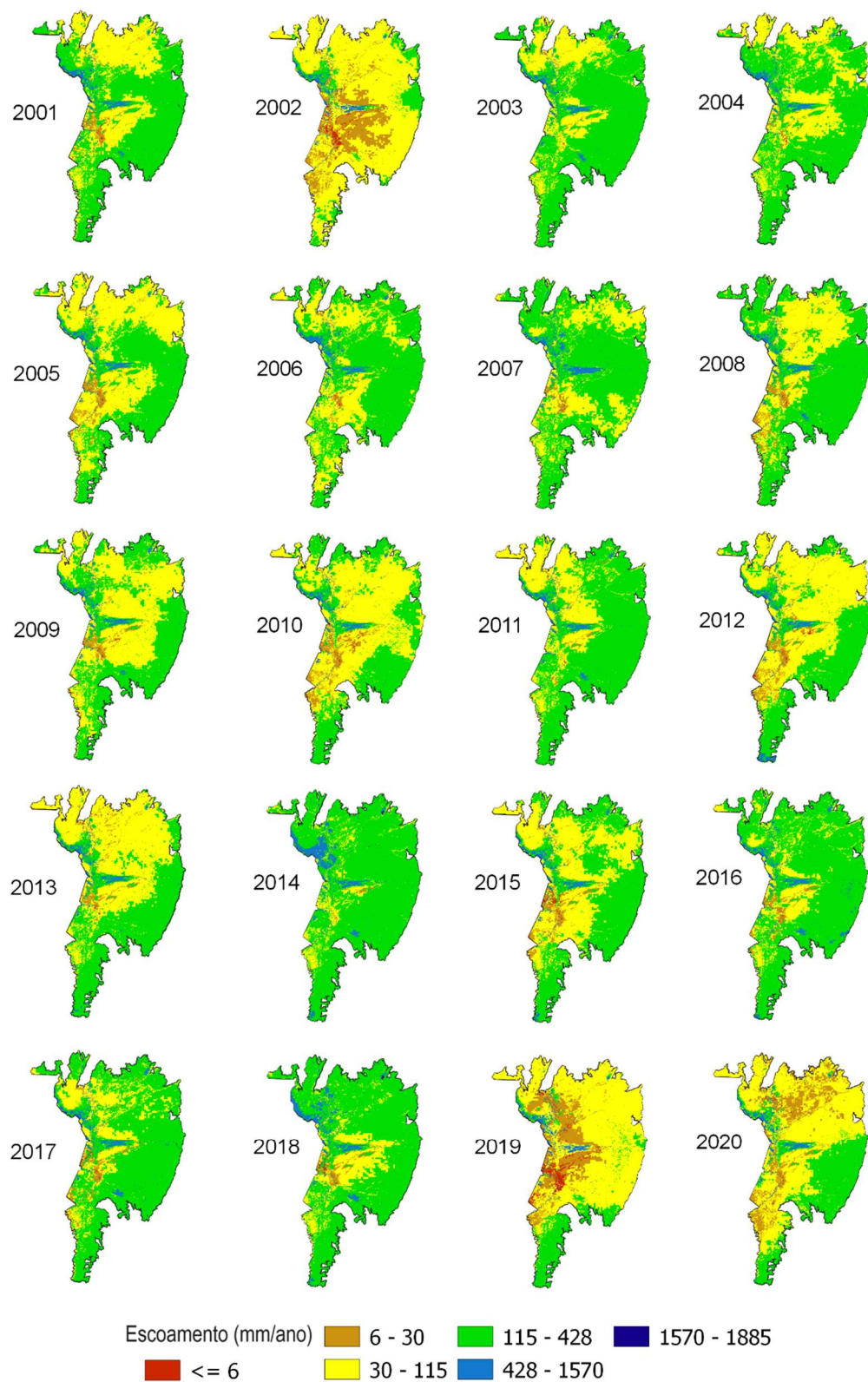


Figura 17 – Distribuição das Lâminas de escoamento Bioma Pantanal.

Fonte: Autor, 2023.

A análise dos resultados revela que o regime de escoamento varia significativamente ao longo dos anos em todo o Brasil. De forma geral, não foi identificado um padrão consistente para o regime de escoamento na série histórica de 2001 a 2020. O desvio padrão médio e o coeficiente de variabilidade foram classificados conforme o item 5.3.2.

No que se refere à estatística descritiva dos valores médios dos mapas, observa-se que o Bioma Amazônia apresentou um escoamento médio anual de 297 mm/ano no período analisado. Os valores anuais máximo e mínimo foram de 350 e 267 mm/ano, respectivamente (Tabela 7). A maior lâmina de escoamento registrada foi de 4.507 mm/ano no ano de 2011, sendo esta a maior entre todos os biomas. O desvio padrão médio foi de 361 mm/ano e o coeficiente de variabilidade de 120,65%, indicando alta variabilidade na série histórica.

Quanto ao Bioma Caatinga, que é o mais representativo do Semiárido brasileiro, a estatística descritiva extraída das imagens *raster* indica que, na série histórica de 2001 a 2020, o escoamento médio anual foi de 101 mm/ano. Os valores anuais máximo e mínimo foram de 167 e 40 mm/ano, respectivamente (Tabela 7). A maior lâmina de escoamento registrada foi em 2011, com 1.822,5 mm/ano. O desvio padrão médio alcançou 83,5 mm/ano e o coeficiente de variabilidade foi de 84,317%, o que também é considerado de alta variabilidade para a análise da série histórica.

No Bioma Cerrado, a média anual de escoamento na série histórica de 2001 a 2020 foi de 185,5 mm/ano, com valores máximos e mínimos anuais de 226 e 142 mm/ano, respectivamente (Tabela 7). O desvio padrão médio foi de 132 mm/ano, e o coeficiente de variabilidade alcançou 71,54%, o menor entre os biomas, mas ainda assim indicando alta variabilidade para o período analisado.

Para o Bioma Mata Atlântica, a média anual de escoamento no mesmo período foi de 180,5 mm/ano, com máximos e mínimos anuais de 232 e 143 mm/ano (Tabela 7). A maior lâmina de escoamento registrada foi de 4.477 mm/ano em 2009 (Tabela 8). O desvio padrão médio foi de 237 mm/ano, e o coeficiente de variabilidade de 129,84%, indicando alta variabilidade na série histórica.

No Bioma Pampa, observou-se a maior média anual de escoamento superficial entre os biomas, com 398,5 mm/ano. Os valores máximos e mínimos anuais foram de 569 e 255 mm/ano (Tabela 7). A maior lâmina de escoamento foi de 2.970 mm/ano em 2014. O desvio padrão médio de 307,5 mm/ano foi o maior entre os biomas, e o coeficiente de variabilidade foi de 79,92%, também indicando alta variabilidade.

Para o Bioma Pantanal, a média anual de escoamento foi de 169,5 mm/ano, com valores máximos e mínimos anuais de 228 e 86 mm/ano (Tabela 7). A maior lâmina de escoamento alcançou 1.882 mm/ano em 2015. O desvio padrão médio foi de 165,5 mm/ano, e o coeficiente de variabilidade foi de 101,97%, caracterizando alta variabilidade para o período analisado.

6.1 Estatística Descritiva - Precipitação

Em relação à precipitação, os dados estatísticos revelam que o Bioma Amazônia teve a maior média anual de 2.270,5 mm no período de 2001 a 2020, enquanto o Bioma Caatinga registrou a menor média anual de 663,5 mm, sendo este o mais seco. Assim, a Caatinga apresentou 29,22% da precipitação do Bioma Amazônia, com uma amplitude de 1.607 mm/ano, conforme detalhado na Tabela 5. Quanto às médias de precipitação (valores máximos e mínimos), o Bioma Amazônia se destacou com a média mais elevada de 2.517 mm/ano, e o Bioma Caatinga apresentou a menor média, com 398 mm/ano.

O desvio padrão médio das precipitações nos biomas brasileiros mostrou que o Bioma Amazônia teve o maior valor, com 458 mm/ano, enquanto o Bioma Pampa registrou o menor valor, com 217 mm/ano, no período analisado de 2001 a 2020. O coeficiente de variabilidade médio, classificado conforme o item 5.3.2, indicou uma variabilidade média para todos os biomas, com o valor máximo de 30,44% para o Bioma Caatinga e o mínimo de 12,73% para o Bioma Pantanal.

Tabela 5 - Estatística descritiva para a precipitação média no período de 2001–2020

Biomas	Média (mm/ano)	Mínima (mm/ano)	Máxima (mm/ano)	Desvio Padrão (mm/ano)	CV (%)	Variabilidade
Amazônia	2270,5	2040	2517	458	19,48	Média
Caatinga	663,5	398	910	203,5	30,44	Média
Cerrado	1380	1253	1634	296,5	22,30	Média
Mata Atlântica	1434	1213	1681	366	26,18	Média
Pampa	1599	1134	2280	217	14,17	Média
Pantanal	1160	853	1428	158,5	12,73	Média

Fonte: Autor, 2023.

A Tabela 6 detalha todos os valores estatísticos (média, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e variabilidade) de todos os biomas. A Figura 18, por sua vez, apresenta os valores de precipitação anual mínima, máxima e média de toda a série histórica. Verifica-se que a variabilidade anual é considerada média para todos os anos e biomas analisados, exceto para os biomas Pantanal e Pampa, que apresentaram baixa variabilidade.

Especificamente em relação ao Bioma Caatinga, Souza (2022) descreve que este ambiente é caracterizado pela irregularidade das chuvas, com uma precipitação média anual de 800 mm/ano. No presente estudo, o valor médio de precipitação encontrado para a Caatinga foi de 663,5 mm/ano, abaixo dos valores geralmente descritos na literatura. Os anos com maiores médias de precipitação foram 2009 e 2020, com 910 mm/ano e 895 mm/ano, respectivamente.

Quanto ao desvio padrão, os maiores valores no Bioma Caatinga foram registrados nos anos de 2009 (298 mm/ano) e 2011 (273 mm/ano). Em relação ao CV (coeficiente de variação), todos os anos foram classificados como de média variabilidade, destacando-se os anos de 2017 (40,97%), 2012 (39,95%), 2019 (39,02%) e 2003 (36,54%) como os mais acentuados (Tabela 6). A irregularidade na

distribuição da precipitação ao longo dos 20 anos é evidente, com 4 anos registrando precipitação superior a 800 mm/ano: 2004 (852 mm/ano), 2008 (810 mm/ano), 2009 (910 mm/ano) e 2020 (895 mm/ano).

Em relação ao Bioma Amazônia, conforme dados de Gilberto Fisch (INPE - 1998), a região possui uma precipitação média de aproximadamente 2.300 mm/ano, com áreas na fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela alcançando totais anuais de até 3.500 mm/ano, onde não existe período de seca. Esta elevada precipitação na região próxima à Cordilheira dos Andes é atribuída à ascensão orográfica da umidade trazida pelos ventos alísios de leste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Na região costeira, do Pará ao Amapá, a precipitação também é alta e sem período de seca definido, devido à influência das linhas de instabilidade formadas ao longo da costa durante as tardes e intensificadas pela brisa marítima.

O valor médio de precipitação encontrado neste estudo para o Bioma Amazônia foi de 2.270,5 mm/ano, ligeiramente inferior aos 2.300 mm/ano relatados por Gilberto Fisch. Os anos com as maiores médias de precipitação foram 2013 e 2008, com 2.517 mm/ano e 2.428 mm/ano, respectivamente.

Quanto ao Bioma Amazônico, os maiores desvios padrão ocorreram em 2002 (515 mm/ano) e 2019 (504 mm/ano). Em relação ao CV, todos os anos foram classificados como de média variabilidade, com os anos de 2002 (23,35%) e 2015 (22,45%) apresentando os maiores valores (Tabela 6). A distribuição da precipitação ao longo dos 20 anos mostra irregularidades, com 10 anos registrando precipitação superior à média anual de 2.270,5 mm.

Em relação ao Bioma Cerrado, Marcuzzo (2012) menciona que a precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.800 mm, com uma marcante estacionalidade concentrada nos meses de primavera e verão (outubro a março), que correspondem à estação chuvosa. Durante este período, podem ocorrer veranicos, períodos curtos de seca que afetam a agricultura. De maio a setembro, os índices pluviométricos mensais diminuem significativamente, chegando, em alguns casos, a zero, resultando em uma estação seca de três a cinco meses.

O estudo de Marcuzzo et al. (2012) aponta uma média anual de precipitação de 1.531,4 mm/ano para o Bioma Cerrado. Os dados encontrados neste trabalho indicam uma média anual de precipitação de 1.380 mm/ano para o Cerrado, um valor inferior ao citado na literatura. Os anos com as maiores médias de precipitação foram 2009 e 2011, com respectivamente 1.634 mm/ano e 1.547 mm/ano.

Em relação ao desvio padrão, os valores máximos no Bioma Cerrado foram observados em 2014 (399 mm/ano) e 2018 (352 mm/ano). Quanto ao CV, todos os anos foram classificados como de média variabilidade, com 2014 (27,73%) e 2015 (26,67%) apresentando os maiores coeficientes

(Tabela 6). A análise da distribuição da precipitação ao longo dos 20 anos revela irregularidades, com 10 anos registrando precipitação superior à média anual de 1.380 mm.

O Bioma Mata Atlântica é caracterizado por mais de 50% de sua composição florística ser de espécies caducifólias. Apresenta uma dupla estacionalidade climática, com uma estação chuvosa seguida por uma estação seca, ou sem estação seca definida, mas com temperaturas médias anuais no inverno não superiores a 15°C e uma precipitação anual média entre 700 e 2.000 mm/ano (SANCHEZ-AZOFEIFA et al., 2005).

No presente estudo, o valor médio de precipitação encontrado para o Bioma Mata Atlântica foi de 1.434 mm/ano, situando-se dentro do intervalo descrito por Sanchez-Azofeifa (2005). Os maiores valores médios de precipitação foram registrados em 2009 e 2015, com 1.681 mm/ano e 1.595 mm/ano, respectivamente.

Em relação ao Bioma Mata Atlântica, os anos de 2014 e 2015 apresentaram os maiores valores de desvio padrão, com 608 mm/ano e 575 mm/ano, respectivamente. O CV de todos os anos foi classificado como de média variabilidade, com 2014 (42,46%) e 2015 (36,05%) registrando os maiores índices (Tabela 6). A distribuição da precipitação ao longo dos 20 anos analisados mostra irregularidades, com 11 anos apresentando precipitação superior à média anual de 1.380 mm.

No Bioma Pampa, predominam cinco tipologias climáticas, conforme descrito por Rossato (2011): subtropical pouco úmido com inverno frio e verão fresco; subtropical pouco úmido com inverno frio e verão quente; subtropical II medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias; subtropical III úmido com variação longitudinal das temperaturas médias; e subtropical I, muito úmido com inverno fresco e verão quente. O clima subtropical, influenciado pelos sistemas polares, é predominante na região sudeste do Rio Grande do Sul, com precipitação anual variando entre 1.200 e 1.500 mm/ano e temperatura média anual entre 17 e 20°C. No presente estudo, o valor médio de precipitação anual encontrado para o Pampa foi de 1.599 mm/ano, ligeiramente acima do intervalo usual, mas não apresentando grande discrepância.

De acordo com a pesquisa de Jaeger (2022), o Bioma Pampa registrou uma média acumulada anual de precipitação de 1.632,7 mm/ano. O valor encontrado neste trabalho, de 1.599 mm/ano, é um pouco inferior, mas ainda assim próximo ao relatado na literatura. Os anos com as maiores médias acumuladas de precipitação foram 2002 e 2014, com 2.280 mm/ano e 2.071 mm/ano, respectivamente.

Quanto ao desvio padrão, os valores máximos no Bioma Pampa foram observados em 2015 (364 mm/ano) e 2017 (356 mm/ano). Em relação ao CV, todos os anos foram classificados como de média a baixa variabilidade, com os anos de 2005 (20,55%) e 2011 (18,50%) apresentando os maiores coeficientes (Tabela 6). A distribuição da precipitação ao longo dos 20 anos analisados mostra irregularidades, com 10 anos excedendo a média anual de 1.599 mm.

O clima no Bioma Pantanal é predominantemente tropical, mas sofre influências das massas de ar frio vindas do sul, com penetração rápida pelas planícies dos pampas e do chaco, apresentando diferenças marcantes entre as estações úmida (outubro a março) e seca (abril a setembro). Segundo Ambiente Brasil (2012) e Viana e Alvalá (2011), a temperatura média anual é de 25°C, com máximos e mínimos médios anuais em torno de 34°C e 15°C, respectivamente. A precipitação média anual dos últimos 14 anos foi de aproximadamente 1.220 mm/ano, variando de 239 mm/ano na estação seca a 1.002 mm/ano na estação úmida.

No período de 2001 a 2021, a média anual acumulada de precipitação no Bioma Pantanal foi de 1.160 mm/ano, com variação anual de 1.428 mm/ano (2007) a 853 mm/ano (2009), conforme Tabela 6. Estes valores estão próximos aos encontrados em séries históricas mais longas, que indicam variações anuais de precipitação entre 1.150 e 1.500 mm/ano na região (COLLINSCHONN; TUCCI; CLARKE, 2001). Renard, Foster e Weesies (1997) observaram que poucos eventos de chuvas torrenciais são responsáveis por altas taxas de sedimentos, eventos esses não identificados em séries históricas mais curtas.

Em relação ao desvio padrão, os valores máximos no período de 2001 a 2021 foram encontrados em 2002 (192 mm/ano) e 2015 (188 mm/ano). Quanto ao CV, todos os anos foram classificados como de média a baixa variabilidade, com 2002 (21,57%) e 2019 (18,76%) apresentando os maiores índices (Tabela 6). A distribuição da precipitação ao longo dos 20 anos analisados mostra irregularidades, com 10 anos excedendo a média anual de 1.160 mm.

Tabela 6 – Estatística Descritiva precipitação dos Biomas

[illegible]

MATA ATLÂNTICA																				
Anos	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Média (mm/ano)	1447	1486	1342	1437	1476	1339	1381	1406	1681	1417	1514	1311	1566	1432	1595	1468	1436	1411	1276	1213
Mínima (mm/ano)	252	293	240	258	367	308	340	349	377	417	320	209	262	238	227	179	285	223	297	384
Máxima (mm/ano)	3234	3036	2841	3196	3433	2872	3342	3591	4477	3687	3409	4140	3432	3799	3584	3252	3589	2939	3243	2473
Desvio Padrão (mm/ano)	383	404	363	253	314	218	389	316	374	367	384	365	345	608	575	413	468	316	364	245
CV (%)	26,47	27,19	27,05	17,61	21,27	16,28	28,17	22,48	22,25	25,90	25,36	27,84	22,03	42,46	36,05	28,13	32,59	22,40	28,53	20,20
Variabilidade	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
PANTANAL																				
Anos	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Média (mm/ano)	1260	890	1221	1144	1117	1292	1156	1164	1131	915	1227	1124	1122	1428	1211	1284	1346	1419	922	853
Mínima (mm/ano)	892	596	914	864	867	942	839	898	745	662	891	714	752	1097	775	873	965	963	597	611
Máxima (mm/ano)	1719	1612	1685	1594	1459	1877	1575	1582	1806	1329	1678	1740	1668	1821	1886	1732	1828	1934	1552	1287
Desvio Padrão (mm/ano)	159	192	136	101	113	166	132	114	181	127	160	174	158	144	188	156	166	169	173	134
CV (%)	12,62	21,57	11,14	8,83	10,12	12,85	11,42	9,79	16,00	13,88	13,04	15,48	14,08	10,08	15,52	12,15	12,33	11,91	18,76	15,71
Variabilidade	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Média	Média	Média	Média	Média	Baixa	Média	Média	Média	Baixa	Média	Média
PAMPA																				
Anos	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Média (mm/ano)	1754	2280	1715	1134	1426	1274	1647	1290	1744	1534	1346	1366	1492	2071	2017	1738	1953	1551	1767	1237
Mínima (mm/ano)	852	1115	809	748	972	737	936	817	1034	953	929	902	974	965	1044	1010	1070	852	1041	831
Máxima (mm/ano)	2228	2934	2218	1491	2207	1812	2210	1742	2247	2196	2135	1844	2097	3114	2707	2138	2734	2035	2258	1689
Desvio Padrão (mm/ano)	208	324	249	112	293	191	187	178	223	244	249	194	211	325	364	198	356	204	246	151
CV (%)	11,86	14,21	14,52	9,88	20,55	14,99	11,35	13,80	12,79	15,91	18,50	14,20	14,14	15,69	18,05	11,39	18,23	13,15	13,92	12,21
Variabilidade	Baixa	Média	Média	Baixa	Média	Média	Baixa	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Baixa	Média	Média	Média	Média

Fonte: Autor, 2023.

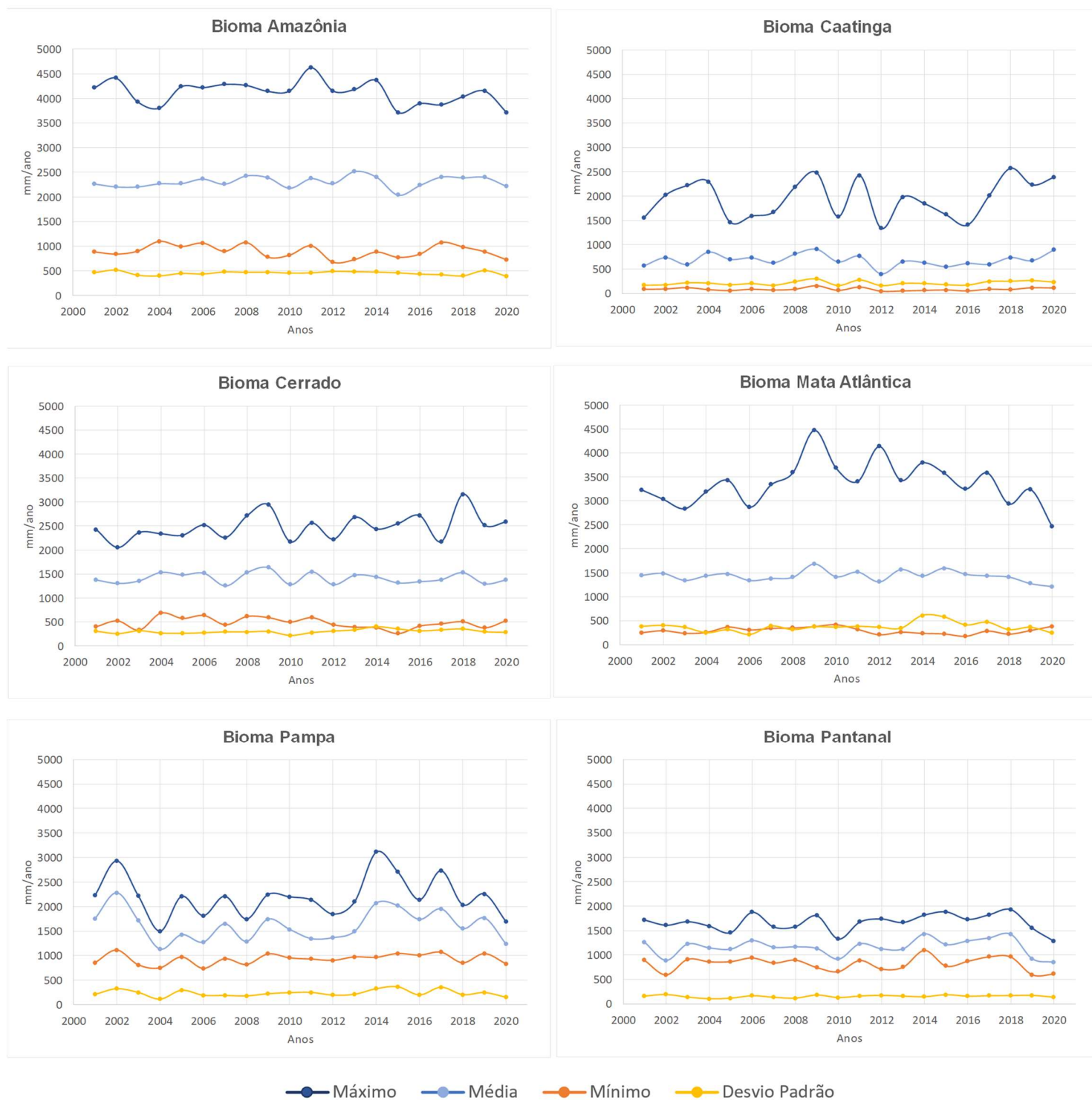


Figura 18 - Precipitação máxima, média, mínima e desvio padrão anual Biomas Brasileiros.

Fonte: Autor, 2023.

6.2 Estatística Descritiva - Escoamento

A análise dos dados de estatística descritiva do escoamento revela que o Bioma Caatinga apresentou o menor escoamento médio anual de 101 mm/ano no período de 2001 a 2020. Por outro lado, o Bioma Pampa registrou o maior escoamento médio anual de 398,5 mm/ano, indicando que o Bioma Caatinga escoou apenas 25,3% do valor do Bioma Pampa, com uma amplitude de 297,5 mm/ano, conforme ilustrado na Tabela 7. No que diz respeito às médias das lâminas de escoamento (valores máximos e mínimos), o Bioma Pampa se destacou com a média mais elevada de 569 mm/ano, enquanto a Caatinga apresentou a menor média, com 40 mm/ano. As variabilidades foram classificadas conforme o item 5.3.2.

Quanto ao desvio padrão médio das lâminas de escoamento nos biomas brasileiros, o Bioma Pampa teve o maior valor com 307,5 mm/ano, enquanto o Caatinga apresentou o menor desvio padrão médio de 83,5 mm/ano, durante o mesmo período. Em relação ao coeficiente de variabilidade médio, observou-se alta variabilidade em todos os biomas, com o valor máximo sendo de 129,84% no Bioma Mata Atlântica e o mínimo de 71,55% no Bioma Cerrado.

Tabela 7 - Estatística descritiva para escoamento médio no período de 2001–2020

Biomas	Média (mm/ano)	Mínima (mm/ano)	Máxima (mm/ano)	Desvio Padrão (mm/ano)	CV (%)	Variabilidade
Amazônia	297	267	350	361	120,65	Alta
Caatinga	101	40	167	83,5	84,33	Alta
Cerrado	185,5	142	226	132	71,55	Alta
Mata Atlântica	180,5	143	232	237	129,84	Alta
Pampa	398,5	255	569	307,5	79,92	Alta
Pantanal	169,5	86	228	165,5	101,97	Alta

Não foram encontrados valores de escoamento médio calculados de forma distribuída e semelhante a este estudo em outras pesquisas para servirem como base de comparação. No entanto, os valores médios de lâmina de escoamento superficial encontrados neste trabalho mostram-se coerentes com as análises gerais de precipitação e escoamento, conforme indicado na Tabela 8.

O maior valor médio de lâmina de escoamento superficial foi observado no Bioma Pampa nos anos de 2002 e 2017, com 569 mm/ano e 538 mm/ano, respectivamente. Em termos de desvio padrão médio, o Bioma Pampa também apresentou valores extremos, com 431 mm/ano em 2002 e 373 mm/ano em 2014. O coeficiente de variação (CV) para o Pampa foi o segundo menor, com 79,92%. Os maiores CVs foram registrados no Bioma Mata Atlântica nos anos de 2015 (147%), 2014 (145%) e 2001 (141,7%).

A Figura 19 e a Tabela 8 mostram as lâminas de escoamento superficial anual mínimas, máximas e médias para todos os biomas brasileiros ao longo da série histórica. Observa-se que não

há um padrão uniforme na distribuição desses valores ao longo dos 20 anos, mas limites claros podem ser identificados.

Analisando a Tabela 8, identifica-se uma alta variabilidade anual de escoamento em todos os anos e biomas analisados. No Bioma Caatinga, os anos com os valores médios mais elevados de lâmina de escoamento superficial foram 2004 e 2009, com 167 mm/ano e 140 mm/ano, respectivamente. Por outro lado, os valores médios mais baixos foram observados em 2012 (40 mm/ano) e 2001 (64 mm/ano). Nota-se que em 9 anos, o escoamento superou a média anual de 101 mm: 2004 (167 mm/ano), 2009 (140 mm/ano), 2020 (132 mm/ano), 2002 (127 mm/ano), 2008 (122 mm/ano), 2018 (116 mm/ano), 2005 (112 mm/ano), 2011 (112 mm/ano) e 2013 (107 mm/ano).

Em relação ao escoamento das lâminas máximas no Bioma Caatinga, a Figura 19 e a Tabela 8 indicam que a média foi de 1.822,5 mm/ano. Os anos de 2009 e 2018 se destacaram com os valores máximos de escoamento de 2.478 mm/ano e 2.460 mm/ano, respectivamente. O desvio padrão mais elevado foi registrado nos anos de 2009 (123 mm/ano) e 2020 (104 mm/ano). Quanto ao CV, todos os anos foram classificados como de alta variabilidade, com 2012 (145%) e 2003 (100%) apresentando os maiores índices.

No Bioma Amazônia, os anos com os valores médios mais elevados de lâmina de escoamento superficial foram 2014 (350 mm/ano) e 2013 (345 mm/ano), enquanto os valores médios menos acentuados foram observados em 2012 (267 mm/ano) e 2015 (271 mm/ano). Destaca-se que em 8 anos, o escoamento superou a média anual de 297 mm: 2006 (303 mm/ano), 2008 (311 mm/ano), 2009 (310 mm/ano), 2013 (345 mm/ano), 2014 (350 mm/ano), 2017 (337 mm/ano), 2018 (328 mm/ano) e 2019 (327 mm/ano), conforme a Tabela 8.

Para o Bioma Amazônia, conforme ilustrado na Figura 19 e Tabela 8, a média das lâminas máximas de escoamento foi de 4.028,5 mm/ano, com 2011 (4.507 mm/ano) e 2014 (4.260 mm/ano) apresentando os valores máximos. Os anos de 2008 (389 mm/ano) e 2013 (388 mm/ano) tiveram os desvios padrões mais elevados, e o CV classificou todos os anos como de alta variabilidade, destacando-se 2012 (128%) e 2002 (127,7%).

No Bioma Cerrado, os anos com os valores médios mais altos de lâmina de escoamento superficial foram 2004 (226 mm/ano) e 2018 (219 mm/ano). Os valores médios mais baixos foram registrados em 2012 (142 mm/ano) e 2018 (145 mm/ano). Foram 10 anos com escoamento superior à média anual de 185,5 mm: 2004 (226 mm/ano), 2005 (208 mm/ano), 2006 (186 mm/ano), 2008 (206 mm/ano), 2009 (210 mm/ano), 2011 (208 mm/ano), 2013 (199 mm/ano), 2016 (188 mm/ano), 2018 (219 mm/ano) e 2020 (191 mm/ano), conforme apresentado na Tabela 8.

Para o Bioma Cerrado, conforme mostrado na Figura 19 e na Tabela 6, a média das lâminas máximas de escoamento foi de 2.319 mm/ano. Os valores máximos de escoamento se destacaram nos anos de 2018 (3.066 mm/ano) e 2009 (2.675 mm/ano). Quanto ao desvio padrão, os anos de 2018

(154 mm/ano) e 2009 (150 mm/ano) apresentaram os valores mais elevados. Todos os anos foram classificados como de alta variabilidade no CV, com 2019 (82,8%) e 2012 (78,87%) sendo os mais acentuados.

No Bioma Mata Atlântica, os anos com valores médios mais altos de lâminas de escoamento superficial foram 2009 (232 mm/ano) e 2011 (221 mm/ano), enquanto os mais baixos ocorreram em 2019 (143 mm/ano) e 2012 (152 mm/ano), conforme a Tabela 6. A Figura 19 e a Tabela 6 também indicam que a média das lâminas máximas de escoamento foi de 3.232 mm. Os anos de 2009 (4.477 mm/ano) e 2012 (3.776 mm/ano) tiveram os valores máximos mais elevados. Os desvios padrões mais acentuados foram em 2009 (285 mm/ano) e 2013 (275 mm/ano), e os CVs mais altos ocorreram em 2015 (147,22%) e 2014 (144,72%).

Para o Bioma Pampa, os valores médios das lâminas de escoamento superficial mais altos foram registrados em 2002 (569 mm) e 2017 (538 mm), enquanto os mais baixos ocorreram em 2004 (255 mm) e 2006 (274 mm). Dez anos apresentaram escoamento superior à média anual de 398,5 mm: 2001 (428 mm/ano), 2002 (569 mm/ano), 2003 (404 mm/ano), 2009 (447 mm/ano), 2010 (404 mm/ano), 2014 (510 mm/ano), 2015 (526 mm/ano), 2016 (421 mm/ano), 2017 (538 mm/ano) e 2019 (464 mm/ano), conforme a Tabela 6.

Para o Bioma Pampa, conforme apresentado na Figura 19 e na Tabela 6, a média das lâminas máximas de escoamento foi de 2.100,5 mm/ano. Os anos de 2013 (2.970 mm/ano) e 2002 (2.866 mm/ano) registraram os valores máximos mais elevados. Quanto ao desvio padrão, os valores mais altos foram observados em 2002 (431 mm/ano) e 2014 (373 mm/ano). Todos os anos foram classificados como de alta variabilidade no CV, com 2004 (99,22%) e 2006 (96,35%) apresentando os maiores índices.

No Bioma Pantanal, os anos com valores médios mais altos de lâminas de escoamento superficial foram 2014 (228 mm/ano) e 2018 (207 mm/ano), enquanto os mais baixos ocorreram em 2002 (86 mm/ano) e 2019 (94 mm/ano). Foram 10 anos com escoamento superior à média anual de 169,5 mm: 2001 (176 mm/ano), 2003 (192 mm/ano), 2004 (170 mm/ano), 2006 (174 mm/ano), 2007 (179 mm/ano), 2011 (182 mm/ano), 2014 (228 mm/ano), 2016 (204 mm/ano), 2017 (193 mm/ano) e 2018 (207 mm/ano), conforme a Tabela 6.

Em relação ao Bioma Pantanal, a Figura 19 e a Tabela 6 mostram que a média das lâminas máximas de escoamento foi de 1.630,5 mm/ano. Os anos de 2015 (1.882 mm/ano) e 2018 (1.850 mm/ano) tiveram os valores máximos mais elevados. Os desvios padrões mais acentuados foram registrados em 2014 (202 mm/ano) e 2018 (200 mm/ano), e os CVs mais altos ocorreram em 2002 (148,8%) e 2019 (139%).

Tabela 8 – Estatística Descritiva do Escoamento por Biomas

[illegible]

MATA ATLÂNTICA

[illegible]

PANTANAL

[illegible]

PAMPA

[illegible]

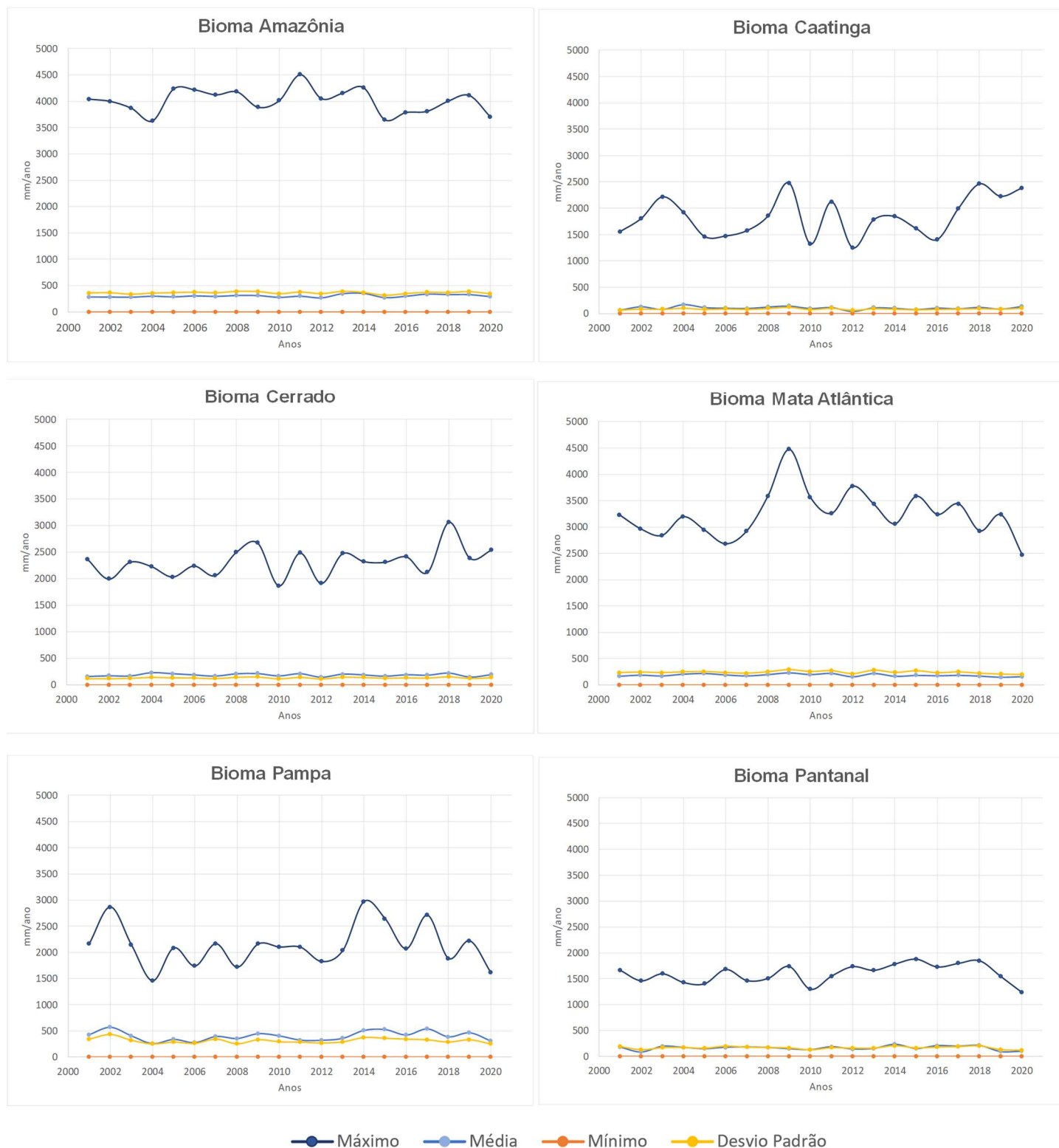


Figura 19 - Escoamento máximo, médio, mínimo e desvio padrão anual no período 2001 a 2020.

Fonte: Autor, 2023.

6.3 Teste de Fisher - Precipitação versus Escoamento

A Figura 20 exibe a variação dos valores relacionando precipitação e escoamento, conforme o Teste de Fisher, especificamente para o Bioma Caatinga no ano de 2004, que se destaca como o ano com o maior escoamento médio. A figura é resultado de análises combinatórias que integram dez classes de valores de precipitação e escoamento para cada combinação específica, envolvendo 4 Tipos de Solo e 5 classificações de uso e ocupação do solo. Essa abordagem permite uma compreensão detalhada da relação entre precipitação e escoamento sob diferentes condições de solo e uso da terra no Bioma Caatinga para o ano em questão.

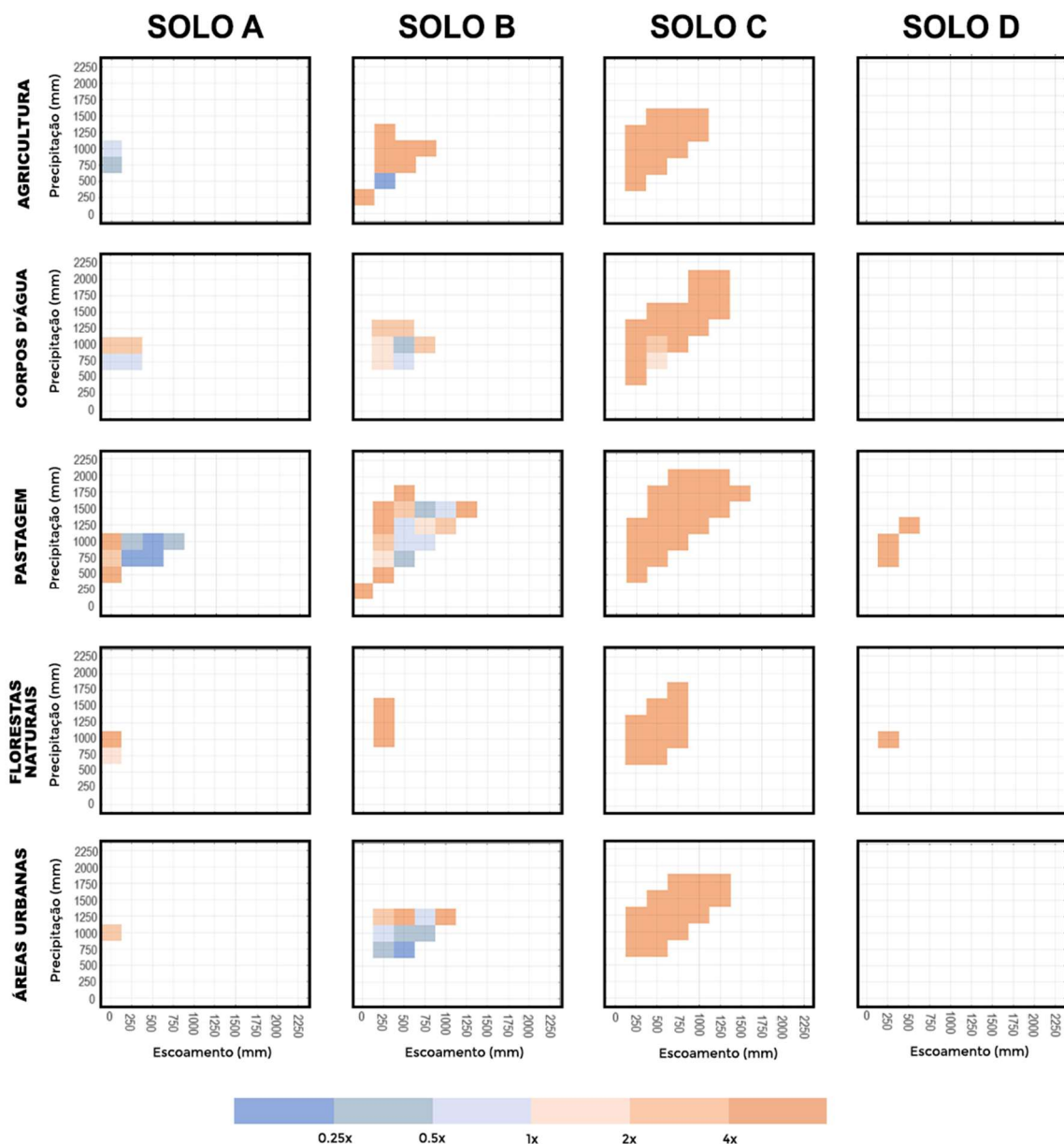


Figura 20 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Caatinga em 2004.

Fonte: Autor, 2023.

Para cada bioma, foram gerados 20 mosaicos, correspondendo a cada ano, totalizando 120 mosaicos, como demonstrado na Figura 20 e detalhado no Apêndice A. Cada mosaico contém 20 imagens, representando diferentes combinações de uso do solo e tipo de solo, resultando em um total de 2.400 imagens para todas as figuras de mosaico. Essa quantidade extensa de dados (big data) demandou processamento intensivo no Software MATLAB.

Devido à vasta quantidade de dados, a discussão dos resultados neste estudo se concentra principalmente nos anos com maior escoamento médio para cada bioma. Entretanto, análises adicionais podem ser realizadas para outros anos e biomas, e os dados completos estão disponíveis no Apêndice A para estudos futuros e análises mais profundas.

Especificamente para o Bioma Caatinga, a análise da Figura 20 revela, por exemplo, na imagem superior esquerda, que pixels classificados como tipo de solo A e uso e ocupação Agricultura em regiões com precipitação superior a 1000 mm/ano (linha 5) têm uma probabilidade igual ou superior de apresentar valores de escoamento maiores que 0 mm/ano (coluna 1), em comparação às regiões com precipitação média inferior a 1000 mm/ano. Em outras palavras, os resultados do teste de Fisher indicam que situações com precipitação acima de 1000 mm/ano têm uma chance igual ou maior de gerar escoamento superior a 0 mm/ano em áreas classificadas com solo tipo A e uso e ocupação Agricultura, do que em situações com precipitação abaixo desse valor.

Na Figura 20, os valores em branco indicam que o teste de Fisher não resultou em significância estatística ($p > 0.05$). Esta observação é crucial, pois sinaliza as relações entre tipos de solo e características de uso e ocupação do solo que não possuem associação estatisticamente significativa. Especificamente, foi notado que as combinações envolvendo o tipo de Solo D não mostraram significância para as áreas classificadas como agricultura, corpos d'água e áreas urbanas.

Em uma análise anual mais abrangente, observa-se que áreas classificadas com o grupo de solo Tipo C e Uso e Ocupação de Pastagem e Corpos de d'água geralmente têm valores máximos de precipitação inferiores a 2000 mm/ano. Nessas áreas, precipitações de 1750 mm/ano têm 4 vezes (ou mais) chances de gerar escoamento superior a 1500 mm/ano em comparação com situações em que a precipitação é inferior a 1750 mm.

Especificamente para o Bioma Caatinga, como mostrado na Figura 20, áreas classificadas com Uso e Ocupação de Corpos de Água, associadas ao tipo de solo C, apresentam eventos máximos de precipitação e escoamento superiores a 2000 mm/ano. Nesta combinação, precipitações de 2000 mm/ano têm 4 vezes (ou mais) chances de gerar escoamento superior a 1250 mm/ano comparado com situações onde a precipitação é menor que 2000 mm/ano. Este padrão também foi observado para áreas urbanas com o mesmo tipo de solo (Solo C).

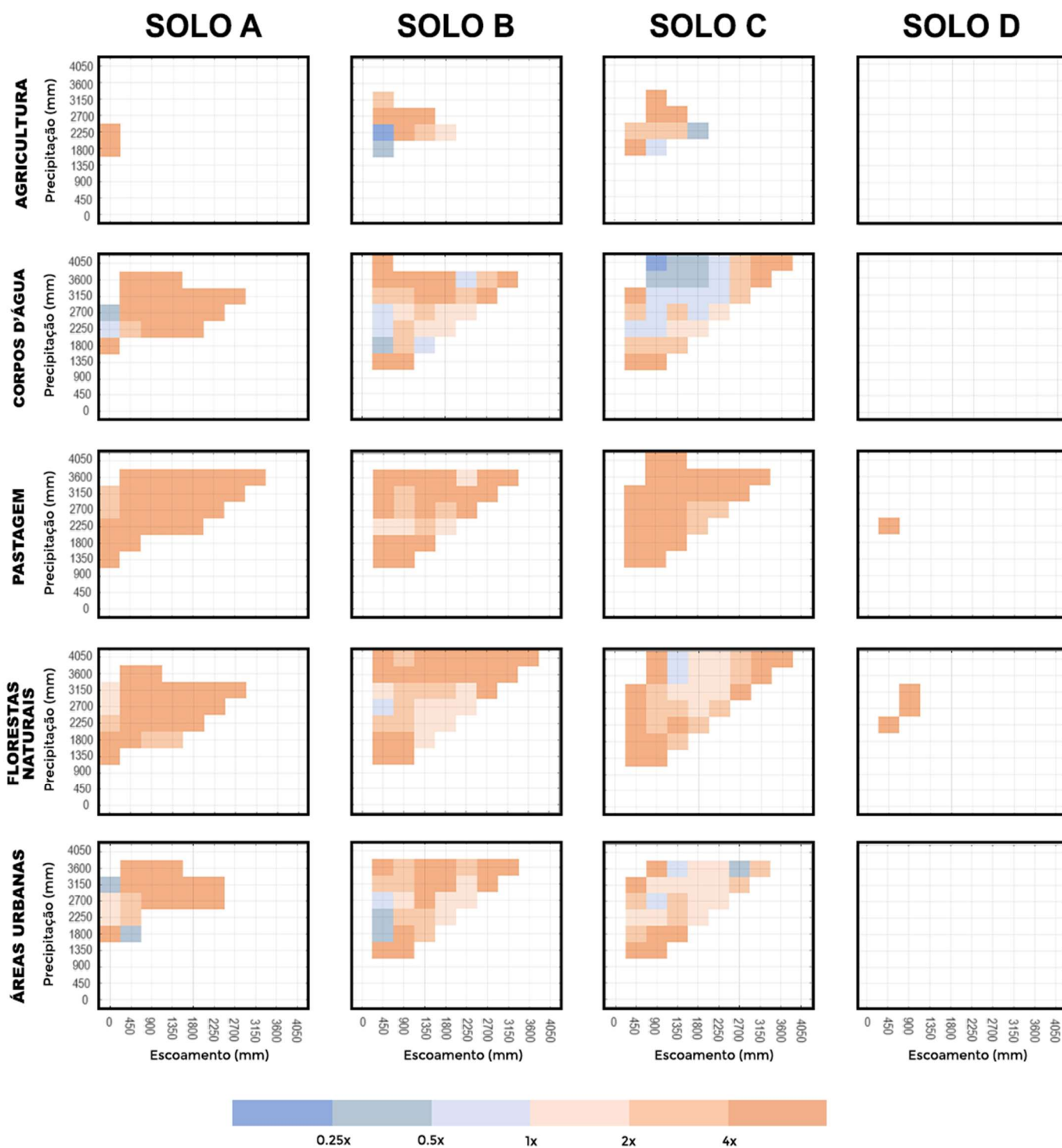


Figura 21 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Amazônia em 2014.

Fonte: Autor, 2023.

No que diz respeito ao Bioma Amazônia, os resultados da Figura 21, em particular na parte inferior esquerda, demonstram que pixels com tipo de solo A e uso e ocupação como áreas urbanas em regiões com precipitações superiores a 3600 mm/ano (linha 9) apresentam 4 vezes (ou mais) chances de ter escoamento superior a 1360 mm/ano (coluna 4), em comparação com áreas onde a precipitação é inferior a 3600 mm/ano. Isso significa que, conforme o teste de Fisher, em situações de precipitação acima de 3600 mm/ano, há uma probabilidade significativamente maior de ocorrência de escoamento acima de 1360 mm/ano em áreas urbanas com solo tipo A.

Além disso, a análise dos resultados do Teste de Fisher para o Bioma Amazônia revela que as áreas em branco na Figura 21 indicam falta de significância estatística no teste ($p > 0.05$). Esses resultados são importantes para identificar a presença ou ausência de relação entre os tipos de solo e as características de uso e ocupação do solo, além de determinar o nível de associação entre estas variáveis. Foi observado que, para o tipo de solo D, não há significância estatística nas áreas classificadas para agricultura, corpos d'água e áreas urbanas.

Quanto aos valores máximos observados na Figura 21, áreas classificadas com o tipo de solo C e uso e ocupação como pastagem e corpos d'água mostraram os maiores valores de relação entre precipitação e escoamento. Neste cenário, precipitações de 4050 mm/ano têm 4 vezes (ou mais) chances de resultar em escoamento superior a 3600 mm/ano, em comparação com situações de precipitações inferiores a 4050 mm/ano.

Na análise abrangente de todas as combinações de tipo e uso de solo no Bioma Amazônia, conforme evidenciado na Figura 21, foi observado que as áreas com tipos de solo A e D apresentam as menores relações entre precipitação e escoamento. De maneira específica, a combinação de solo Tipo D com Uso e Ocupação como Pastagem apresentou a menor probabilidade de eventos significativos: áreas com precipitações de 2250 mm/ano têm 4 vezes (ou mais) chances de gerar escoamento superior a 200 mm/ano, em comparação com áreas onde a precipitação é inferior a 2250 mm/ano.

No contexto do Bioma Amazônia, as áreas classificadas como Florestas Naturais com solo tipo C são as que apresentam os maiores eventos de precipitação e escoamento, superiores a 3600 mm/ano. Neste cenário, precipitações de 4050 mm/ano (linha 10) têm 4 vezes (ou mais) chances de resultar em escoamento acima de 3600 mm/ano, comparativamente a situações de precipitações menores que 4050 mm/ano. Resultados semelhantes foram observados para áreas classificadas como Corpos d'água com o mesmo tipo de solo (Solo C).

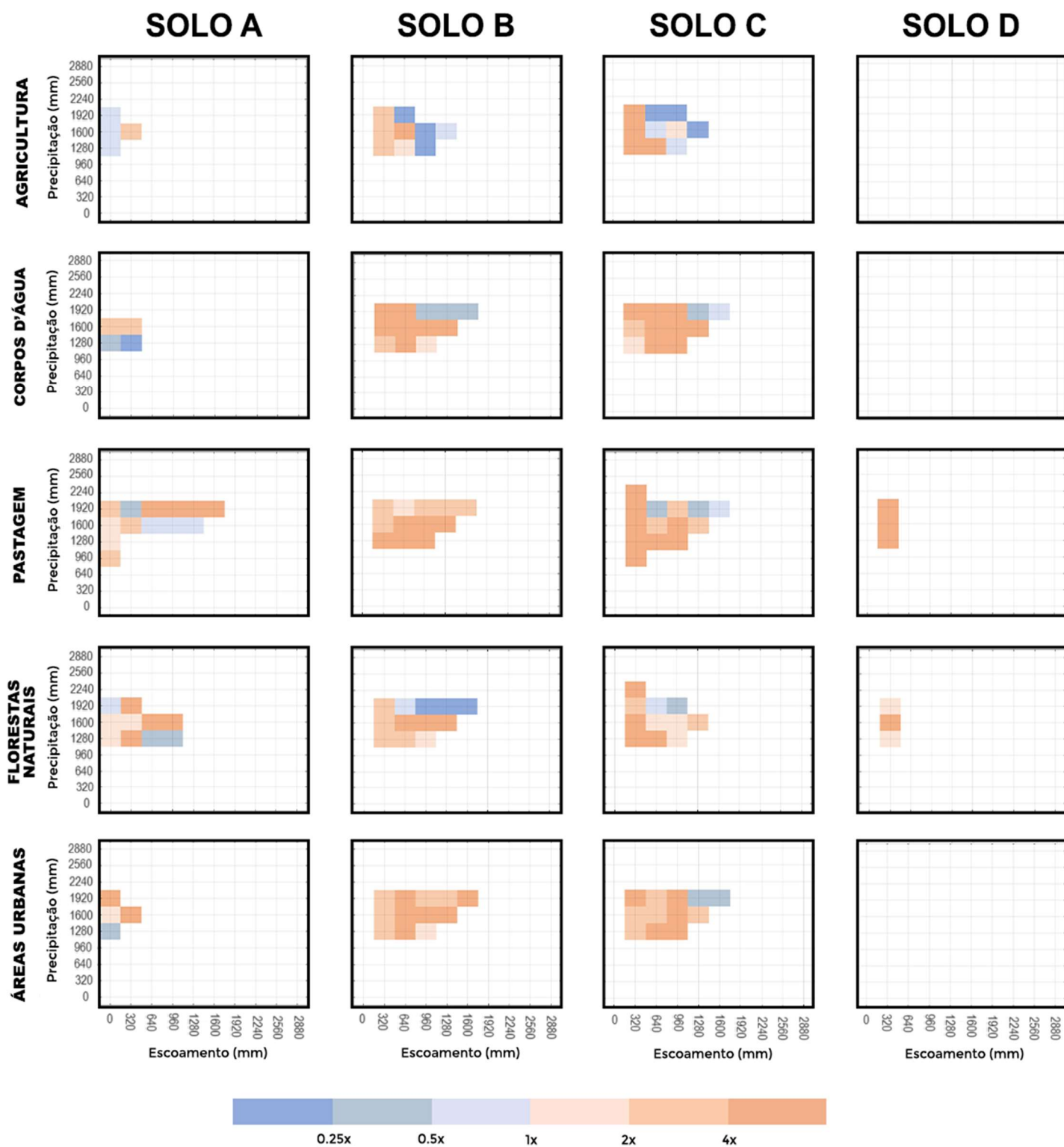


Figura 22 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Cerrado em 2004.

Fonte: Autor, 2023.

No Bioma Cerrado, referente ao ano de 2004 e ilustrado na Figura 22, a análise especificamente na parte superior esquerda revela que pixels com tipo de solo A e uso e ocupação como Agricultura, em regiões com precipitações acima de 1920 mm/ano (linha 7), têm uma probabilidade igual ou maior de ter escoamento acima de 0 mm/ano (coluna 1) comparativamente às áreas com precipitação inferior a 1920 mm/ano. Isto implica que, segundo o Teste de Fisher, existem maiores chances de escoamento superior a 0 mm/ano em áreas de Agricultura com solo tipo A quando a precipitação excede 1920 mm/ano.

Além disso, a análise dos resultados do Teste de Fisher para o Bioma Cerrado, conforme apresentado na Figura 22, destaca que os espaços em branco indicam falta de significância estatística no teste ($p > 0.05$). Isso aponta a ausência de relação estatisticamente significativa entre certos tipos de solo e usos e ocupações do solo, em particular para o tipo de Solo D em áreas classificadas como agricultura, corpos d'água e áreas urbanas.

Ao avaliar as relações de valores máximos na Figura 22, percebe-se que áreas classificadas com solo tipo A e uso e ocupação como Pastagem apresentam os maiores valores de relação entre precipitação e escoamento. Nesse contexto, precipitações de 1920 mm/ano têm 4 vezes (ou mais) chances de resultar em escoamento superior a 1600 mm/ano em comparação com situações de precipitação inferior a 1920 mm/ano.

No contexto do Teste de Fisher aplicado ao Bioma Cerrado, observa-se que, entre as várias combinações de tipo e uso de solo analisadas, os solos tipo A e D demonstram menores relações entre precipitação e escoamento. Especificamente, a combinação de solo Tipo D com Uso e Ocupação como Florestas Naturais apresentou a menor relação: áreas com precipitações de 1920 mm/ano têm uma probabilidade igual ou maior de gerar escoamento acima de 200 mm/ano, em comparação com áreas onde a precipitação é menor que 1920 mm/ano.

Adicionalmente, conforme mostrado na Figura 22 para o Bioma Cerrado, áreas classificadas como Pastagem e com solo tipo C exibem eventos máximos de precipitação superiores a 2240 mm/ano. Nesta configuração, precipitações de 2240 mm/ano (linha 8) têm 4 vezes (ou mais) chances de resultar em escoamento acima de 320 mm/ano (linha 2), em comparação com áreas onde a precipitação é inferior a 2240 mm/ano. Um padrão similar foi observado para áreas classificadas como Florestas Naturais com o mesmo tipo de solo (Solo C).

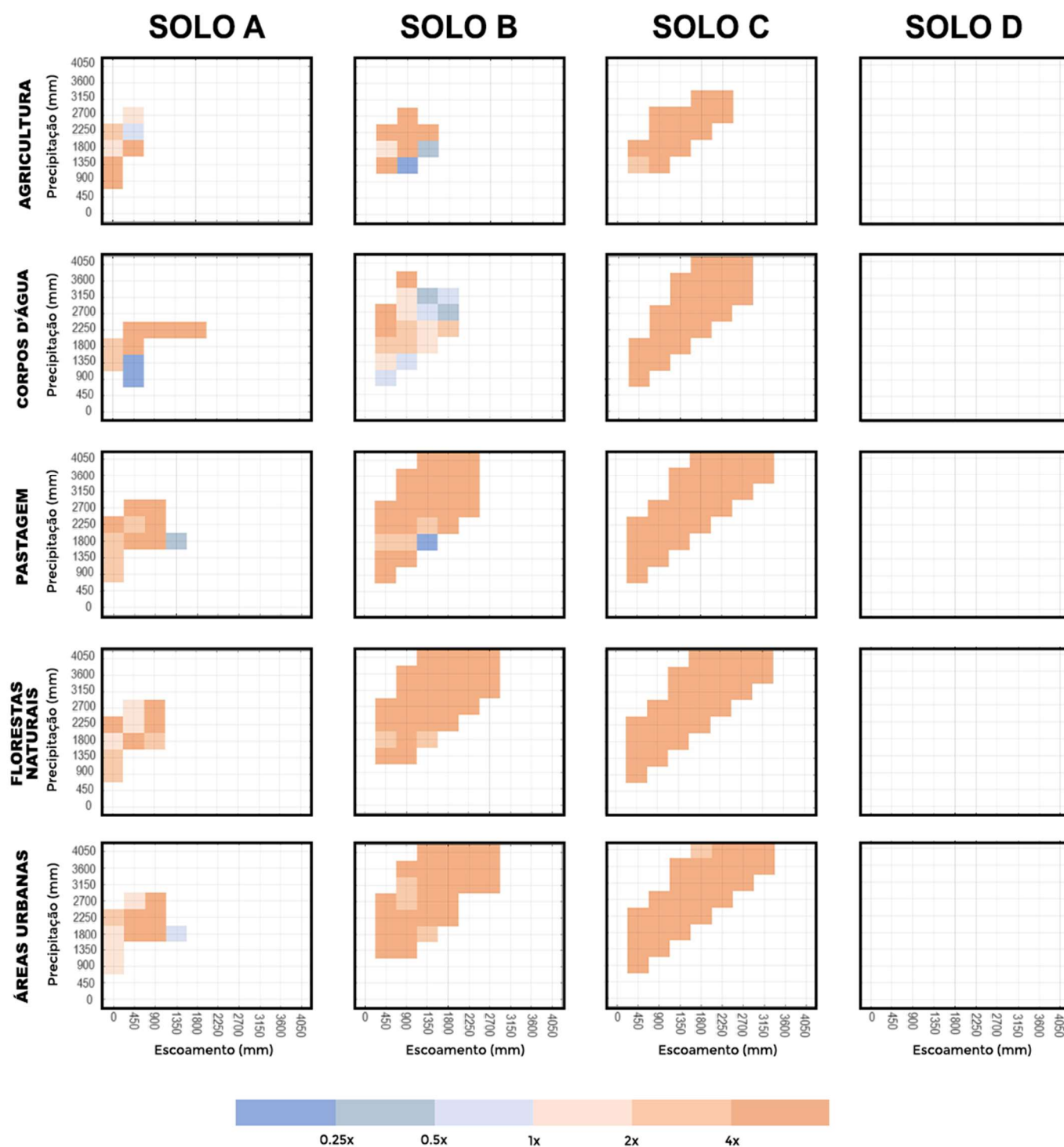


Figura 23 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Mata Atlântica em 2009.

Fonte: Autor, 2023.

No contexto do Teste de Fisher aplicado ao Bioma Mata Atlântica para o ano de 2009, conforme ilustrado na Figura 23, a análise na parte inferior esquerda revela que, para pixels com tipo

de solo A e uso e ocupação como Áreas Urbanas em regiões com precipitações acima de 2700 mm/ano (linha 7), há uma probabilidade igual ou maior de ter escoamento acima de 450 mm/ano (coluna 2) em comparação com áreas onde a precipitação é inferior a 2700 mm/ano. Isso indica que, sob condições de precipitação superiores a 2700 mm/ano, existe uma chance significativamente maior de escoamento acima de 450 mm/ano em áreas urbanas com solo tipo A.

Além disso, os resultados do Teste de Fisher para o Bioma Mata Atlântica, como apresentados na Figura 23, mostram que espaços em branco indicam ausência de significância estatística no teste ($p > 0.05$). Esses resultados são importantes por indicarem a presença ou ausência de relação estatisticamente significativa entre tipos de solo e características de uso e ocupação do solo. Notavelmente, foi observado que, para o tipo de solo D, não há significância estatística em áreas com qualquer tipo de uso e ocupação do solo.

Na análise detalhada do Teste de Fisher para o Bioma Mata Atlântica, conforme demonstrado na Figura 23, identificou-se que, de modo geral, as áreas classificadas com solo tipo C e uso e ocupação como Pastagem, Florestas Naturais e Áreas Urbanas apresentam os valores máximos de relação entre precipitação e escoamento. Especificamente, em situações onde a precipitação é de 4050 mm/ano (linha 10), observou-se uma probabilidade 4 vezes (ou mais) maior de escoamento superior a 3125 mm/ano (coluna 8) em comparação com situações com precipitações inferiores a 4050 mm/ano.

Avaliando todas as combinações de tipo e uso de solo para o Bioma Mata Atlântica, constatou-se que os tipos de solo A e D mostraram menores relações entre precipitação e escoamento. A combinação com o menor nível de relação foi identificada em áreas com solo tipo D e uso e ocupação como Florestas Naturais, onde precipitações de 1920 mm/ano têm pelo menos uma vez mais chances de resultar em escoamento superior a 200 mm/ano, em comparação com áreas onde a precipitação é menor que 1920 mm/ano.

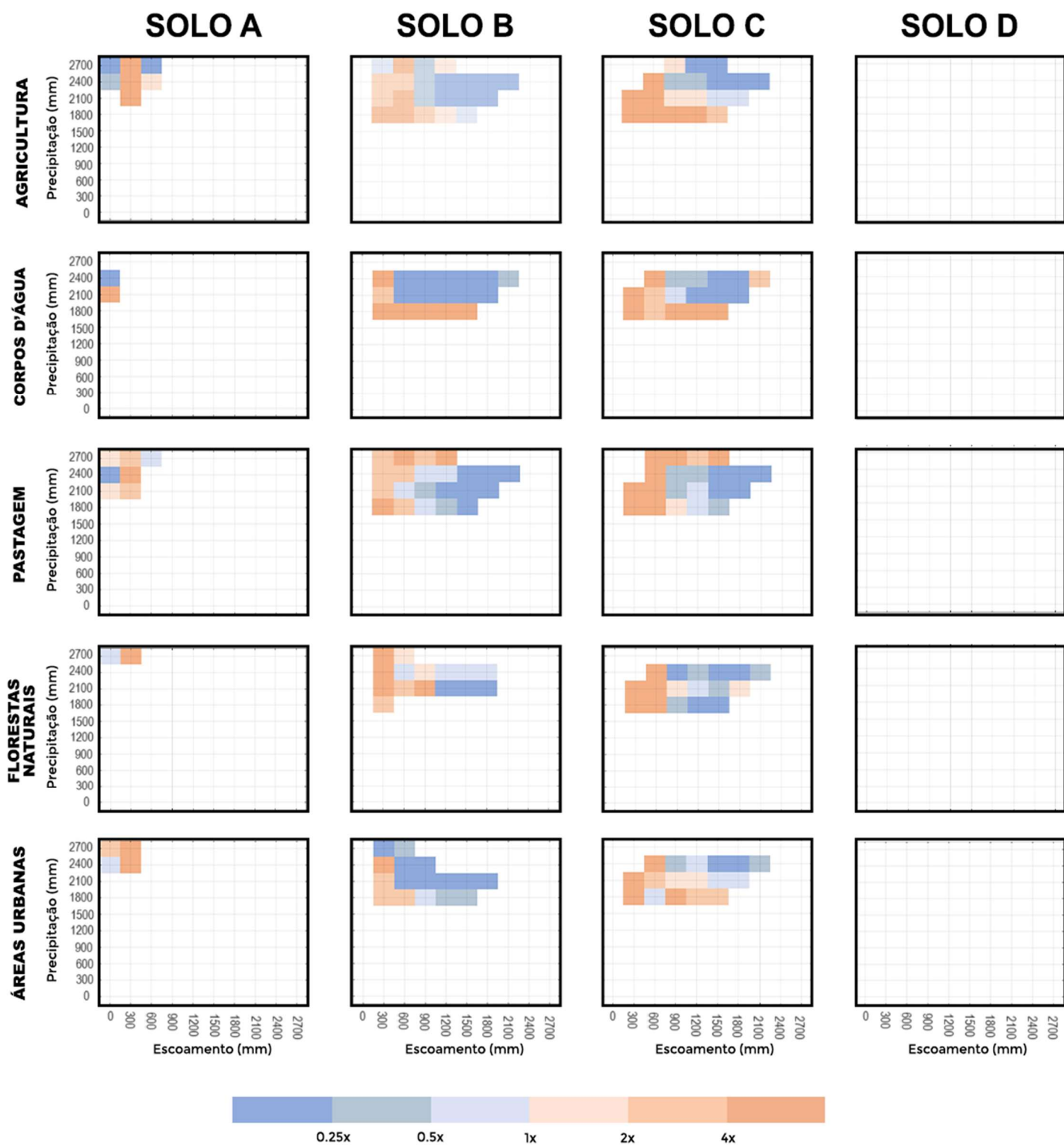


Figura 24 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Pampa em 2002.

Fonte: Autor, 2023.

No Teste de Fisher realizado para o Bioma Pampa referente ao ano de 2002, conforme ilustrado na Figura 24, a análise na parte superior esquerda indica que, para os pixels com tipo de solo A e uso e ocupação como Agricultura em regiões com precipitações superiores a 2700 mm/ano (linha 10), há uma probabilidade de 0,25 vezes (ou mais) de ter escoamento acima de 600 mm/ano (coluna 3), em comparação com áreas onde a precipitação é inferior a 2700 mm/ano. Em termos práticos, isso significa que em situações de precipitação acima de 2700 mm/ano, há uma chance ligeiramente maior de escoamento acima de 600 mm/ano em áreas agrícolas com solo tipo A.

Quanto aos resultados gerais do Teste de Fisher para o Bioma Pampa, apresentados na Figura 24, os espaços em branco indicam a ausência de significância estatística no teste ($p > 0.05$). Essa observação é crucial, pois sinaliza as combinações de tipos de solo e uso e ocupação do solo que não possuem uma relação estatisticamente significativa. Interessantemente, foi constatado que, para o tipo de solo D, não há significância estatística em áreas com qualquer tipo de uso e ocupação do solo.

Na análise dos resultados máximos do Teste de Fisher para o Bioma Pampa, como ilustrado na Figura 24, observa-se que as áreas com solo tipo C e uso e ocupação como Corpos de Água exibem os maiores valores de relação entre precipitação e escoamento. Especificamente, em cenários com precipitações de 2400 mm/ano (linha 9), há 2 vezes (ou mais) chances de gerar escoamento acima de 2100 mm/ano (linha 8) comparativamente a áreas com precipitações inferiores a 2400 mm/ano.

Além disso, em todas as combinações de tipo e uso de solo analisadas para o Bioma Pampa, os solos tipos A e D apresentaram as menores relações entre precipitação e escoamento. Em particular, áreas com solo tipo A e uso e ocupação como Corpos de Água, com precipitações de 2400 mm/ano, têm uma probabilidade levemente maior (0,25 vezes ou mais) de gerar escoamento acima de 0 mm/ano, em comparação com situações de precipitações inferiores a 2400 mm/ano.

Adicionalmente, na Figura 24, especificamente na primeira linha relacionada ao uso e ocupação como Agricultura, constata-se que as combinações desse uso com os solos tipos B e C resultaram nos maiores valores de relação. Nestes casos, precipitações acima de 2700 mm/ano (linha 10) têm uma probabilidade ligeiramente maior (0,25 vezes ou mais) de resultar em escoamento acima de 2100 mm/ano (coluna 8), comparativamente a regiões com menor precipitação.

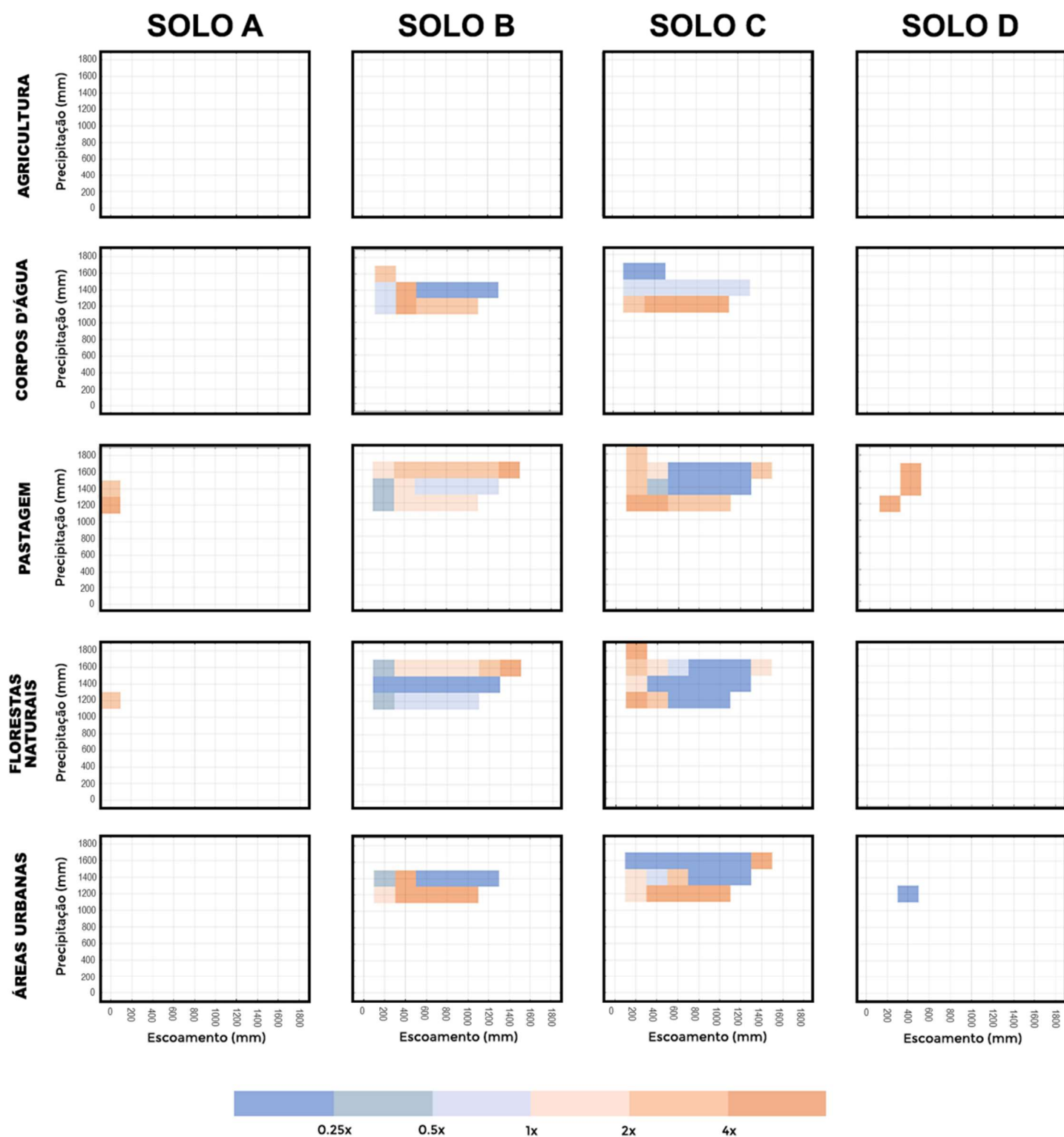


Figura 25 - Variação dos valores de relação Precipitação e Escoamento do teste de Fisher em relação ao Bioma Pantanal em 2014.

Fonte: Autor, 2023.

Em relação ao Teste de Fisher para o Bioma Pantanal (2014), os resultados da Figura 25, especificamente na inferior direita, por exemplo, indicam que, para os pixels classificados com tipo de solo D e uso e ocupação Áreas Urbanas existe regiões com precipitações superiores a 1200 mm/ano (linha 7) e têm 0,25x ou mais vezes de chance de terem valores de escoamento maiores que 400 mm/ano (coluna 3) em termos de comparação a regiões com precipitação inferior a 1200 mm/ano.

Em outras palavras, os resultados do teste de Fisher com situações de precipitação superior a 1200 mm/ano (linha 7) têm 0,25x (ou mais chance) de gerarem escoamento superior a 400 mm/ano (coluna 3) para áreas classificadas com grupo de solo Tipo D e Uso e Ocupação Áreas Urbanas do que situações em que a precipitação é inferior a 1200 mm/ano.

Ainda em relação aos resultados do Teste de Fisher para o Bioma Pantanal (2014). Na Figura 25, valores em branco indicam que o teste de Fisher não foi significativo ($p > 0.05$). Nota-se que os devidos resultados são muito interessantes já que indicam se há relação entre os tipos de solo e as características de uso e ocupação que estão sendo avaliadas, bem como qual é o nível de associação entre essas variáveis. Nota-se que as relações contendo o tipo de Solo D e A, não existe relações de significância nas áreas com uso e ocupação do solo classificadas como: agricultura e corpos d'água.

Conforme avaliação, em relação valores máximos obtidos na Figura 25 (Bioma Pantanal), de modo geral as áreas classificadas com grupo de solo Tipo C e Uso e Ocupação Área Urbana possuem grids com valores máximos de relação (precipitação x escoamento).

No âmbito do Teste de Fisher aplicado ao Bioma Pantanal, as combinações específicas de tipo de solo e uso e ocupação do solo revelam padrões notáveis. Em particular, áreas com solo tipo C e uso e ocupação como Áreas Urbanas, sob condições de precipitação de 1600 mm/ano (linha 9), têm uma probabilidade 4 vezes (ou mais) maior de experimentar escoamento acima de 1400 mm/ano (linha 8) em comparação com áreas que recebem precipitações inferiores a 1600 mm/ano.

Ademais, a análise abrangente de todas as combinações no Bioma Pantanal indica que os solos tipos A e D tendem a apresentar os menores valores de relação entre precipitação e escoamento. Isso sugere uma menor propensão para o escoamento significativo nestes tipos de solo, independente do uso e ocupação do solo.

A Figura 25, que detalha os Testes de Fisher para o Bioma Pantanal, também mostra que as áreas classificadas para uso e ocupação como Pastagem, especialmente com solo tipo C, têm eventos máximos de precipitação e escoamento. Neste caso, precipitações de 1800 mm/ano (linha 10) são duas vezes (ou mais) mais propensas a resultar em escoamento acima de 200 mm/ano (linha 2), em comparação com áreas com precipitações menores que 1800 mm/ano.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa, focado nos Biomas Brasileiros, possibilitou avaliar a distribuição espaço-temporal das lâminas de escoamento superficial utilizando um modelo distribuído com um banco de dados e processamento em nuvem (*Google Earth Engine*). As análises foram auxiliadas por diversos softwares para diferentes análises estatísticas, visando entender a variabilidade numérica e espacial das lâminas de escoamento e precipitação nos respectivos biomas.

De modo geral, os resultados obtidos a partir das diferentes variáveis explicativas apresentaram consistência e coerência. As geoferramentas e as relações estatísticas utilizadas geraram informações representativas e alinhadas com a realidade de cada ecossistema e do Brasil como um todo. Os valores de escoamento demonstraram variabilidade, indicando dados heterogêneos. A qualidade do ajuste e a capacidade de previsão do modelo, que representa a dinâmica dos escoamentos anuais no Brasil, foram avaliadas com base em estatística descritiva e teste de significância (Teste de Fisher).

Em relação aos mapas, destaca-se que, na série histórica analisada (2001–2020), o Bioma Pampa apresentou o maior escoamento médio anual, com 398,5 mm/ano. Os valores médios anuais máximo e mínimo observados foram de 255 e 569 mm/ano, respectivamente (Tabela 7). No Bioma Caatinga, o escoamento médio anual observado foi de 101 mm/ano, com valores anuais máximo e mínimo de 40 e 167 mm/ano (Tabela 7). Quanto ao desvio padrão médio, o Bioma Amazônia apresentou o maior valor, com 361 mm/ano, evidenciando alta variabilidade. O Bioma Mata Atlântica destacou-se pelo coeficiente de variabilidade mais acentuado, de 129,84%.

As precipitações encontradas neste trabalho estão dentro do intervalo reportado pela literatura, validando a consistência e assertividade dos dados. O Bioma Amazônia apresentou a maior média anual acumulada de precipitação, com 2270,5 mm/ano, enquanto a Caatinga teve a menor, com 663,5 mm/ano. O maior desvio padrão médio das precipitações foi observado no Bioma Amazônia (458 mm/ano), e o menor, no Bioma Pampas (217 mm/ano). A variabilidade média dos coeficientes de variabilidade dos biomas indicou uma variabilidade média para todos, com valores máximos para a Caatinga de 30,44% e mínimos de 12,73% para o Pantanal.

As análises do Teste de Fisher, relacionando as características de cada grid com os valores de tipo e uso/ocupação do solo, mostraram que alguns parâmetros se relacionam de modo mais evidente com os resultados do escoamento do que outros. Para todas as combinações e Biomas, os tipos de solo A e D apresentaram grids com baixa significância na relação precipitação-escoamento para escoamentos menores que 1500 mm/ano.

O Bioma Amazônia demonstrou maior variabilidade de relações para diferentes classes. De modo geral, as áreas classificadas com grupo de solo Tipo C e Uso e Ocupação Pastagem e Corpos de Água apresentaram os valores máximos de relação (precipitação $\times$ escoamento).

A escassez de estudos técnicos e de planejamento relacionados a modelos distribuídos em nuvem no Brasil foi notória. Destaca-se a importância de os órgãos técnicos e reguladores formularem estratégias para reduzir o impacto gerado por altos valores de escoamento e desenvolver formas eficientes de estocagem.

Por fim, este trabalho permitiu a análise gradual de uma pesquisa hidrológica e hidráulica para avaliação distribuída de lâminas de precipitação e escoamento. A metodologia descrita e analisada, além de proporcionar maior confiabilidade e segurança nos cálculos para projetos de estruturas hidráulicas, visa mitigar a escassez de estudos hidrológicos realizados com processamento em nuvem de forma distribuída.

8 RECOMENDAÇÕES

Apesar dos resultados notáveis obtidos neste estudo, é importante reconhecer algumas limitações e oportunidades para aprimorar a compreensão do comportamento do escoamento superficial no Brasil. Uma recomendação inicial é avaliar como diferentes produtos de uso e ocupação do solo influenciam a estimativa do escoamento superficial. Seria útil analisar a sensibilidade do escoamento superficial em relação às variações no uso e ocupação do solo. Questões pertinentes nesse contexto incluem: Qual produto de sensoriamento resultará na maior lâmina de escoamento? Qual apresentará maior desvio padrão?

De maneira similar, é recomendável avaliar a sensibilidade do escoamento superficial em relação a diferentes tipos de solo. Isso poderia envolver análises comparativas e questionamentos sobre o impacto de diferentes produtos de sensoriamento no escoamento.

Além disso, seria produtivo considerar a aplicação do Teste de Fisher para analisar a influência de diversos produtos de tipo e uso/ocupação do solo nas relações de precipitação e escoamento, explorando várias combinações possíveis.

Outra sugestão importante é realizar uma avaliação comparativa entre as estimativas de escoamento superficial obtidas pelo método NRCS-CN, processadas tanto em SIG local quanto por processamento em nuvem (GEE). Destacar as principais diferenças e as vantagens na otimização proporcionada pelo processamento no GEE é essencial. Este estudo já demonstrou a viabilidade do processamento em nuvem e sua eficiência, abrindo a possibilidade de replicação dessa metodologia em diversos países, conforme já vem sendo explorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. N. AB'SÁBER. **Amazônia: do discurso à práxis**. Edusp, São Paulo, 2004.

AB'SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. Câmara Brasileira do Livro, São Paulo, Ateliê Editorial, v. 4, 2017.

Alves, G.J. **Aplicabilidade do método CN-SCS a uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos no Sul de MG**. Lavras: UFLA, 2016.156 p. Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2016.

ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; ARAÚJO, F. C.; SILVA, L. L. **Um Estudo de Focos de Calor no Bioma Caatinga e suas Relações com Variáveis Meteorológicas**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 3, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786363001>.

Ambiente Brasil. **Pantanal – Clima e Hidrografia**. Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/natural/biomas/pantanal_clima_e_hidrografia.html. Acesso em: 03.jun. 2023.

Ambiente Brasil. **Pantanal – Clima e Hidrografia**. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br>.

ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA,2021.

ANDRADE, B. O.; et al. **Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands**. Botanical Journal of the Linnean Society, [S.l.], v. 188, p. 250–256, 2018. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/329376148_Vascular_plant_species_richness_and_distribution_in_the_Rio_de_la_Plata_grasslands. Acesso em: 03 mai. 2023.

ANDRADE, D. F.; OGLIARI, P. J. (2013). **Estatística para as ciências agrárias e biológicas: com noções de experimentação**. 3ª Edição revisada e ampliada, Florianópolis, SC, Editora da UFSC.

ANDRIOTTI, J. L. S. (2013). **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. 2ª reimpressão, São Leopoldo, RS, Editora Unisinos.

APOENA. **Pantanal (Almanaque Brasil Socioambiental - ISA/2008)**. Disponível em: <http://www.apoena.org.br/biomas-detalle.php?cod=219>. Acesso em: 25 mar. 2023.

Aspectos do Cerrado. Clima - USP. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/cerrado/aspectos_clima.htm>. Acessado: 05 nov. 2023.

ATAIDE, P. F. **Biomassa subterrânea da pastagem natural sob intensidades de pastejo contrastantes e submetida a diferimentos.** 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/117643/000967756.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 abr. 2023.

BAIARDI, A.; TEIXEIRA, F. **O desenvolvimento dos territórios do Baixo Sul e do Litoral Sul da Bahia: a rota da sustentabilidade, perspectivas e vicissitudes.** Salvador: UFBA, 2011. 70 p. Disponível em: <www.observatorio.ufba.br/arquivos/desenvolviment>. Acesso em: 2 de maio 2023.

BALDISSERA, R. **Uma iniciação aos testes estatísticos para dados biológicos.** Chapecó – SC: Ed. UFFS, 2022.

BENCKE, G. A. **Biodiversidade.** In: CHOMENKO, L.; BENCKE, G. A. (Org.). **Nosso Pampa desconhecido.** Porto Alegre, RS: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 61-75, 2016. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/25130950-nosso-pampadesconhecido.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2023.

BILENCA, D.; MIÑARRO, F. **Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) em las Pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil.** Fundación Vida Silvestre Argentina, 1. ed. Buenos Aires: 2004. Disponível em: http://awsassets.wwfar.panda.org/downloads/libro_avps__bilenca_y_minarro_2004_.pdf. Acesso em: 06 abr. 2023.

BORMA, L. S. et al. **Impactos dos eventos extremos de seca e cheia sobre os recursos hídricos amazônicos e ações da defesa civil.** In: _____; NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 305-337.

BRASIL. **Agência Nacional de Águas.** Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília, 2015. 87 p.

BRASIL. **Legislação de Direito Ambiental.** São Paulo: Saraiva, 2011.

BRASIL; **Ministério do Meio Ambiente (MMA).** Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2011.

BRASIL; **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**. PPCerrado - Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 2ª fase (2014-2015). Ministério do Meio Ambiente, Brasília: DF, 2014. 132 p.

CAMINHA, J. R. **Conhecendo o bioma pampa e sua diversidade florística através de uma saída de campo: a educação ambiental no ensino de Ciências da natureza**. 2019. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências da Natureza) – Universidade Federal do Pampa. Dom Pedrito, RS, 2019. Disponível em: <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/cienciasdanaturezadp/files/2019/09/reconhecendo-o-bioma-pampa.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2023.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. MARTINS, C. S. A. (Trad.). 1. ed. São Paulo: Gaia, 2010.

Carvalho, A.M.G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado (PI INPE 4923 - TDL 283) - INPE. São José dos Campos, 121 p., 1989;

CASTRO, P. S.; LOPES, J. D. S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa: CPT, 2001. 84p. (Série Saneamento e Meio - Ambiente, n. 296).

Cavalcanti, I.F.A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. Dissertação de Mestrado (PI INPE 2492 - TDL 097) - INPE. São José dos Campos, 113 p., 1982;

Chatterjee, C., Jha, R., Lohani, AK, Kumar, R. e Singh, R. **Estimativa do número da curva de escoamento para uma bacia usando sensoriamento remoto e GIS**. Asiático-Pac. Sensoriamento Remoto GIS J., 2001, 14, 1–7.

COELHO, C. A. S. **Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e suas relações com a temperatura da superfície do mar do Pacífico e Atlântico durante eventos extremos de El Niño: Oscilação Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

COELHO, C. A. S.; CAVALCANTI, I. A. F.; COSTA, S. M. S.; FREITAS, S. R.; ITO, E. R.; LUZ, G.; SANTOS, A. F.; NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; PEZZA, A. B. **Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions**. Meteorological Applications, n. 19, p. 237-255, 2012.

COLLISCHONN, W, TUCCI, C.E.M. & CLARKE, R.T. **Further evidence of changes in the hydrological regime of the Paraguay River: part of a wider phenomenon of climate change?**. Journal of Hydrology 245, 218-238, 2001.

CONSERVATION INTERNATIONAL. Hotspots apontam áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade. Disponível em: <http://www.biodiversityscience.org/xp/news/press_releases/2005/020205por.xm> Acesso em: 30 jun. 2023.

COSTA, P. R. **Estatística**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial, 3. ed., 2011.

COUTINHO, L. M. **O bioma do cerrado, in: Klein, A. L. Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois**. Editora Unesp, São Paulo. 2002, p.80.

DA SILVA, F.A.M.; ASSAD, E.D.; STEINKE, E.T.; MÜLLER, A.G. **Clima do bioma Cerrado. In: Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (orgs.). Embrapa, Brasília, DF, p. 93-148, 2008.

DAVIN, E.L.; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, N. **Climatic Impact of Global-Scale Deforestation: Radiative versus Nonradiative Processes**. American Meteorological Society, v. 23, n. 1, p. 97-111, 2010.

Dione, P. C; Silva, M. L. N; Carvalhho, G. J. de; Freitas, D. A. F. de; Avanzi, J. C. **Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 6, p. 632-638, 2012.

DIRZO, R.; RAVEN, P. H. **Global state of biodiversity and loss**. Annual Review of Environment and Resources, n. 28, p. 137-167, 2003.

DONG, J.; XIAO, X.; SHELDON, S.; BIRADAR, C.; DUONG, N. D.; HAZARIKA, M. A **comparison of forest cover maps in Mainland Southeast Asia from multiple sources: PALSAR, MERIS, MODIS and FRA**. Remote Sensing of Environment. V. 127. 2012.

Eiten, G. 1982. **Brazilian Savannas**. In: Huntley, B.J. e Walker, B.H. (eds.). Ecology of tropical savannas. Ecological Studies, New York, Spring-Verlag. 42: 25

ELACHI, C. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**. XVII + 413pp. Chichester, New York, 1987.

Embrapa. 2000. **ZANE DIGITAL – Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil**. EMBRAPA.

Ferreira, I. J. M. **Impacto das mudanças climáticas sobre a biomassa acima do solo em fragmentos de Mata Atlântica**. São José dos Campos: INPE, 2020. xxii + 85 p.; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.25.14.25-TDI) - Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.

Ferreira, L. de M. **Proposta para contenção de erosão em uma das margens do córrego do Almeida no município de Aparecida de Goiânia, GO, Brasil, em 2012, com a aplicação de técnicas conservacionista vegetativas**. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2012, Goiânia/GO. Anais eletrônicos. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VI-023.pdf>>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

FIELD, A. (2009). **Descobrimos a estatística usando o SPSS**. 2ª Edição, Porto Alegre, RS, Editora Artmed.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Clima da Amazônia**. **Climanálise**, p. 24-41, 1996. Número Especial 10 anos.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **CLIMA DAAMAZÔNIA**. Centro Técnico Aeroespacial (CTA/IAE-ACA). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). 31/10/2023.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. (1996). **Curso de estatística**. 6ª Edição, São Paulo, SP, Editora Atlas.

FRIEDL, M. A. et al. **Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results**. *Remote Sensing Of Environment*, v. 83, p. 287–302, 2002.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M. et al. **The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes**. *Sci Data* 2, 150066 (2015). <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

GALINDO, I.C.L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M.F.A.V.S.; LIMA, J.F.W.F.; FERREIRA, R.F.A.L. **Relações solo-vegetação em áreas processo de desertificação no município de Jataúba, PE.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1283-1296, 2008.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUZA, F. A. S.; MOURA, M. S. B. **Aspectos climáticos da captação de água de chuva no estado de Pernambuco.** Revista de Geografia, Recife, v. 22, n. 2, p.15-35, 2005.

Garcez, L.N.; Alvarez, G.A. (1998). **Hidrologia.** São Paulo, Edgard Blucher LTDA, 291p.

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia.** Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 1998, p.105.

Giulietti, A.M.; Harley, R.M. Queiroz, L.P.de; Rapini, A. 2009. **Rumo ao Amplo Conhecimento do semiárido brasileiro.** Disponível em: www.uefs.br/ppbio/cd/portugues/introducao.htm). Acesso em: junho 2023.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone.** Remote Sensing Environ., 2017, 202, 18– 27.

Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** Remote Sensing of Environment, v. 202, p. 18-27, 2017.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; JÚNIOR, MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. **Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 2, p. 411-417, 2001.

GUEDES, G. H.; RIBEIRO, K. F. S.; CARMO, T.; JÚNIOR, C. A. O. M. **Redes de infraestrutura urbana e suas relações com os componentes técnicos, sociais e ambientais.** Revista Valore, Volta Redonda, v. 2, n. 2, p. 329-340, ago./dez., 2017.

Hengl, T. “Soil texture classes (USDA system) for 6 soil depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m (Version v02) [Data set],”. 2018. https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/OpenLandMap_SOL_SOL_TEXTURE-CLASS_USDATT_M_v02#bands.

HOFFMANN, W.A.; JACKSON, R.B. **Vegetation- Climate feedbacks in the Conservation of Tropical Savanna to Grassland.** American Meteorological Society, v. 13, n. 9, p. 1593-1602, 2000.

HULME, M., JENKINS, G., Lu, X., TURNPENNY, J., MITCHELL, T., JONES, R., LOWE, J., MURPHY, J., HASSELL, D., BOORMAN, P., MCDONALD, R., HILL, S. **Climate change scenarios for the United Kingdom**. 2002. Relatório UKCIP02 (Tyndall Centre for Climate Change Research), School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>>. Acesso em: 03 de out de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000. Relatório Metodológico**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil), 2019. 168 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>>. Acesso em: 03 de out de 2023.

INPE. INFOQUEIMA. **Boletim Técnico Mensal de Monitoramento de Focos de Fogo Ativo DEZEMBRO - 2021**. v. 6, n. 11, 2021. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/outros-produtos/infoqueima>. Acesso em: 02 set. 2023.

INPE. **Programa Queimadas**. 2022. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 02 set. 2023.

JAEGER. A. C. **METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA PELO CAMPO NATIVO DO BIOMA PAMPA**. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen (UFSM/FW, RS),

JAIN, S.; JAISWAL, R. K.; LOHANI, A. K.; GALKATE, R. **Development of cloud-based rainfall-run-off model using Google Earth Engine**. Central India Hydrology Regional Center, National Institute of Hydrology, Bhopal 462 016, India 2021.

- KHALEGHI, M. R. et al. **Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in flood hydrograph simulation.** Catena, v. 87, n. 2, p. 163- 171, 2011.
- LANGE, J.; HAENSLER, A. **Runoff generation following a prolonged dry period.** Journal of Hydrology, v. 464-465, n. 1, p. 157-164, 2012.
- LIMA, J.E.F.W. **Situação e perspectivas sobre as águas do Cerrado.** Ciência e Cultura, v. 63, n. 3, p. 27-29, 2011.
- LINO, C. F.; DIAS, H. **Águas e florestas da Mata Atlântica: por uma gestão integrada.** São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Fundação SOS Mata Atlântica, 2003. 48 p.
- Liu, Y.B.; De Smedt, F. **Flood modeling for complex terrain using GIS and remote sensed information.** Water Resources Management, v. 19, n. 5, p. 605–624, 2005.
- LOMBARDI-NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. **Nova abordagem para o cálculo de espaçamento entre terraços.** In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.
- MALESKI, J.J.; MARTINEZ, C.J. **Historical trends in precipitation, temperature and drought in the Alabama-Coosa-Tallapoosa and Apalachicola-Chattahoochee-Flint river basins.** International Journal of Climatology, v. 37, n. 2, p. 583-595, 2017.
- MALHI, Y. et al. **Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon.** Science, v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.
- MANTOVANI, J.R.A, ALCÂNTARA, E. H., ROCHA, P.C., CURTARELLI, M.P., IMAI, M.N.; **Estimativa do Escoamento Superficial Distribuído na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe por meio de Geoprocessamento.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomas, SEEG/OC, 2022.** Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 22 set. 2023.

MAPBIOMAS. **Infográfico Caatinga - Evolução Anual da Cobertura e Uso da Terra (1985 - 2021), 2022.** Disponível em: https://mapbiomas.org/infograficos-1?cama_set_language=ptBR. Acesso em: 22 set. 2023.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R.D.; FARIA, T. G. **CHUVAS NO CERRADO DA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL: análise histórica e tendência futura.** Ateliê Geográfico - UFG/IESA. ISSN: 1982-1956.

MEDRI, Waldir. **Análise exploratória de dados.** Londrina/PR, 2011.

MELESSE, A.M.; Shih, S.F. **Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 37, n. 1-3, p. 173-183, 2002.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas.** 1. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MONTEGOMERY, D. C. e RUNGER, G. C. (2013). **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** Rio de Janeiro/RJ. Editora LTC.

MORAES, Denise. **Bioma Cerrado.** 2008b. InVivo Fiocruz. Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=961&sid=2>. Acesso em: 20 out. 2023

MORATELLI, R.; DIAS, D. **A new species of nectar-feeding bat, genus Lonchophylla, from the Caatinga of Brazil (Chiroptera, Phyllostomidae).** Zookeys, Sofia, v. 514, p. 73-91. 2015.

MOURA, A. **Hand Preference during Tool Use in Wild Bearded Capuchins.** Folia Primatologica, Basel, v. 86, p. 411-419, 2015.

MOURA, A.; LEE, P. **Wild capuchins show male-biased feeding tool use.** International Journal of Primatology, Cham, v. 31, n. 3, p. 457-470, 2010.

MUÑOZ-VILLERS, L. E.; MCDONELL, J. J. **Runoff generation in a steep, tropical montane cloud forest catchment on permeable volcanic substrate.** Water Resource Res., n. 48, v. 9, 2012.

Murphy, S., Wright, R. e Rouwet, D. **Cor e temperatura dos lagos da cratera no vulcão Kelimutu ao longo do tempo.** *Touro. Vulcão.*, 2018, 80, 2.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

Myers, Norman. et al. 2000. **Biodiversity Hotspots for conservation priorities**. Nature, v. 403, p. 853-858.

NASA. National **Aeronautics and Space Administration**. Landsat History, 2013. Disponível em <https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/main/index.html> . Acesso em: 02 jun. 2023.

NASCIMENTO, D. T. F.; RIBEIRO, S. A. **Os biomas brasileiros e a defesa da vida**. Goiânia, GO: Kelps, 2017. 46 p.

Nguyen, U. N. T., Pham, L. T. H. and Dang, T. D. **An automatic water detection approach using Landsat 8 OLI and Google Earth Engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand**. Environ. Monit. 191, 235. Acesso em: 03. jun. 2023.

NOVO, E.M.L.M. **Monitoramento de Quantidade e Qualidade da Água e Sensoriamento Remoto**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007^a.

NUNES, G. S. **Aplicabilidade de modelos de hidrograma unitário em bacias hidrográficas hidrologicamente distintas**. 190 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2015.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; PADOVANI, C.R. (2011) **Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil)**. Hydrological Processes, v. 25, n. 9, p. 1498-16.

PEREIRA, G.; CHÁVEZ, E. S.; SILVA, M. E. S. **O estudo das unidades de paisagem do bioma Pantanal**. Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 89-103, 30 abr. 2012. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.826>.

PEREIRA, Maytê – **Estatística Descritiva Básica: o que é e para que serve**, 2019.

Prof. Elnatan Bezerra de Souza. **Caatinga, riqueza florística e aspectos biogeográficos do único bioma exclusivamente brasileiro**. Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Sobral, Ceará, Brasil. Disponível em:

<<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/32914/2/RESUMO%20%20-%20Caatinga%2C%20riqueza%20flor%C3%ADstica%20e%20aspectos%20biogeogr%C3%A1ficos.pdf>>. Acessado: 05 nov. 2023.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 1ª ed. 2003, 88p.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. **Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.

R. DIRZO, P. H. RAVEN. **Global state of biodiversity and loss**. Annual Review of Environment and Resources: 137-167, 2003.

RAGAN, R M.; T J JACKSON (1980). **Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model**, **Journal of Hydrology, Divn.** ASCE, Vol. 106 (HYS5): 667-678.

Ragan, R M.; T J Jackson (1980). **Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model**. Journal of Hydrology, Divn., ASCE, Vol. 106 (HYS5): 667-678.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. (1997) **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Agriculture Handbook, n. 703, USDA-ARS.

ROESCH, L. F. W.; et al. **The Brazilian Pampa: A Fragile Biome**. Diversity, [S.l.], v.1, p. 182-198, 2009. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-2818/1/2/182>. Acesso em: 25 mai. 2023.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROTHER, F.; DEWES, T.; SCHNEIDER, M. **Coleta da água da chuva: um meio sustentável e eficaz**. Revista Infinity, n. 1, 2016.

RUMSEY, D. (2012). **Estatística para leigos**. 2ª reimpressão, Rio de Janeiro, RJ. Editora Alta Books.

SANCHEZ-AZOFEIFA, G.; QUESADA, M.; RODRIGUEZ, J. P.; NASSAR, J. M.; STONER, K. E.; CASTILLO, A.; GARVIN, T.; ZENT, E. L.; CARLVOALVARADO, J. C.; KALACSKA, M. E. R.; FAJARDO, L.; GAMON, J. A., CUERVAS-REYS, P. **Research priorities for neotropical dry forests**. Biotropica, v. 37, n. 4, p.477-485, dez. 2005.

SANTANA, Nickolas Castro et al. **Análise do ângulo de visada no comportamento espectral de imagens modis em áreas de floresta amazônica e cerrado**. Geografia Ensino & Pesquisa, [S.l.], p. e10, ago. 2019.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. de; CORREA, M. R. **Estudos hidrológicos sobre o regime de escoamento das bacias de drenagem do Alto Rio Grande à montante do reservatório da UHECamargos/CEMIG**. Lavras: UFLA; Belo Horizonte: CEMIG/ANEEL, 2004. 90 p. (Relatório Parcial do Projeto de P&D 076, CEMIG/ANEEL).

SILVA, F. A. M.; et al. **Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto**. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, DF, v. 41, n. 5, p. 717-724, maio 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/4X8HFk3S4tSh99S9hKNRKZc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 set. 2023.

SILVA, G. O. **Análise comparativa da fauna de aranhas de solo em áreas de campo com e sem pastejo no Pampa Gaúcho**. 2017. 151 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/163719>. Acesso em: 26 ago. 2023.

SILVA, J. A. M. da et al. **Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006.

Silva, S. F.; **Uso e cobertura do solo e precipitação no regime das vazões da Bacia do Rio Grande – Ba**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2023.

SILVA, T. A. **Uso do solo e sua influência na qualidade da água e produção de sedimentos em reservatórios de abastecimento de água do município de Sorocaba – SP**. 2021. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, SP, 2021. 75 Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/202646>. Acesso em: 23 jul 2023.

SILVEIRA, A. da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, p. 35-51, 2001.

SILVESTRE, A. L. (2007). **Análise de dados e estatística descritiva**. Escolar Editora.

Snapir, B., Momblanch, A., Jain, SK, Waine, TW e Holman, IP. **Um método para mapeamento mensal de neve úmida e seca usando Sentinel-1 e MODIS: aplicação a uma bacia hidrográfica do Himalaia**. Int. J. Appl. Terra Obs. Geoinf., 2019, 74, 222-230.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Introduction to biostatistics**. New York: W. H. Freeman, 2009. 374 p.

Souza, D.O.; dos Santos Alvalá, R.C. **Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil**. Meteorol. Appl. 2014, 21, 186–193.

Souza, P.F.S. **Variabilidade Espacial e Temporal das componentes atmosféricas do ciclo hidrológico da Amazônia, durante Experimento Meteorológico ABLE 2B**. Dissertação de Mestrado (PI 5281 - TDI 451) - INPE, São José dos Campos, 82 p., 1991.

SOUZA. E. B.; **Caatinga, riqueza florística e aspectos biogeográficos do único bioma exclusivamente brasileiro**. 2020.

STARZYNSKI, R. **Avaliação quantitativa do uso dos recursos hídricos em unidade de conservação e entorno: estudo de caso do Parque Estadual da Serra do Mar**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2015.

STRASSBURG, B.B.N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; et al. **Moment of truth for the Cerrado hotspot**. Nature Ecology & Evolution, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017.

SUE, V. M.; RITTER, L. A. **Conducting online surveys**. Thousand Oaks, California, USA: Sage Publications, 2007.

Sujud, L.H., Jaafar, H.H. **A global dynamic runoff application and dataset based on the assimilation of GPM, SMAP, and GCN250 curve number datasets**. Sci Data 9, 706 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01834-0>

TAXAK, A.K.; MURUMKAR, A.R.; ARYA, D.S. **Long term spatial and temporal rainfall trends and homogeneity analysis in Wainganga basin, Central India.** Weather and Climate Extremes, v. 4, p. 50-61, 2023. <<https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.04.005>>.

TEDELA, N., MCCUTCHEON, S.; RASMUSSEN, T.; TOLLNER, W. **Evaluation and Improvements of the Curve Number Method of Hydrological Analysis on Selected Forested Watersheds of Georgia.** Report submitted to Georgia Water Resources Institute. Available at [http://water.usgs.gov/wrri/07grants/progress/2007GA143B .pdf](http://water.usgs.gov/wrri/07grants/progress/2007GA143B.pdf). Accessed 01 Agosto 2023.

TRAMBLAY, Y. et al. **Assessment of initial soil moisture conditions for eventbased rainfall-runoff modelling.** Journal of Hydrology, v. 387, n. 3, p. 176- 187, 2010.

TRENTIN, A. B.; TRENTIN, C. B.; KRAMER, G. **Análise da dinâmica espacial do uso da terra a partir de imagens da série Landsat nos municípios da Microrregião Campanha Central/RS.** In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, INPE, 2017, Santos. Anais [...], Santos, SP, mai. 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/papers/analise-da-dinamica-espacial-do-uso-da-terra-a-partir-de-imagens-da-serie-landsat-nos-municipios-da-microrregiao-campanha?lang=pt-br>. Acesso em: 05 set. 2023.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. **Evaporação e Evapotranspiração.** In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. cap. 2, p. 253-287.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W. **Long-term flow forecast based on climate and hydrologic modeling: Uruguay River basin.** Water Resources Research, v. 39, n. 7, 2003.

Tucci, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2 ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH. 2001. 943 p

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. LandSat 8, 2013. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>> Acesso em: 02 jun 2023.

United States Geological Survey – USGS. Landsat 9. Versão 3.3. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>> Acesso em: outubro de 2023.

UNTHANK, S. **Sustainability as an integral component of underground infrastructure tunnelling in an urban environment.** Victoria, AUS: Curtin University, Department of Transport,

Planning and Local Infrastructure, 2016. Disponível em: https://www.planning.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/5315/245-Steven-Unthank-paper.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023

VELLOSO, A. L. et al. **Ecorregiões propostas para o bioma da caatinga**. Recife: APNE: TNC, 2002.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; PAREYN, F.G.C. **Ecorregiões: propostas para o bioma Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

Viana, D. R.; Alvalá, R. C. dos Santos. **Vegetation index performance for the Pantanal region during both dry and rainy seasons**. Geografia, v. 36, número especial, p. 143-158. 2011.

VIEIRA, DOS S. G. **Análise Espaço-Temporal do Fogo no Bioma Caatinga**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 42 p, 2021.

VILELA, M.A.M.A. **Metodologia para Monitoramento da Qualidade da Água de Reservatórios utilizando Sensoriamento Remoto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

Vos, K., Harley, MD, Splinter, KD, Simmons, JA e Turner, I. L. **Variabilidade da linha costeira sub-anual a multi-decadal a partir de imagens de satélite publicamente disponíveis**. Costa. Eng., 2019, 150, 160-174.

WAN, Z.; et al. **Validation of the landsurface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data**. Remote Sensing of Environment. v.83, p.163-180, 2012.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>.

WELTER, C. I. **Impacto das atividades agropecuárias na biodiversidade no Bioma Pampa**. 2015, 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Ciências Biológicas) - Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo, RS, 2015. Disponível em: <https://rd.uffrs.edu.br/handle/prefix/2559>. Acesso em: 05 set. 2023.

WELTER, C. I. **Impacto das atividades agropecuárias na biodiversidade no Bioma Pampa**. 2015, 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Ciências Biológicas) - Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo, RS, 2015. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/2559>. Acesso em: 05 set. 2023.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2016. **The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs**. Paris, UNESCO.

WWAP | Richard Connor e Marc Paquin. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. 2016. ÁGUA E EMPREGO.

Y. MALHI. **Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon**. Science, 319: 169-172, 2008.

YU, Y.; LOISKANDL, W.; KAUL, H-P.; HIMMELBAUER, M.; WEI, W.; CHEN, L.; BODNER, G. **Estimation of runoff mitigation by morphologically different cover crop root systems**. Journal of Hydrology, v. 538, 2016. pp. 667–676

ZENG, T.; ZHANG, Z.; ZHAO, X.; WANG, X.; ZUO, L. **Evaluation of the 2010 MODIS Collection 5.1 Land Cover Type Product over China**. Remote Sensing. v. 7, n.2. 2015.

ZHAO J, WANG J, JIN Y, FAN L, XU C, LIANG D, HUANG L. **Land Cover Based Landscape Pattern Dynamics of Anhui Province Using GlobCover and MCD12Q1 Global Land Cover Products**. Sustainability. 4. 2018.

ZHAO J, WANG J, JIN Y, FAN L, XU C, LIANG D, HUANG L. **Land Cover Based Landscape Pattern Dynamics of Anhui Province Using GlobCover and MCD12Q1 Global Land Cover Products**. Sustainability. 4. 2018.

ZHAO, X.; ANDERSSON, M.; ANDERSSON, R. **Resistant starch and other dietary fiber components in tubers from a high-amylose potato**. Food Chemistry, v. 251, p. 58-63, 2018.

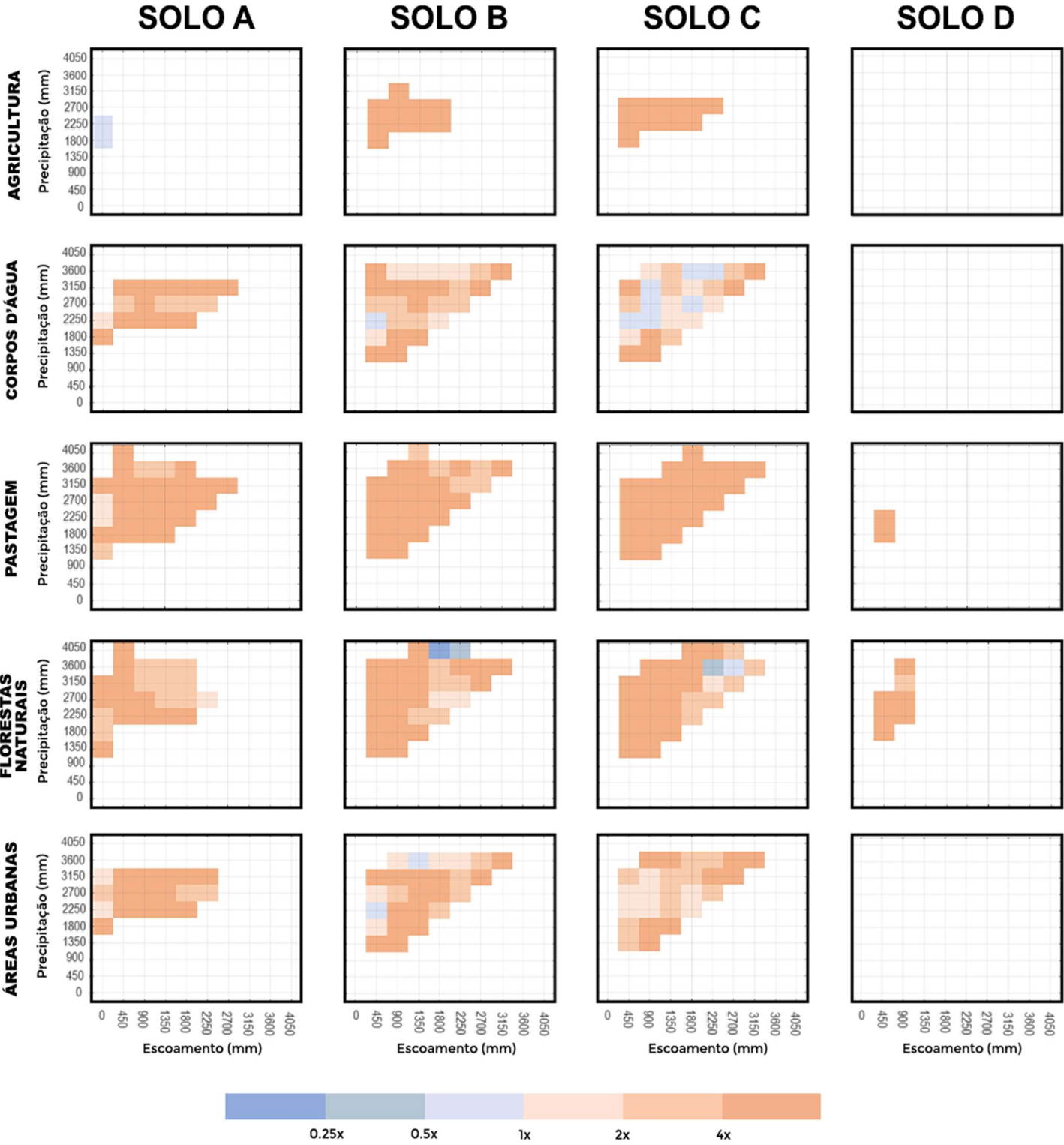
ZHOU, L.; WANG, Y.; CHI, Y.; WANG, S.; WANG, Q. **Contrasting post-fire dynamics between Africa and South America based on MODIS Observations**. Remote Sensing. V. 11. N. 9. 2019.

ZONODO. **Soil texture classes (USDA system) for 6 soil depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m**. 2018. Disponível em: < <https://zenodo.org/records/2525817> > Acesso em: outubro de 2023.

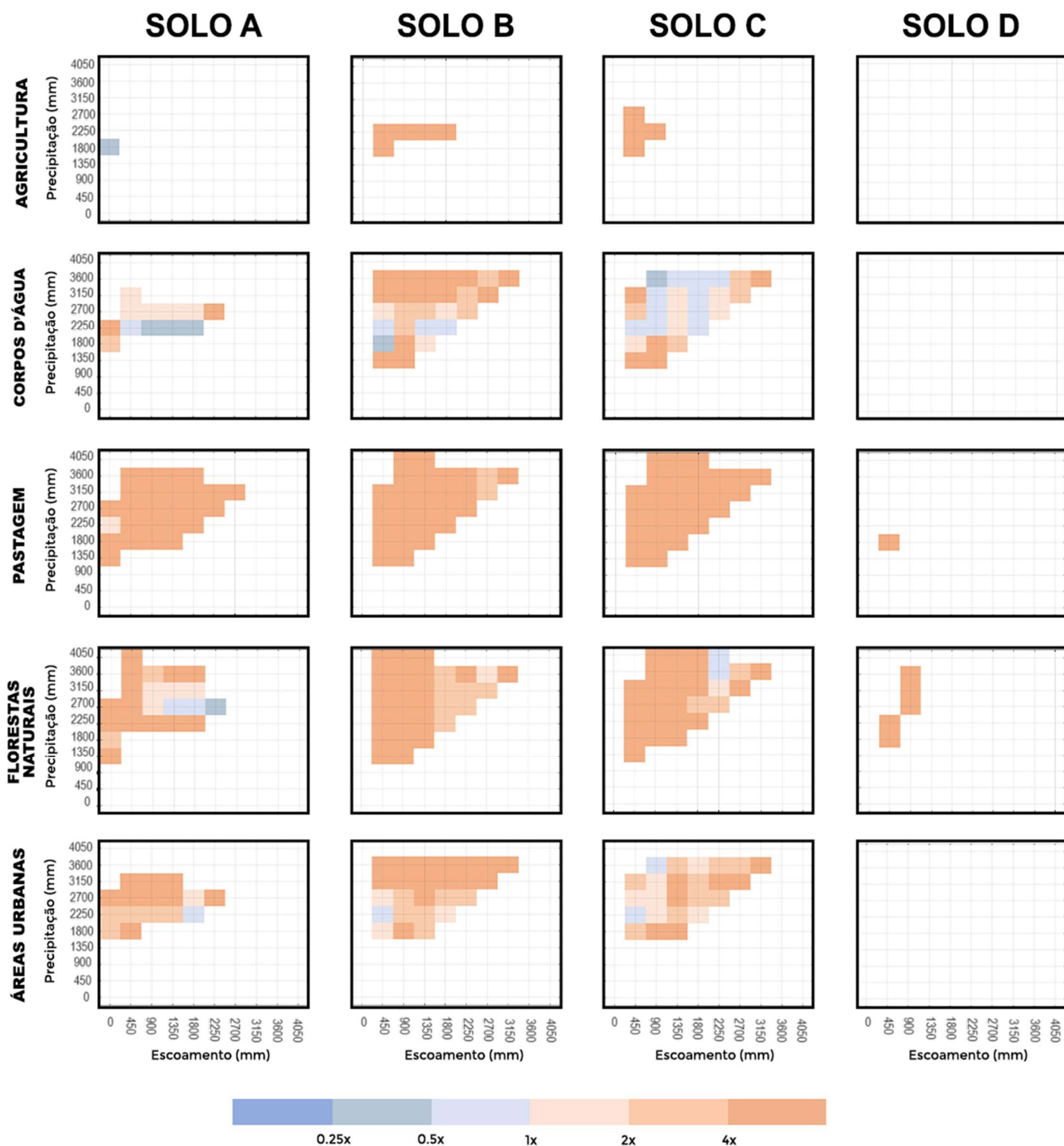
9 APÊNDICE A

9.1	TESTE DE FISHER – BIOMA AMAZÔNIA.....	103
9.2	TESTE DE FISHER – BIOMA CAATINGA	123
9.3	TESTE DE FISHER – BIOMA CERRADO	143
9.4	TESTE DE FISHER – BIOMA MATA ATLÂNTICA.....	163
9.5	TESTE DE FISHER – BIOMA PAMPA.....	183
9.6	TESTE DE FISHER – BIOMA PANTANAL	203

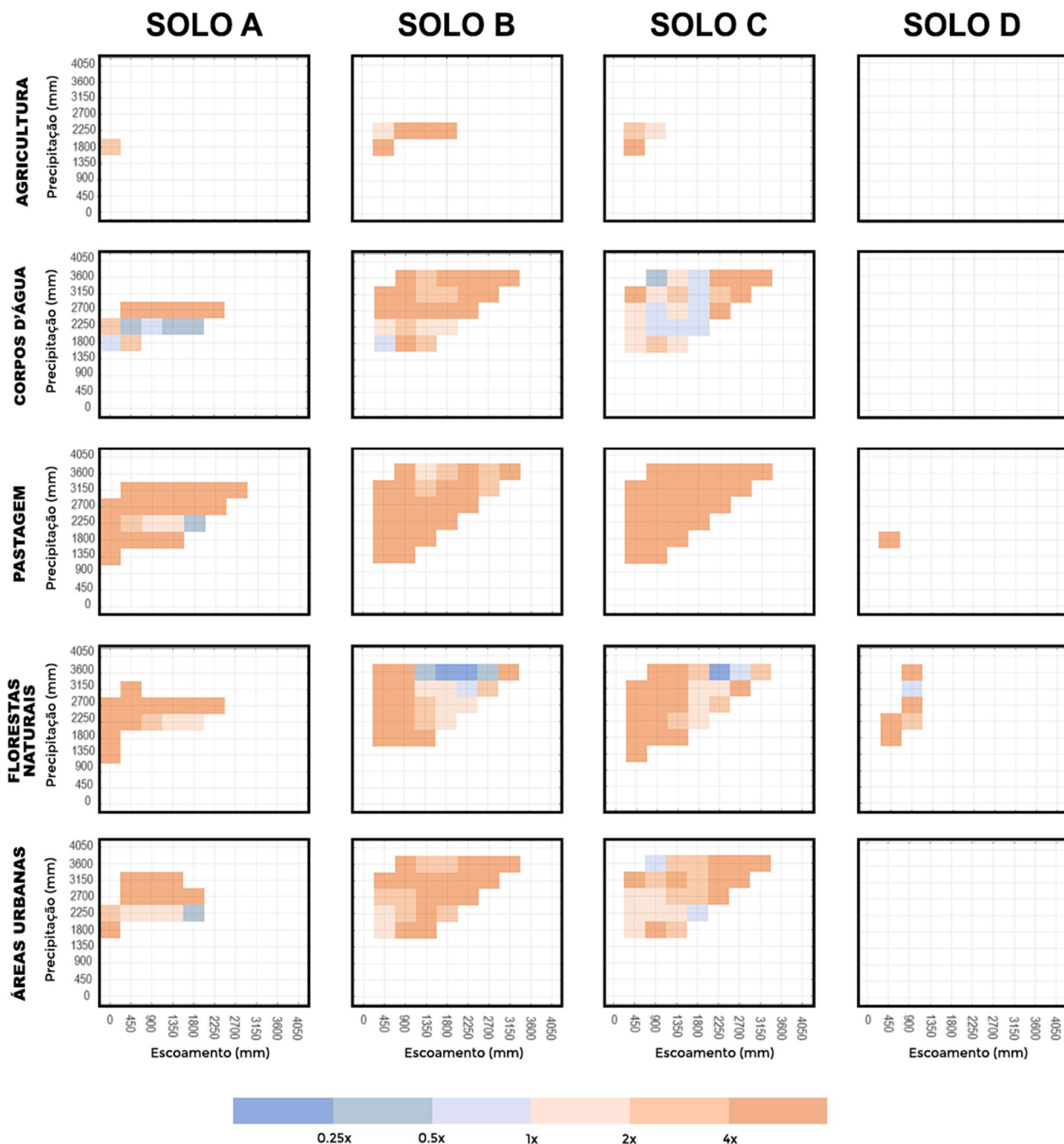
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2001



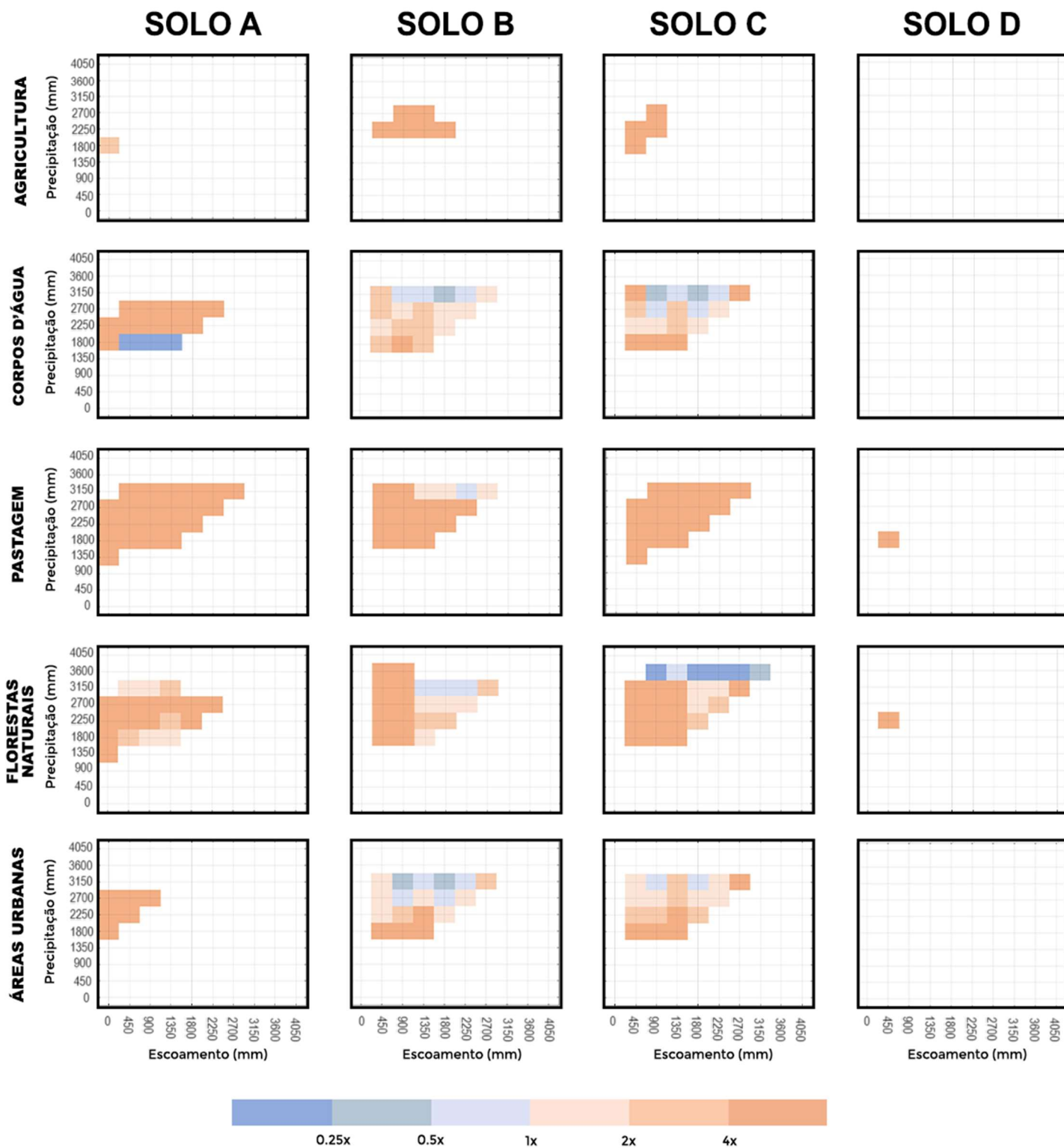
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2002



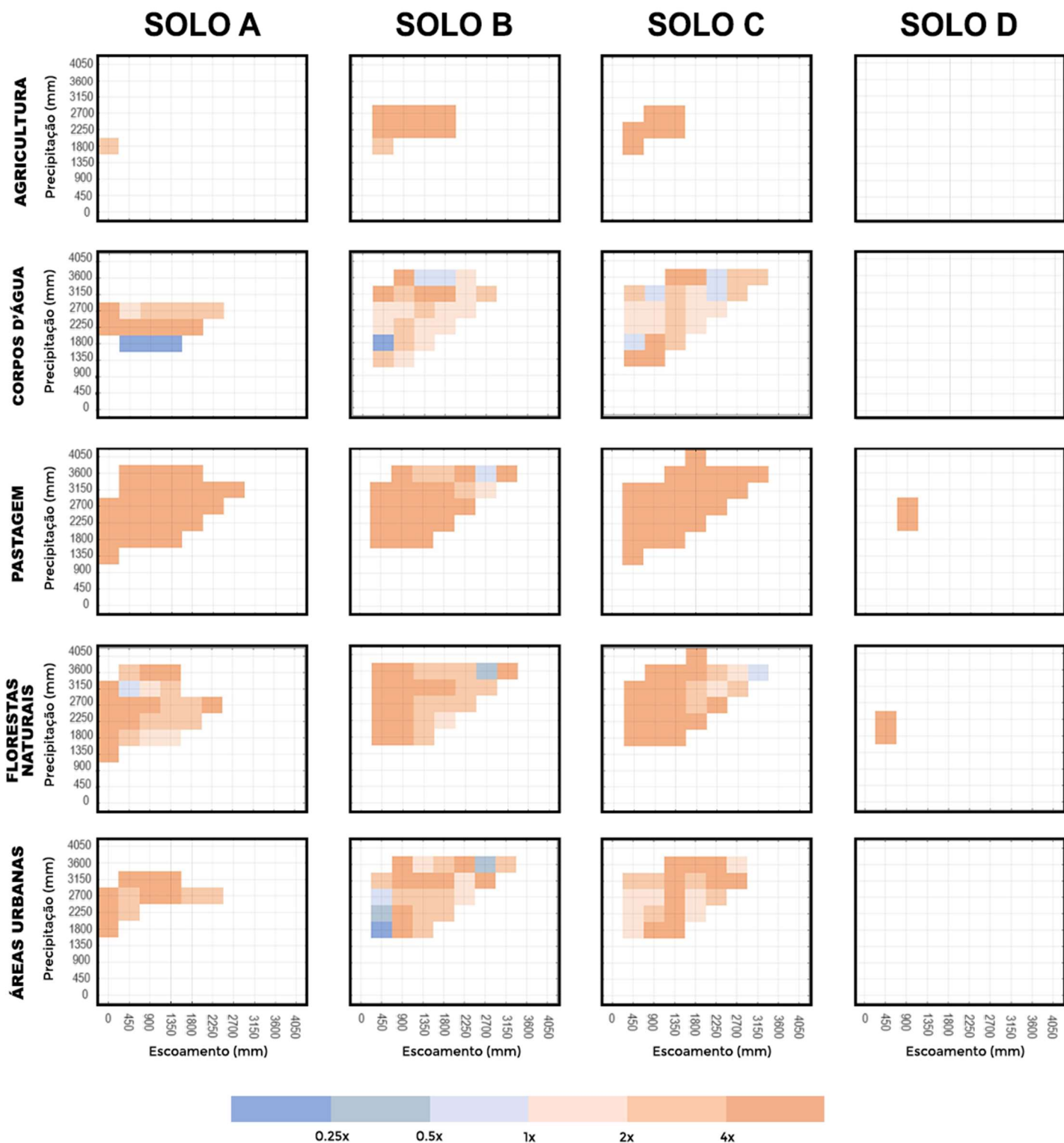
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2003



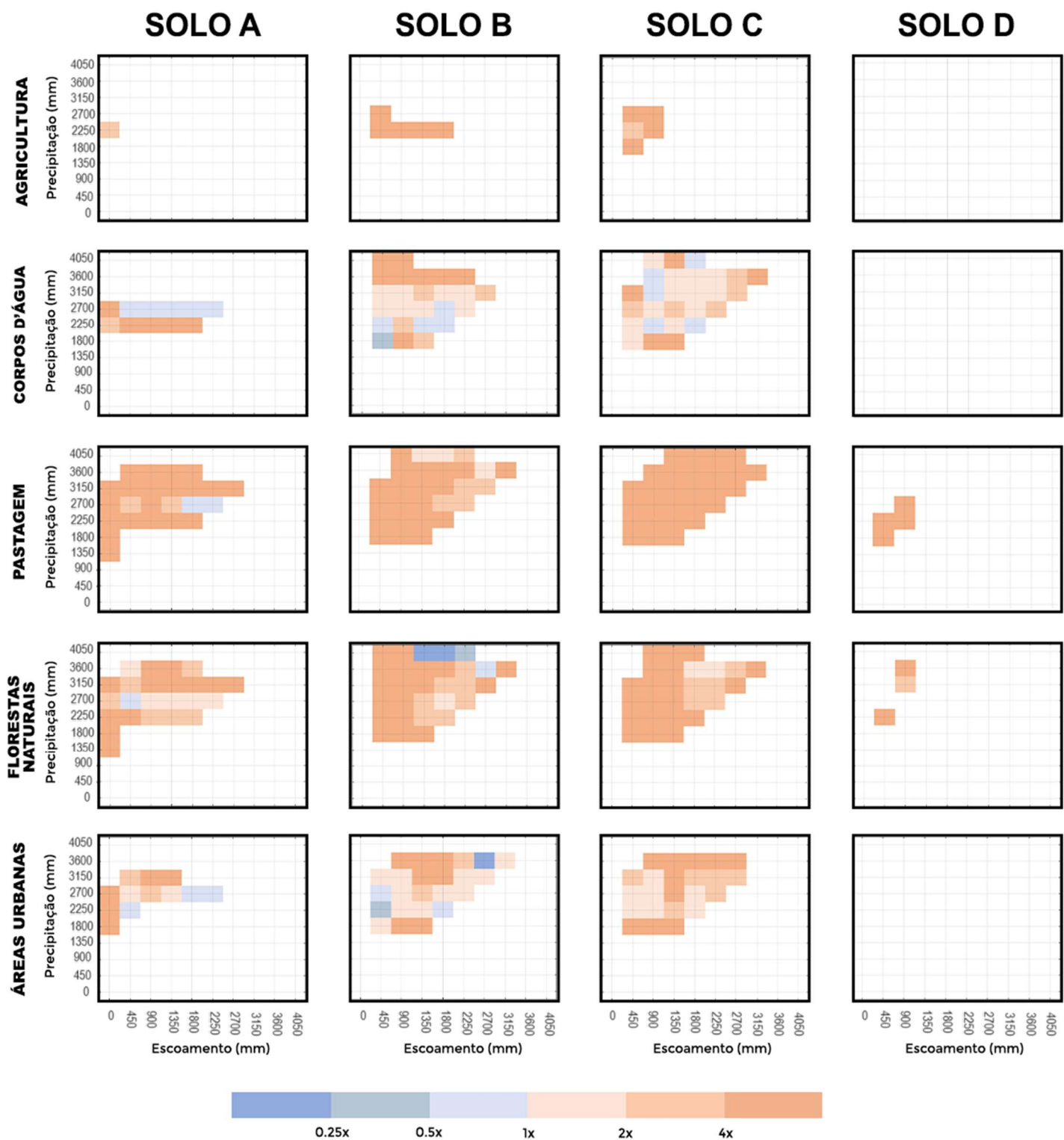
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2004



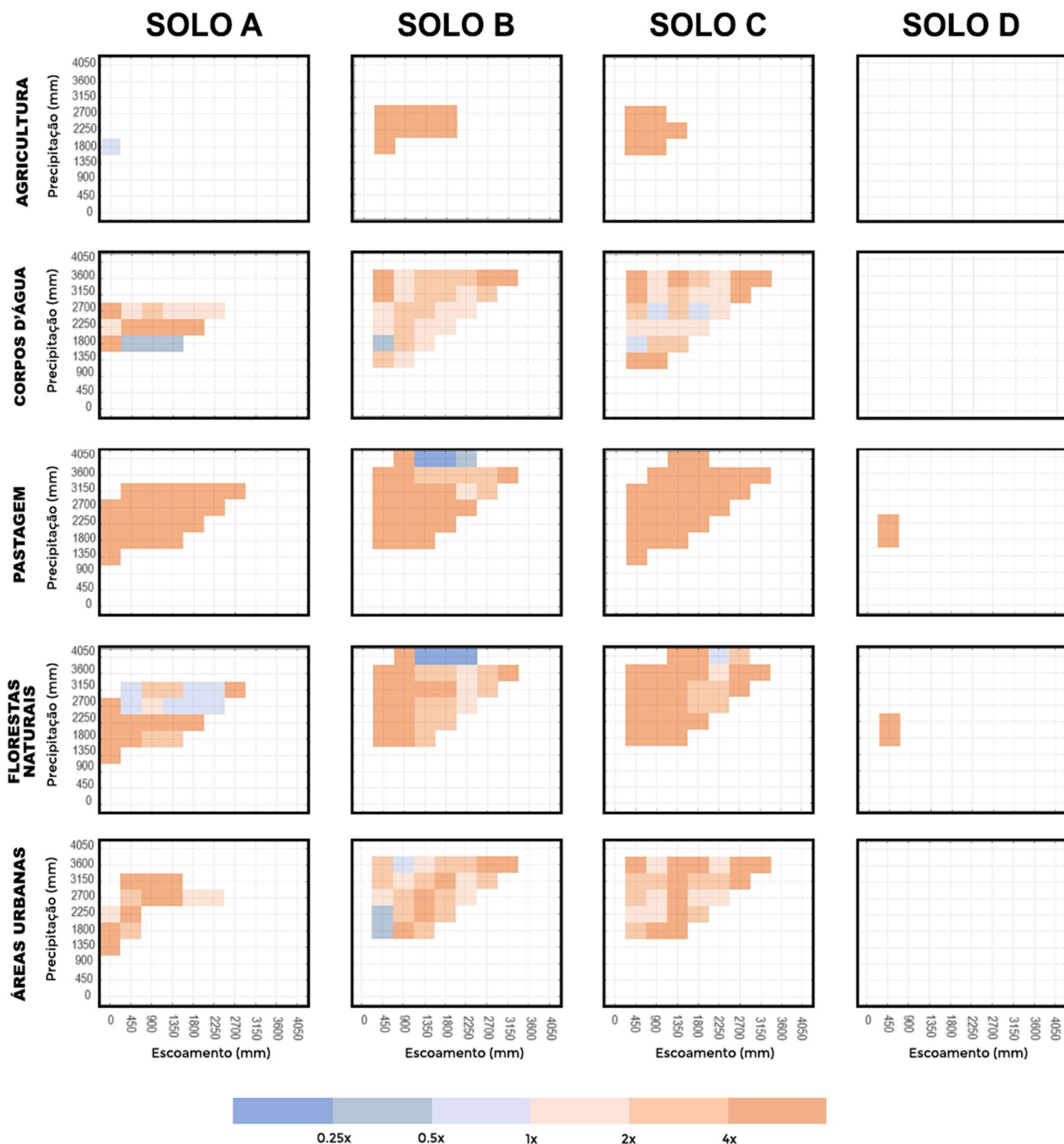
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2005



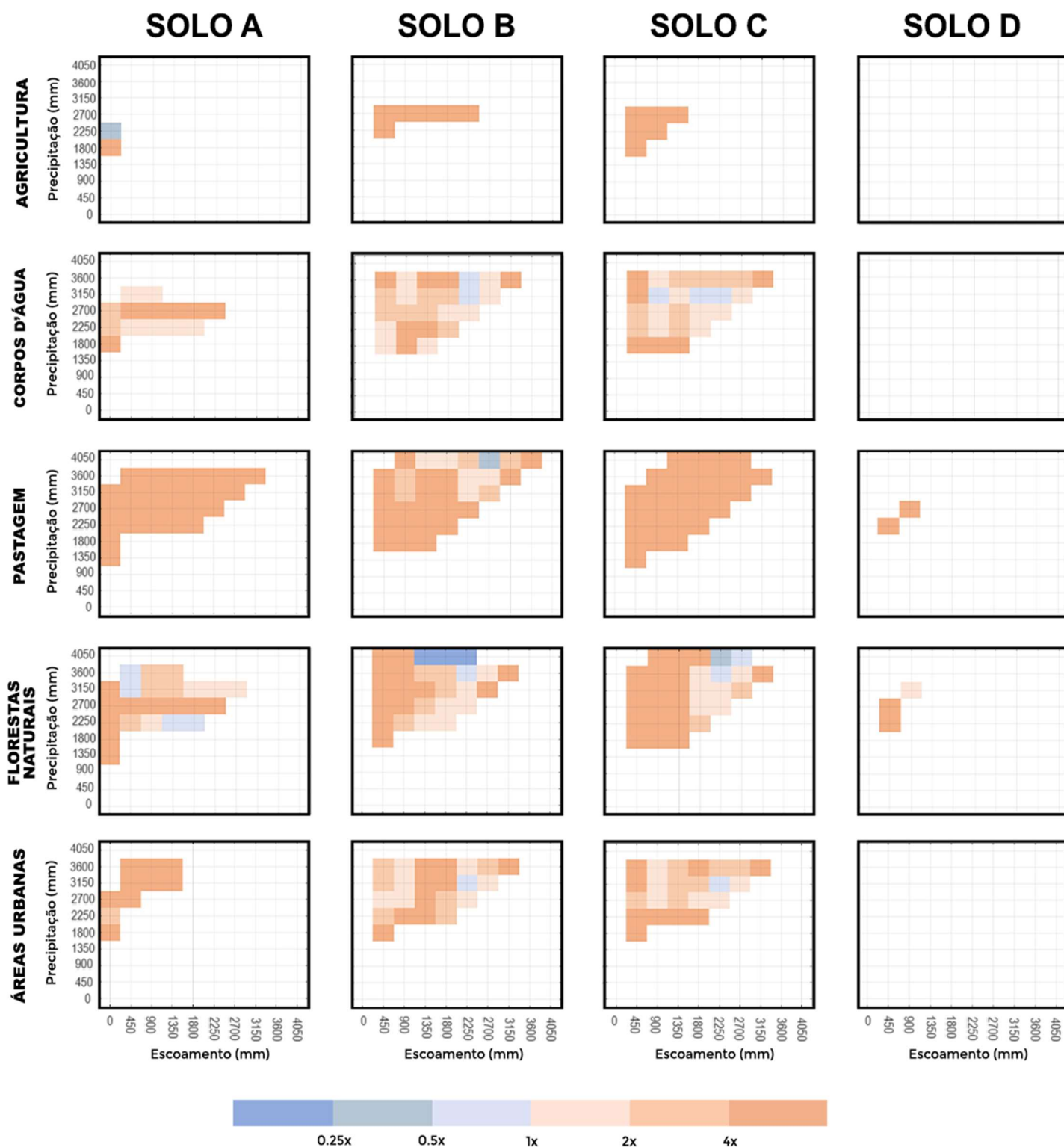
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2006



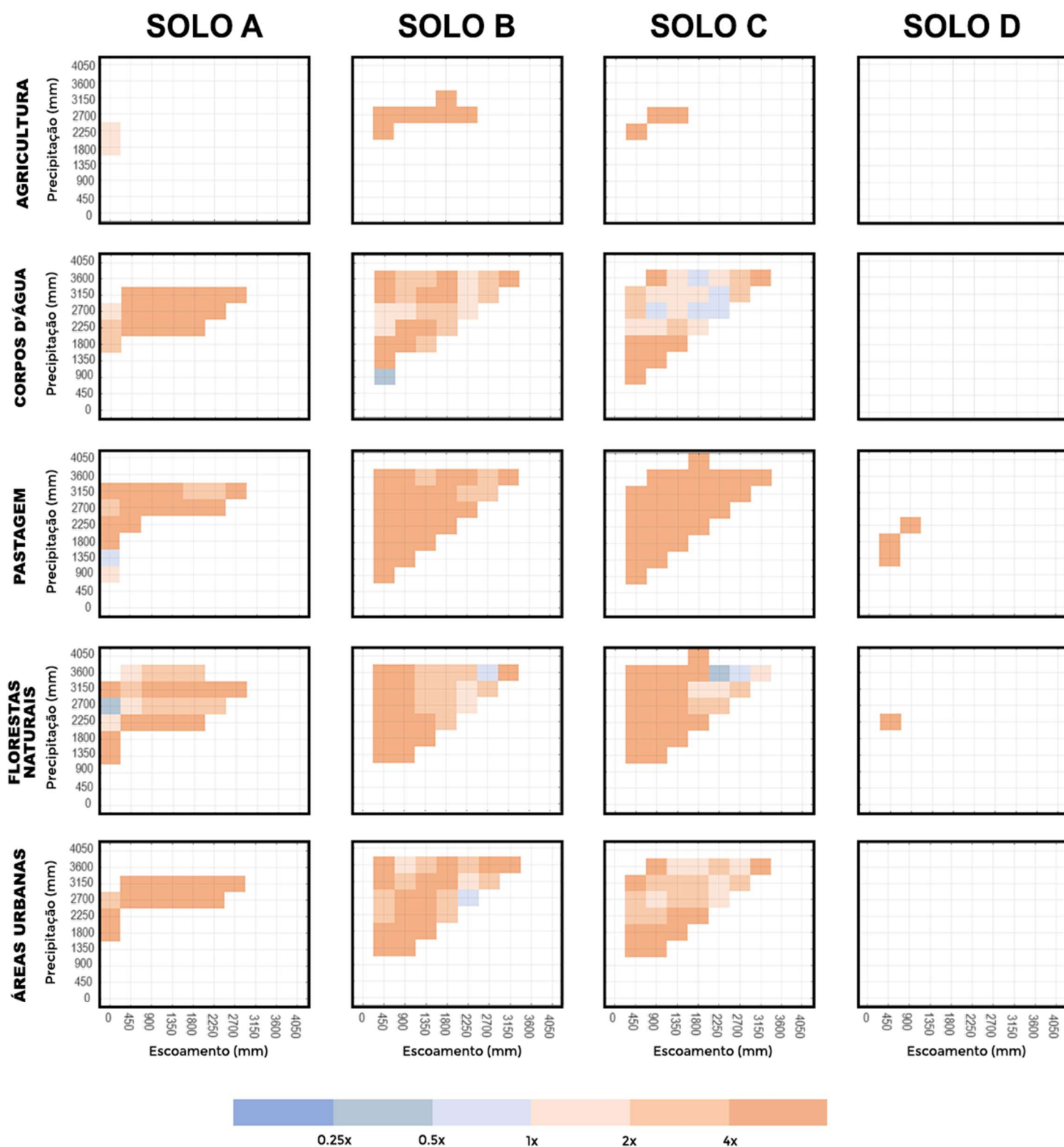
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2007



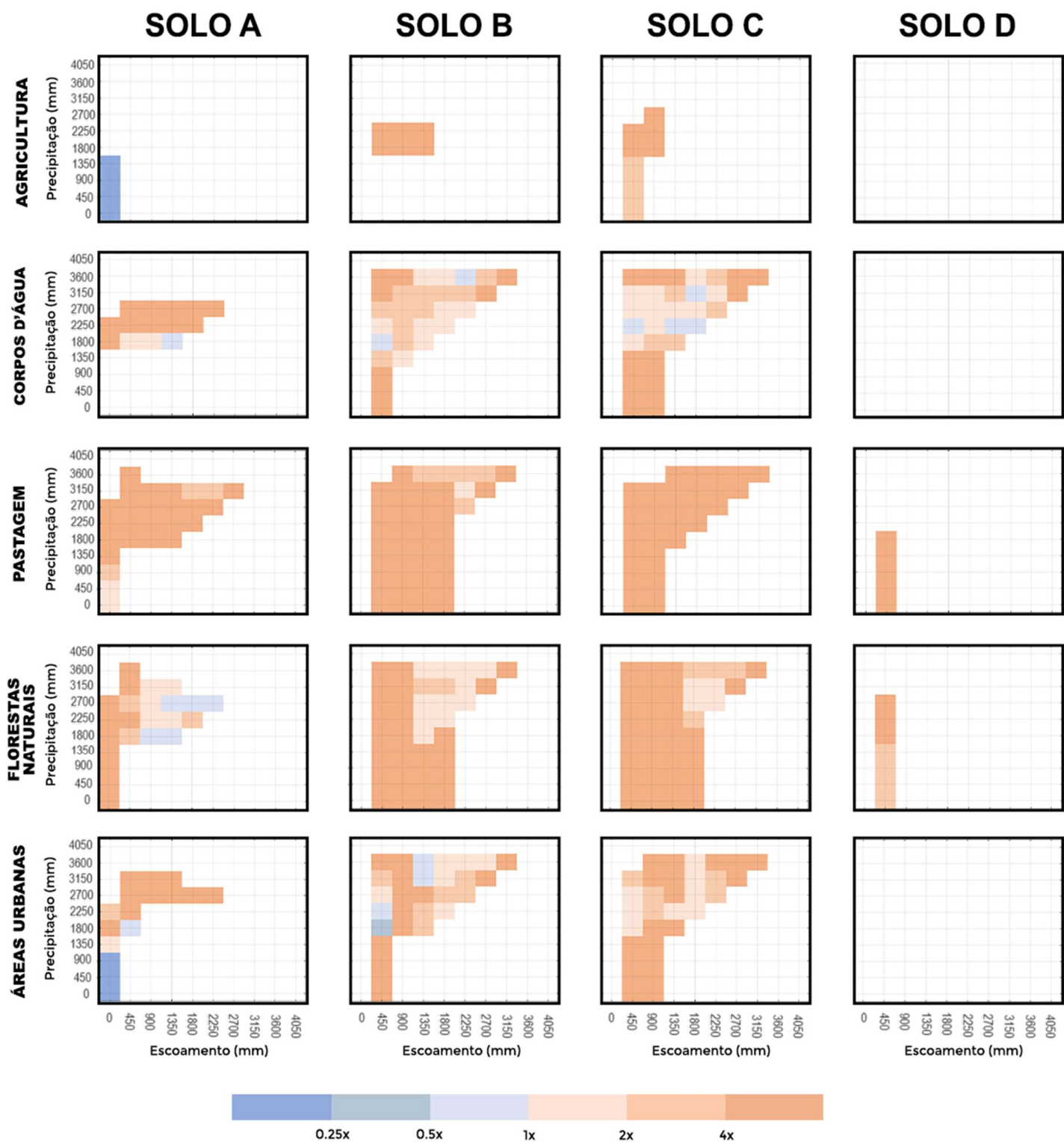
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2008



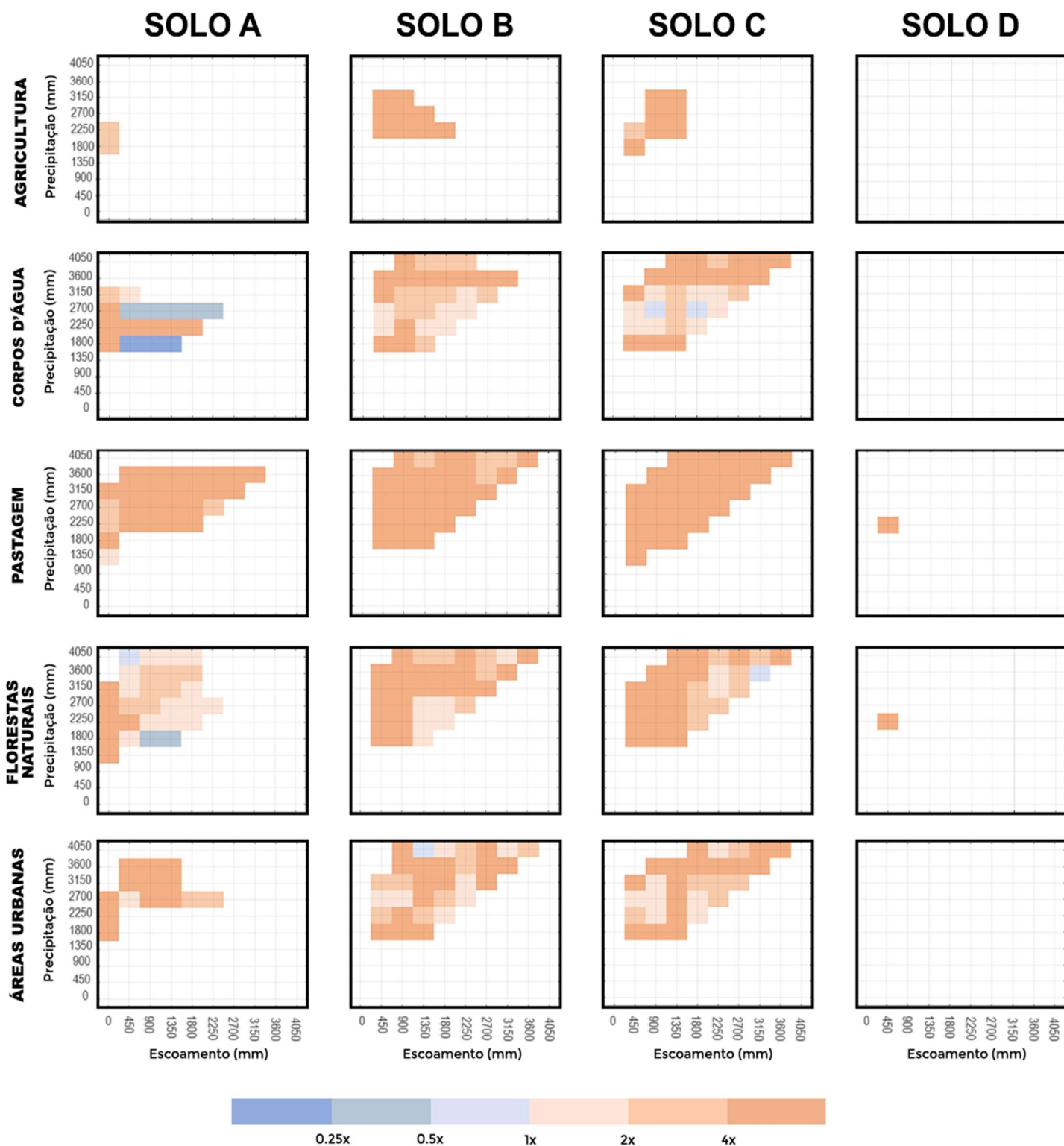
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2009



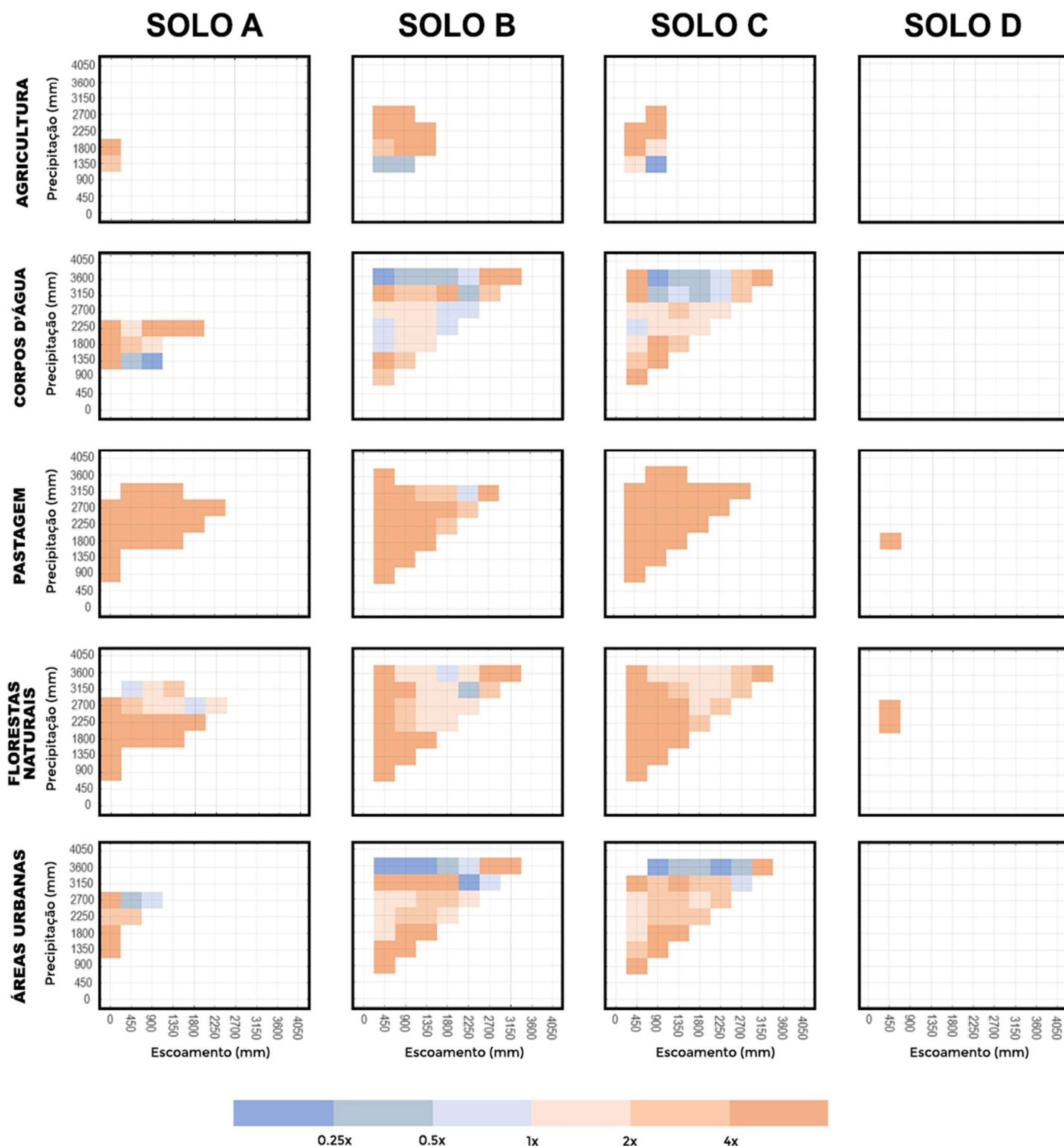
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2010



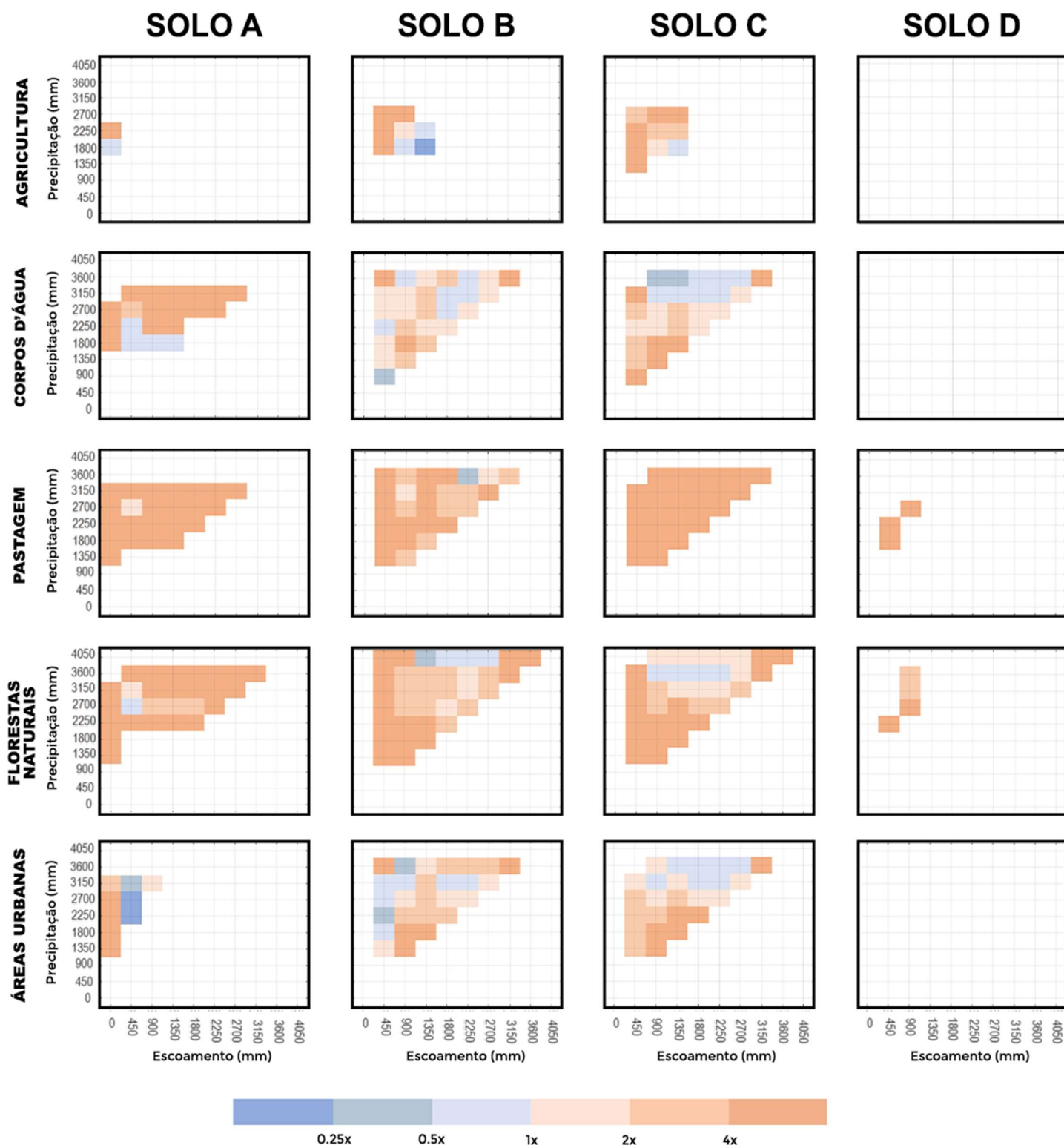
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2011



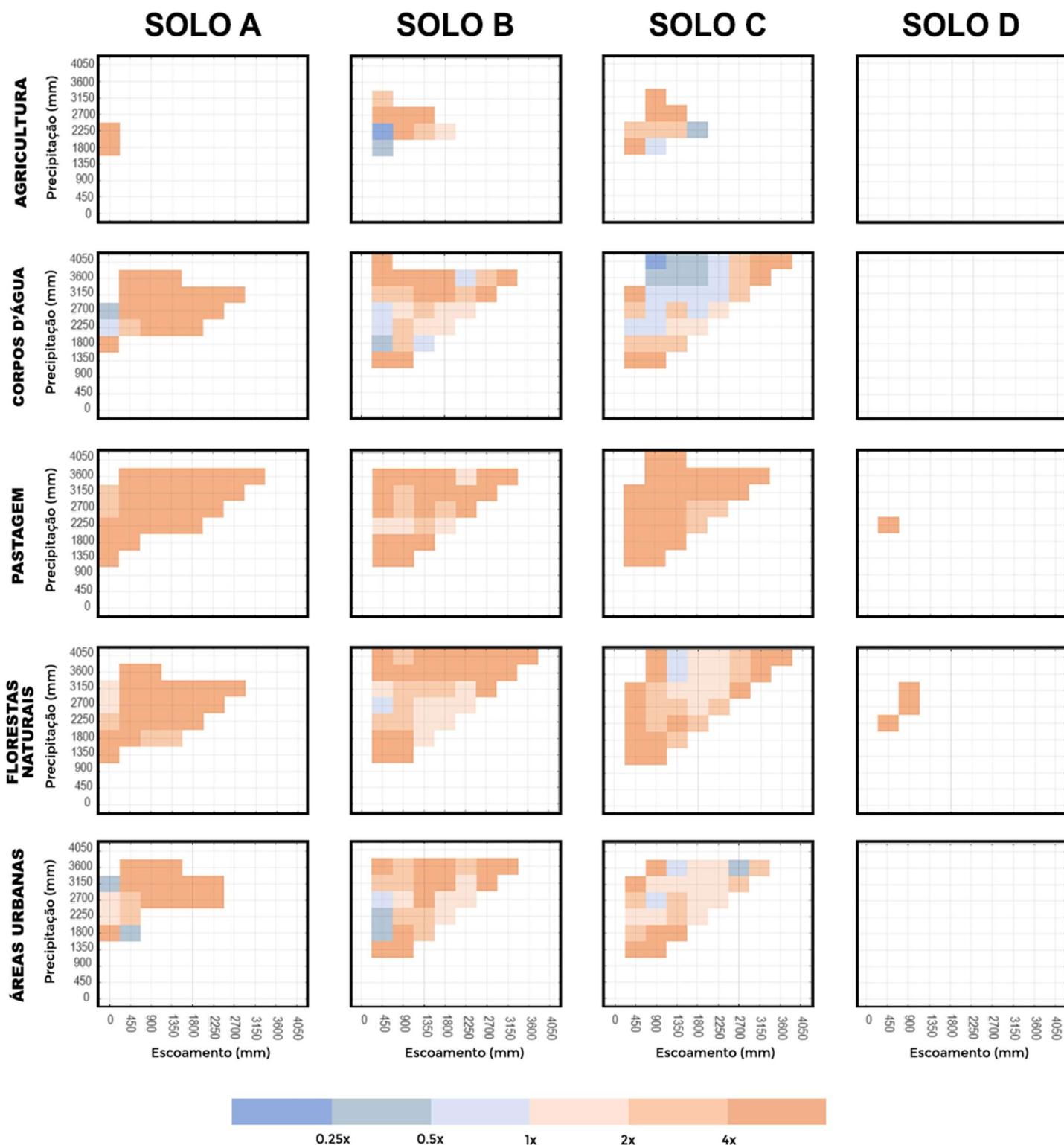
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2012



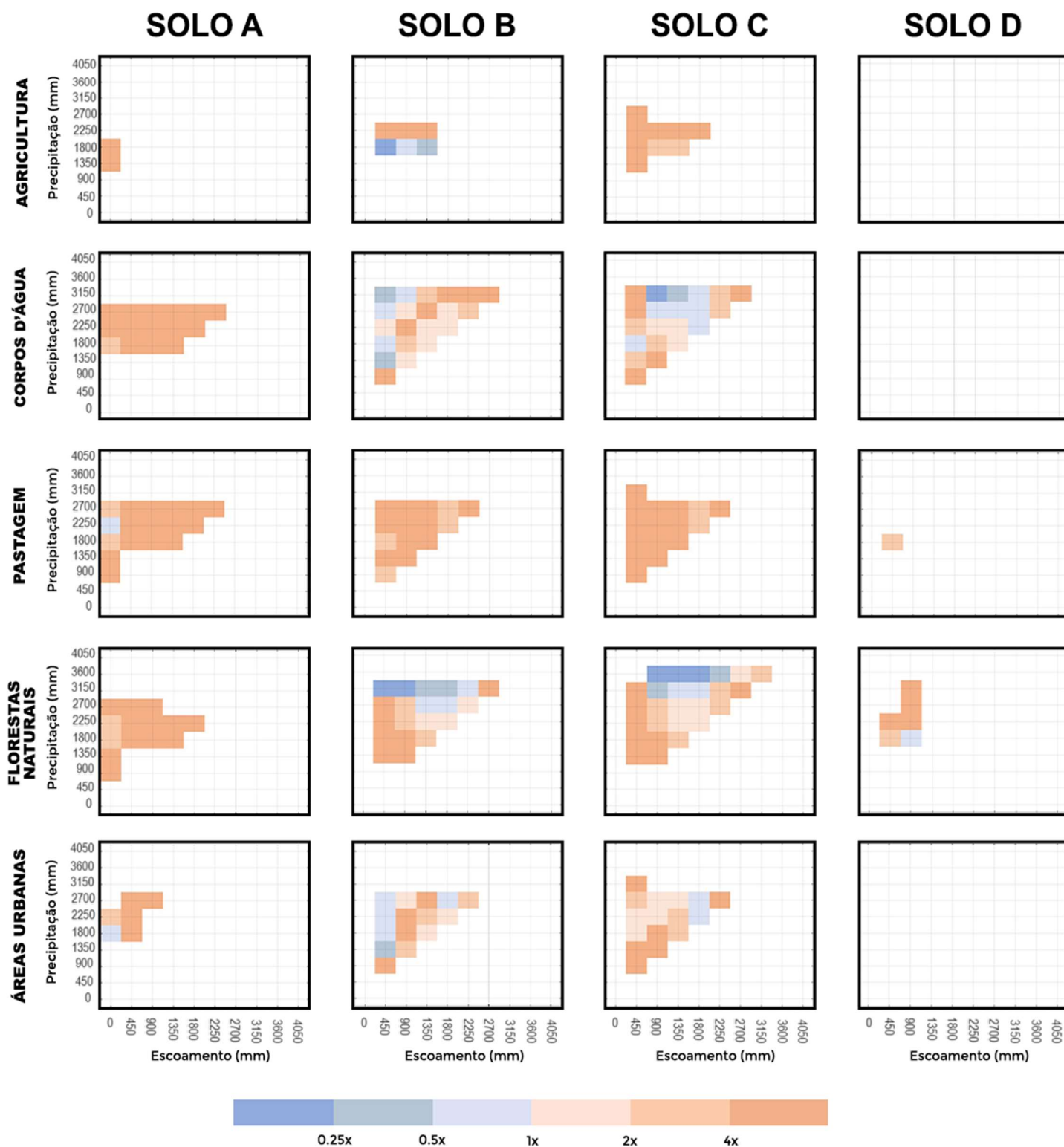
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2013



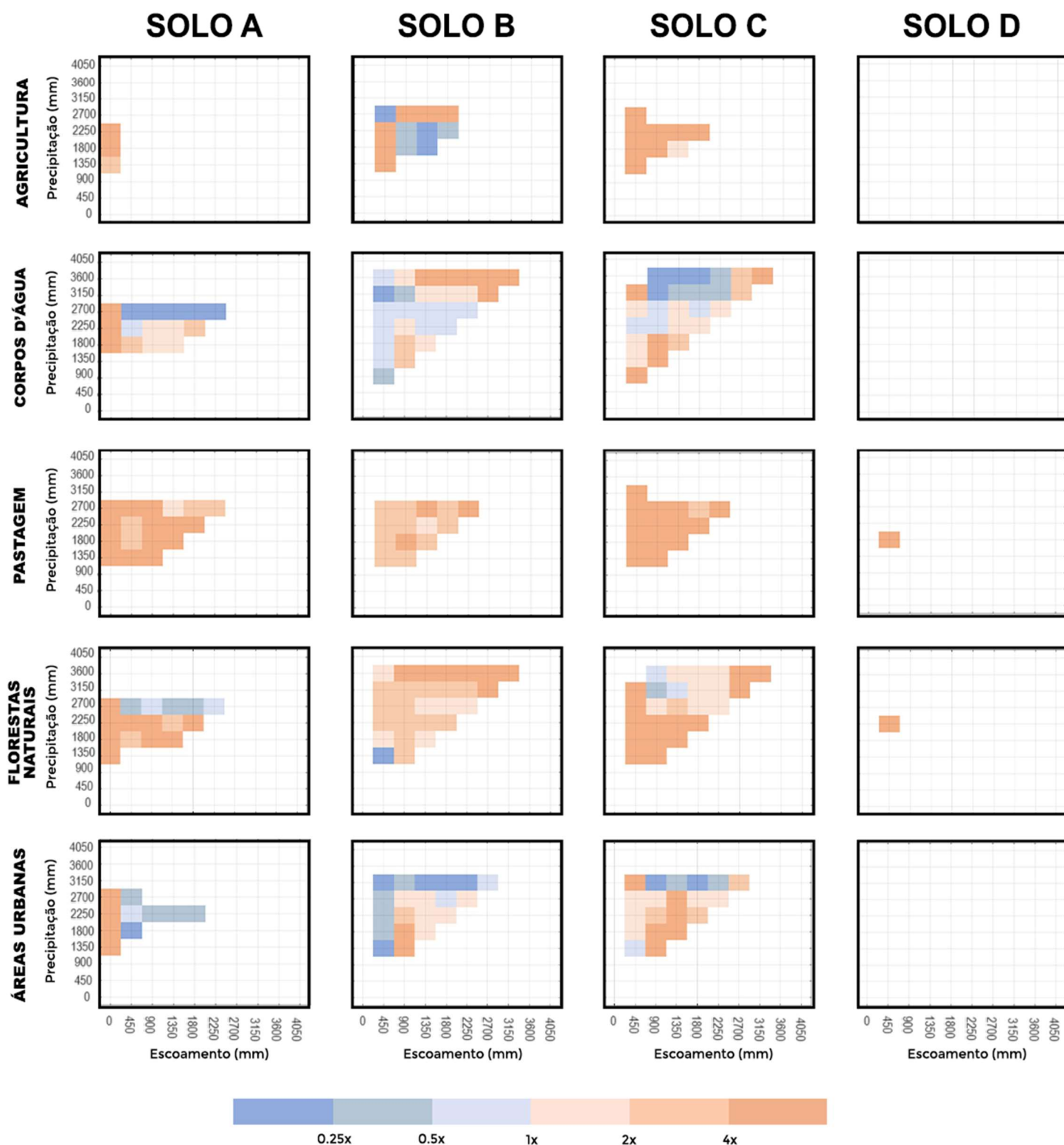
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2014



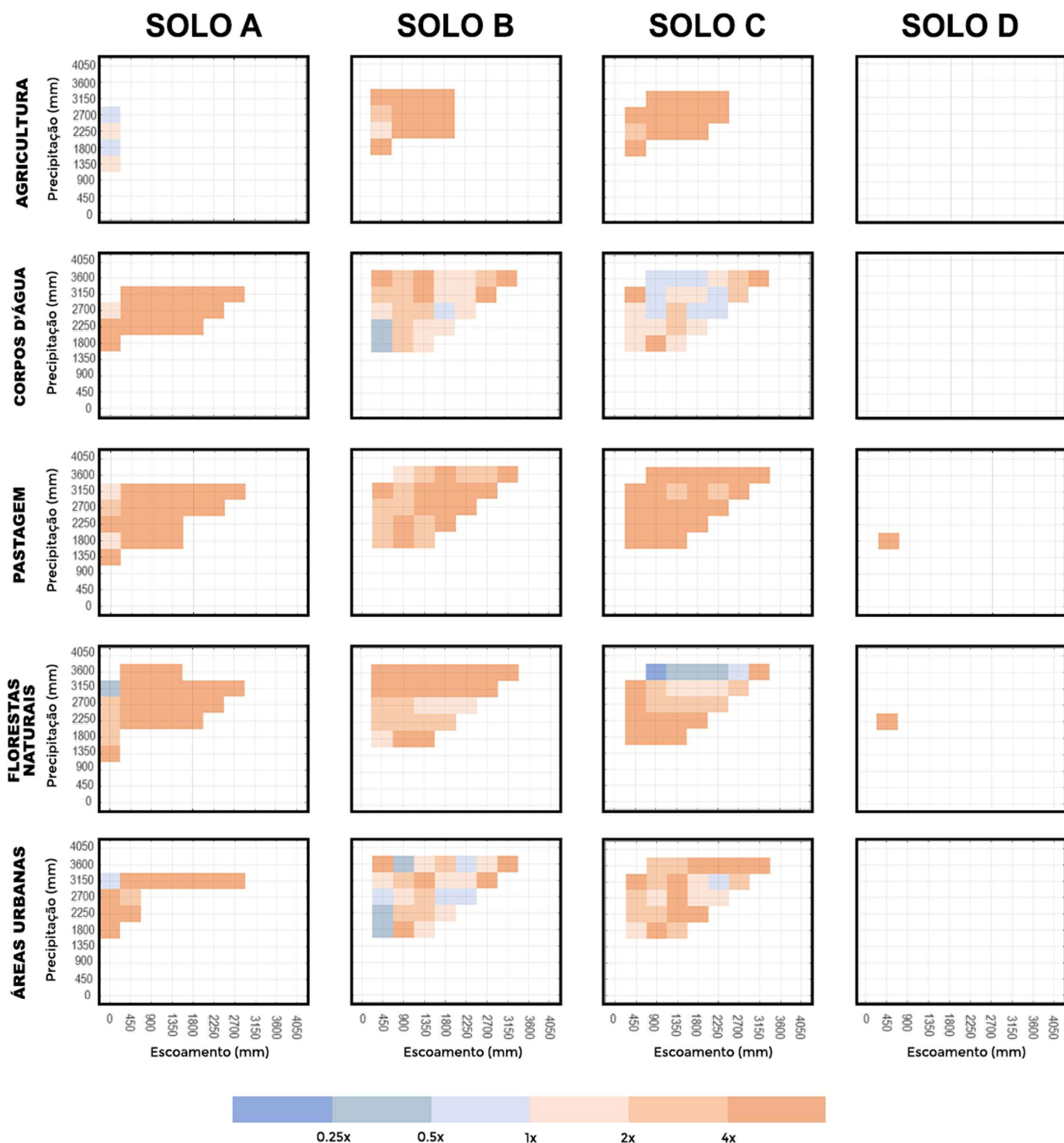
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2015



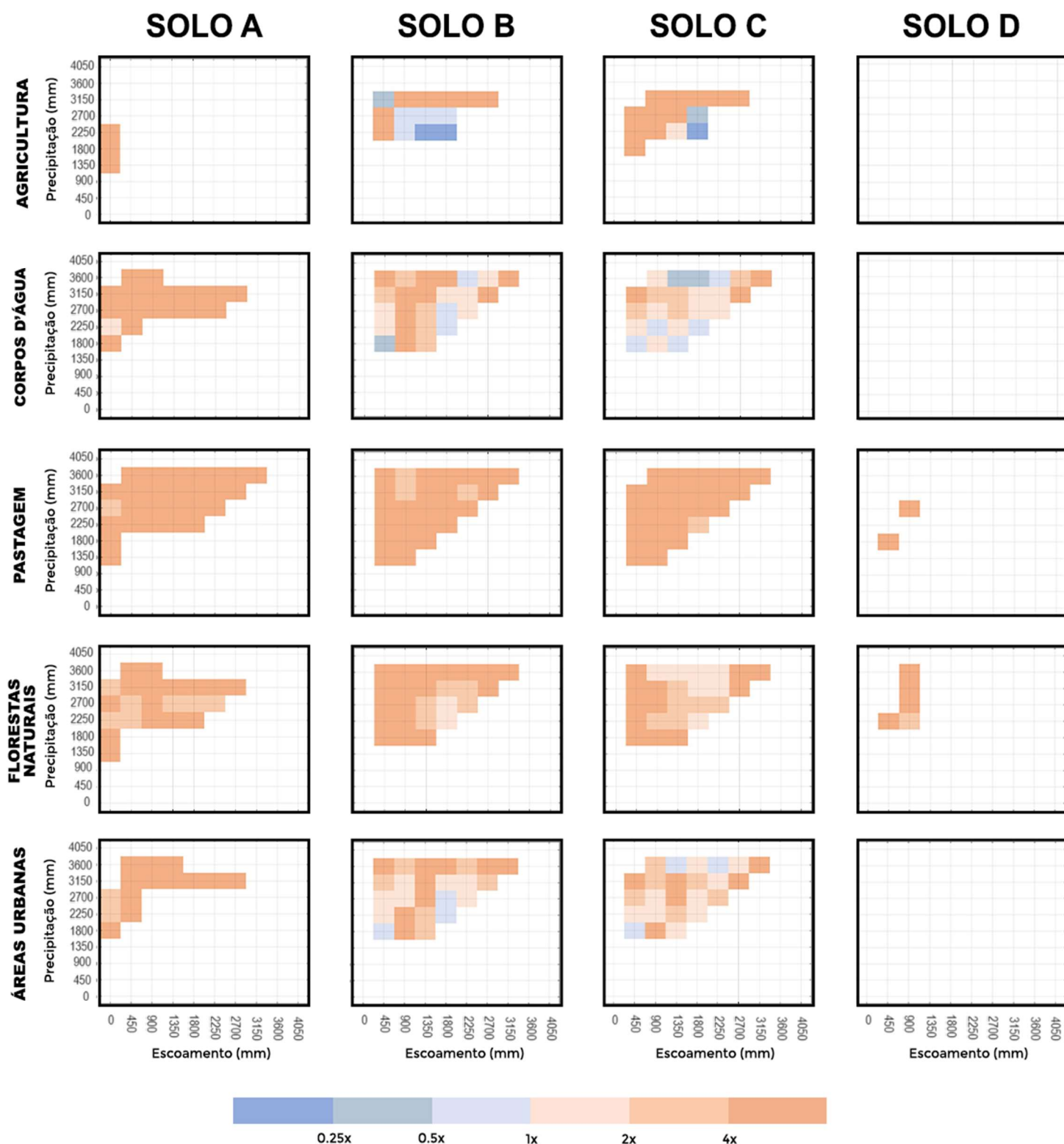
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2016



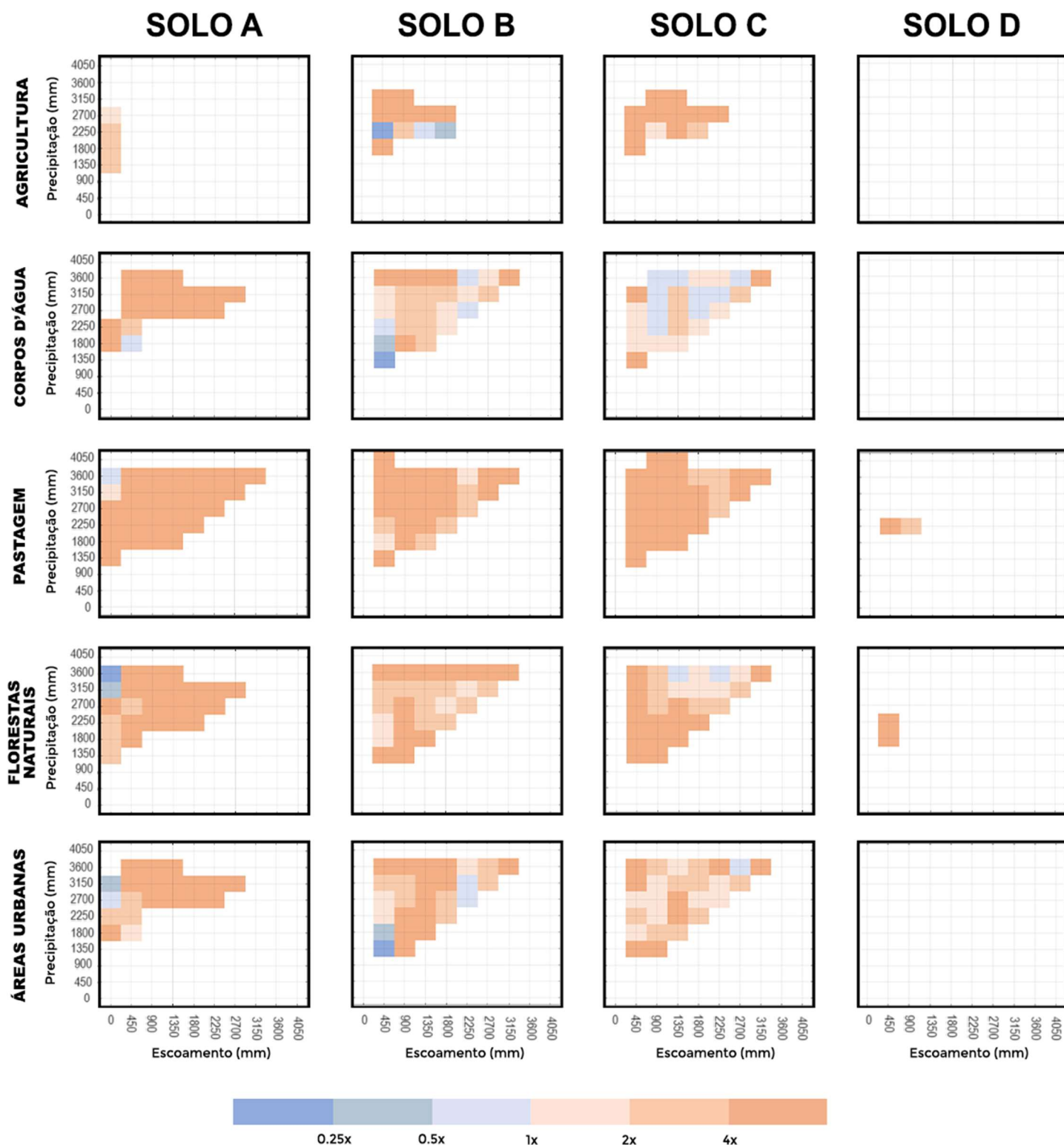
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2017



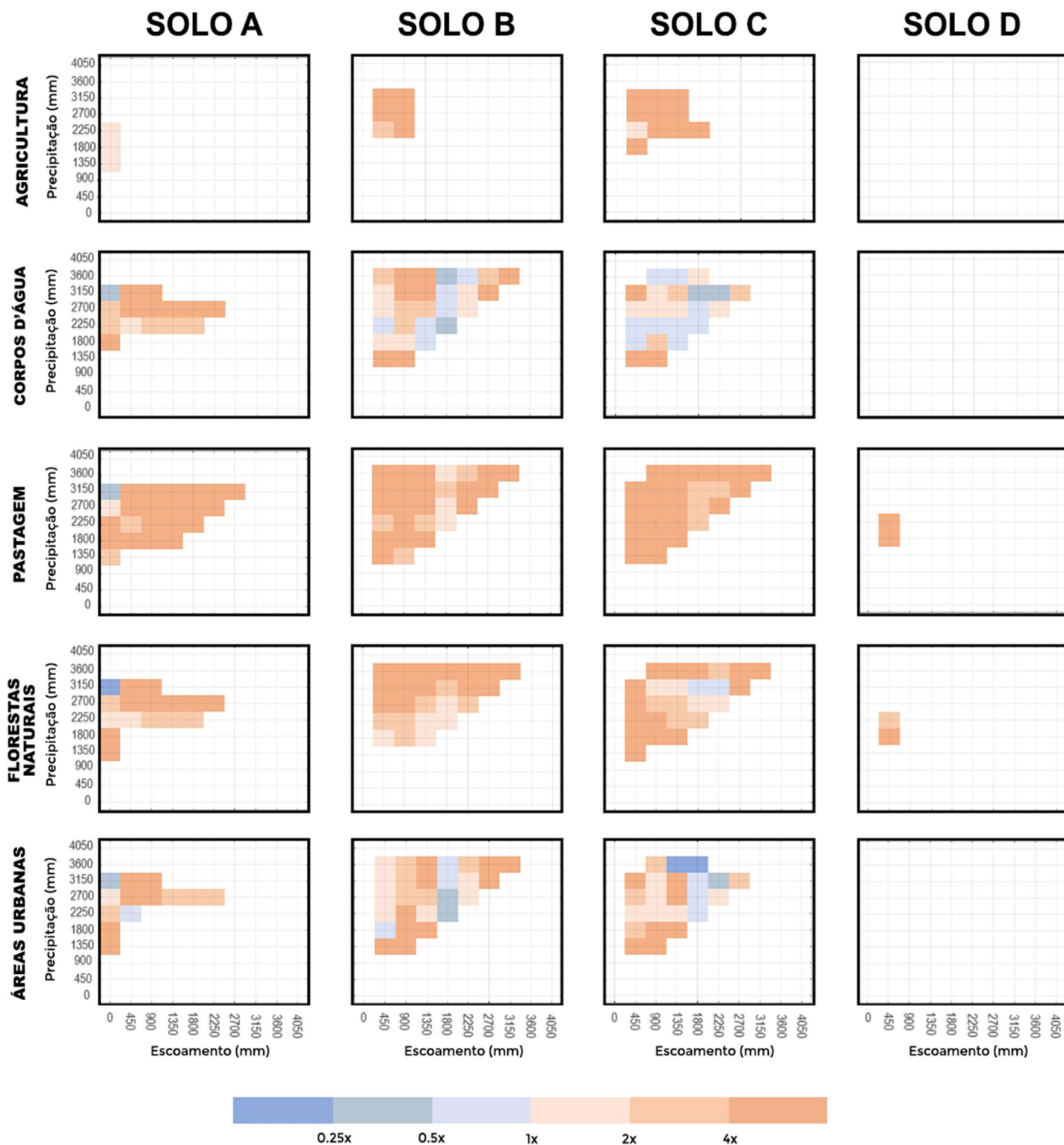
Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2018



Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2019

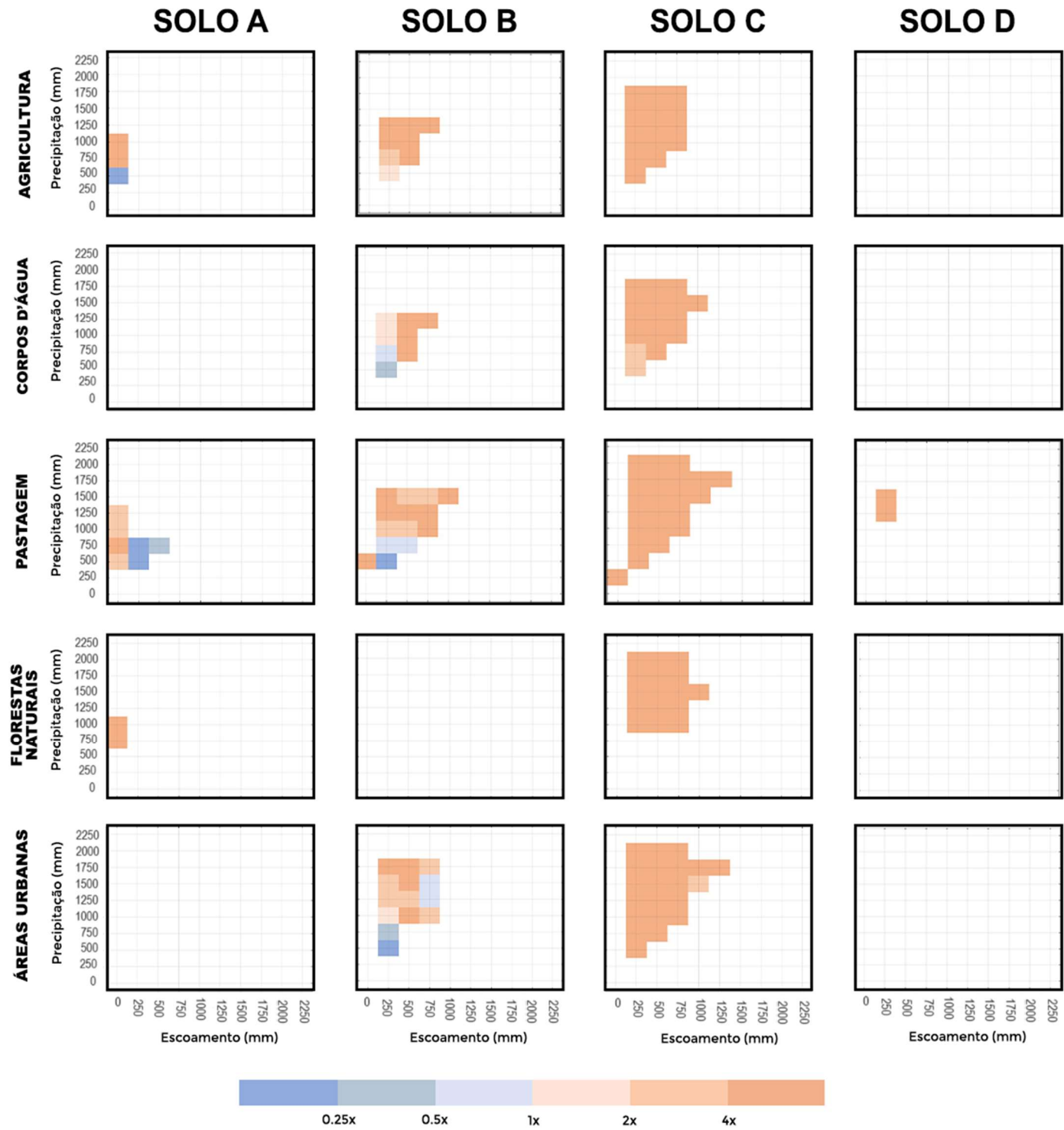


Teste de Fisher - Bioma Amazônico 2020

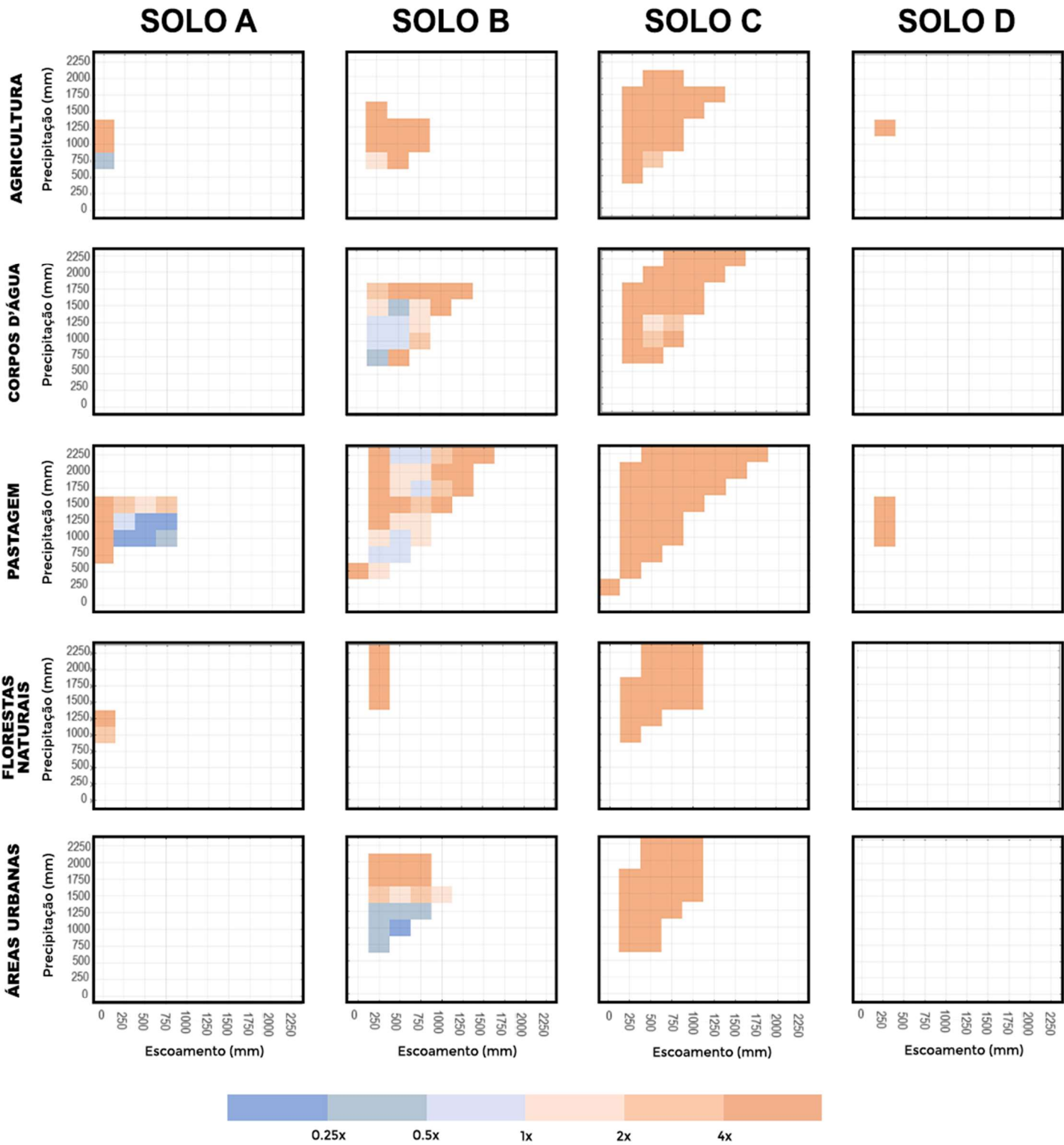


9.2 Teste de Fisher – Bioma Caatinga

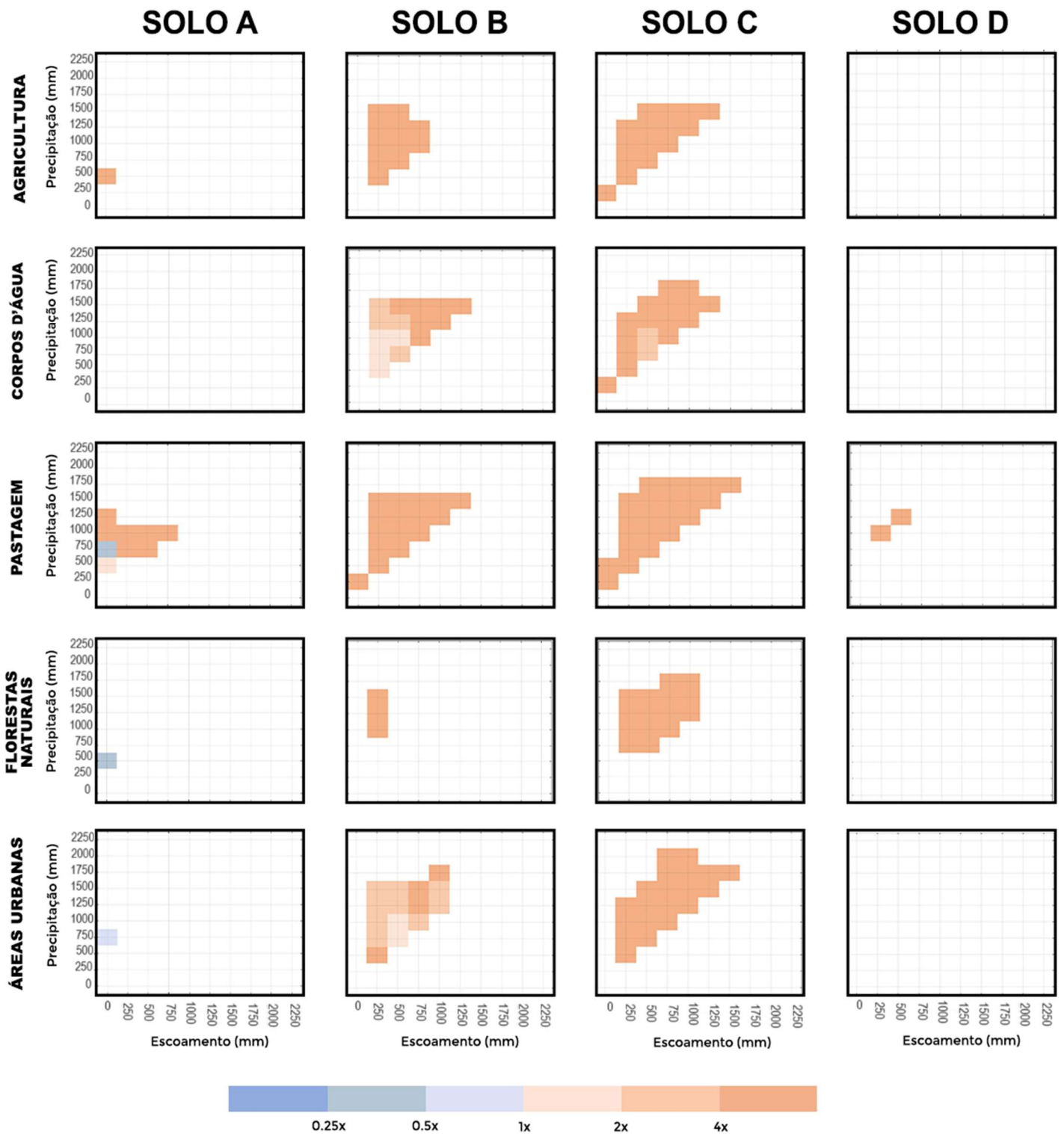
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2001



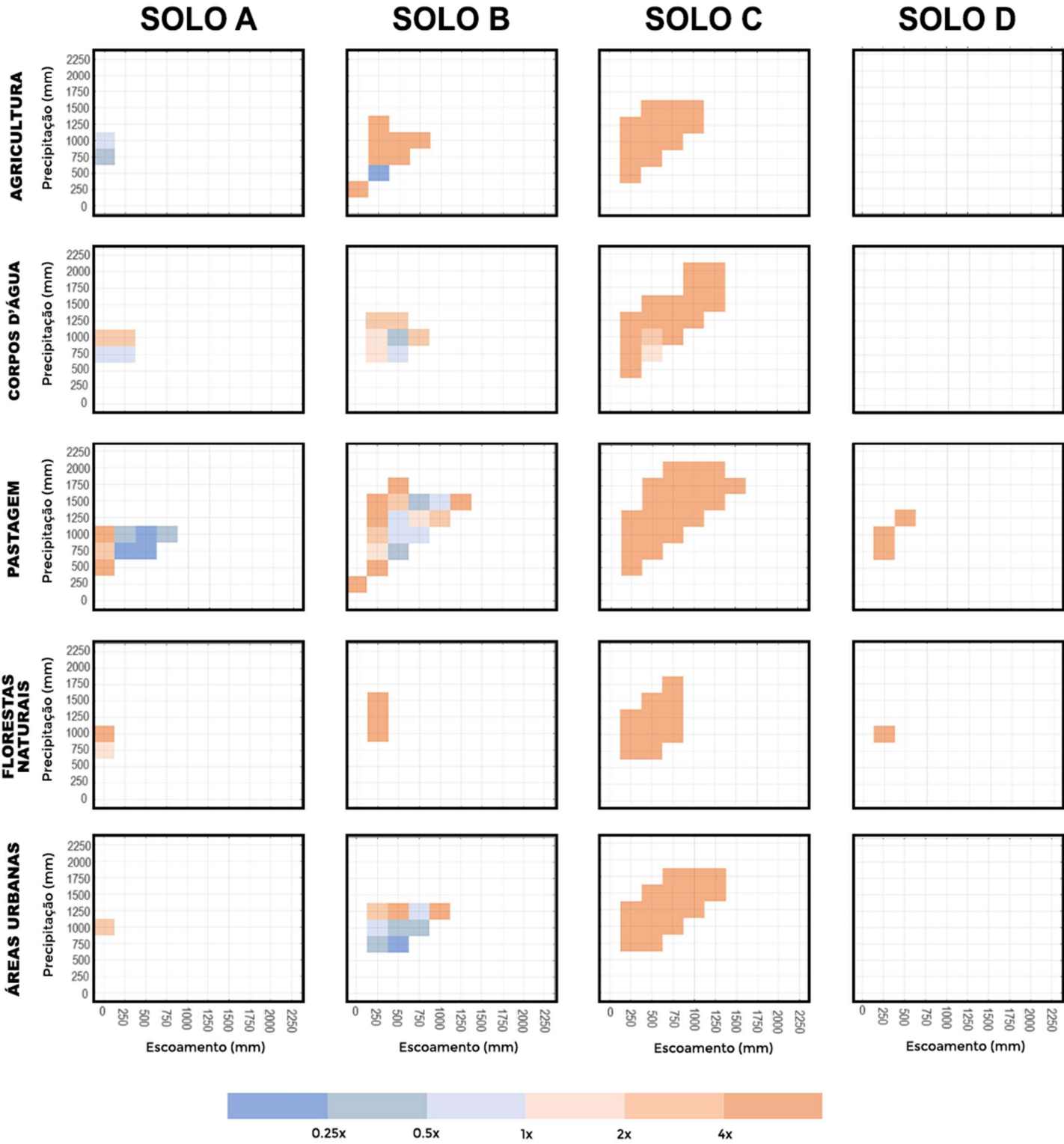
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2002



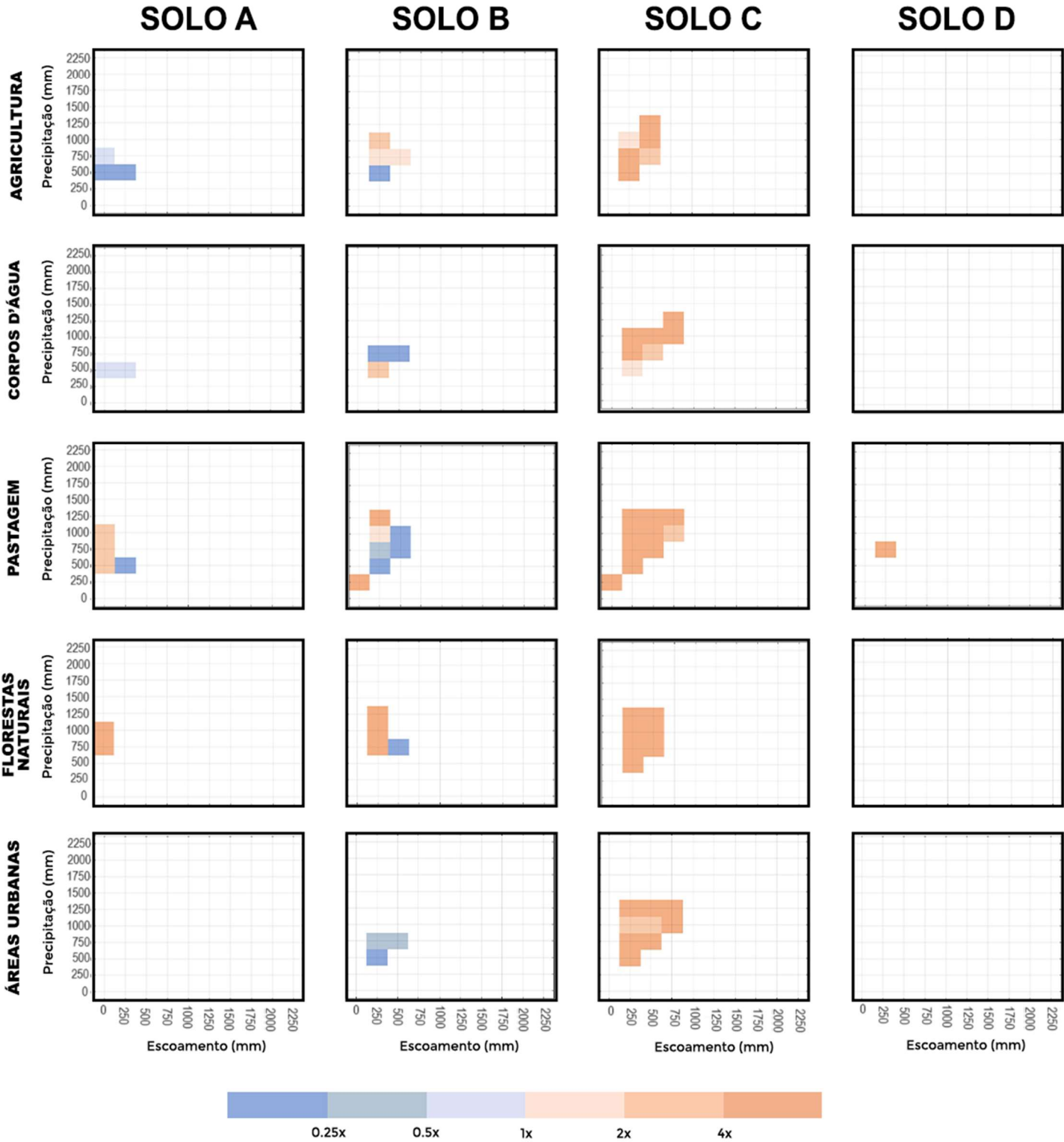
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2003



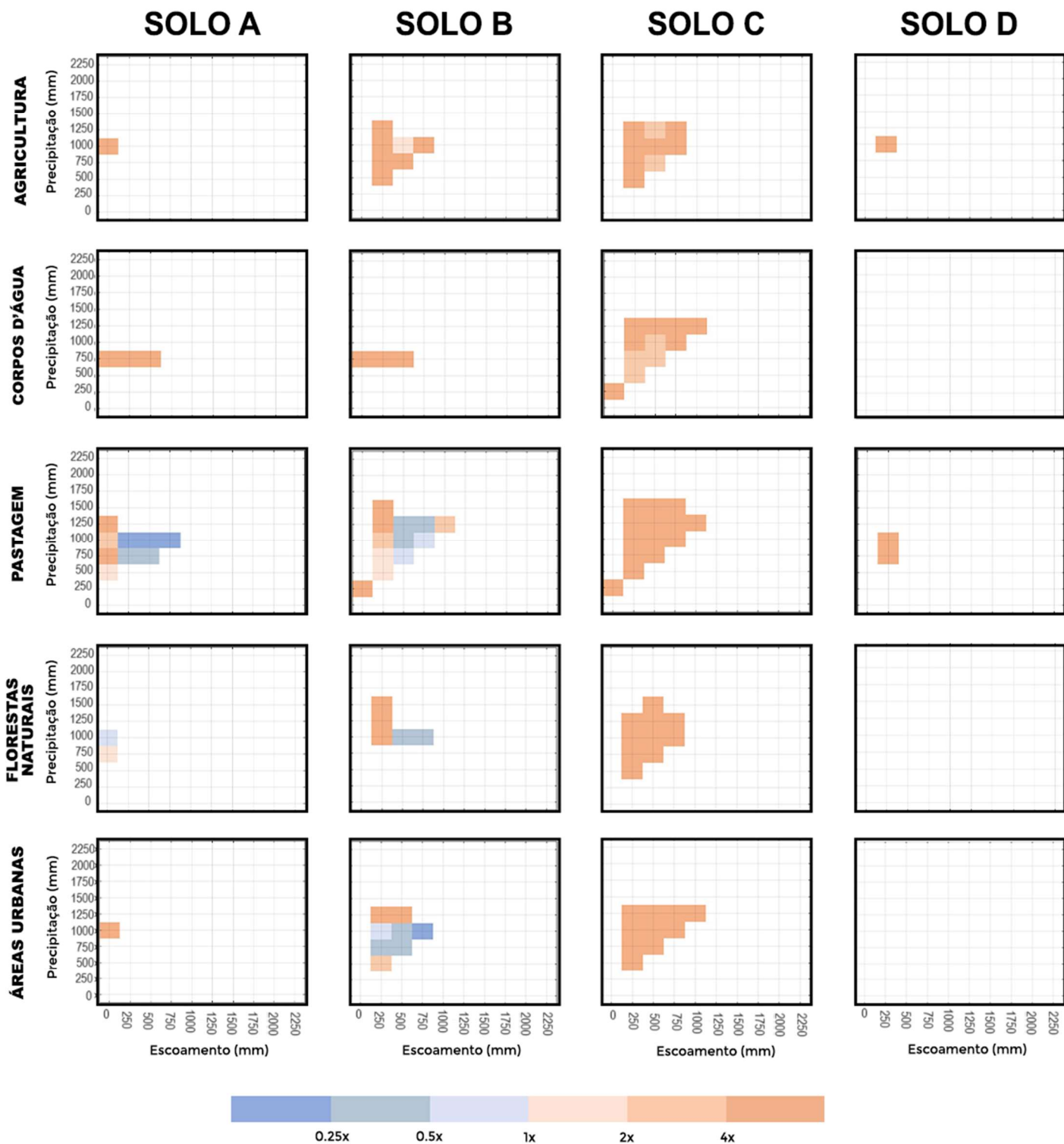
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2004



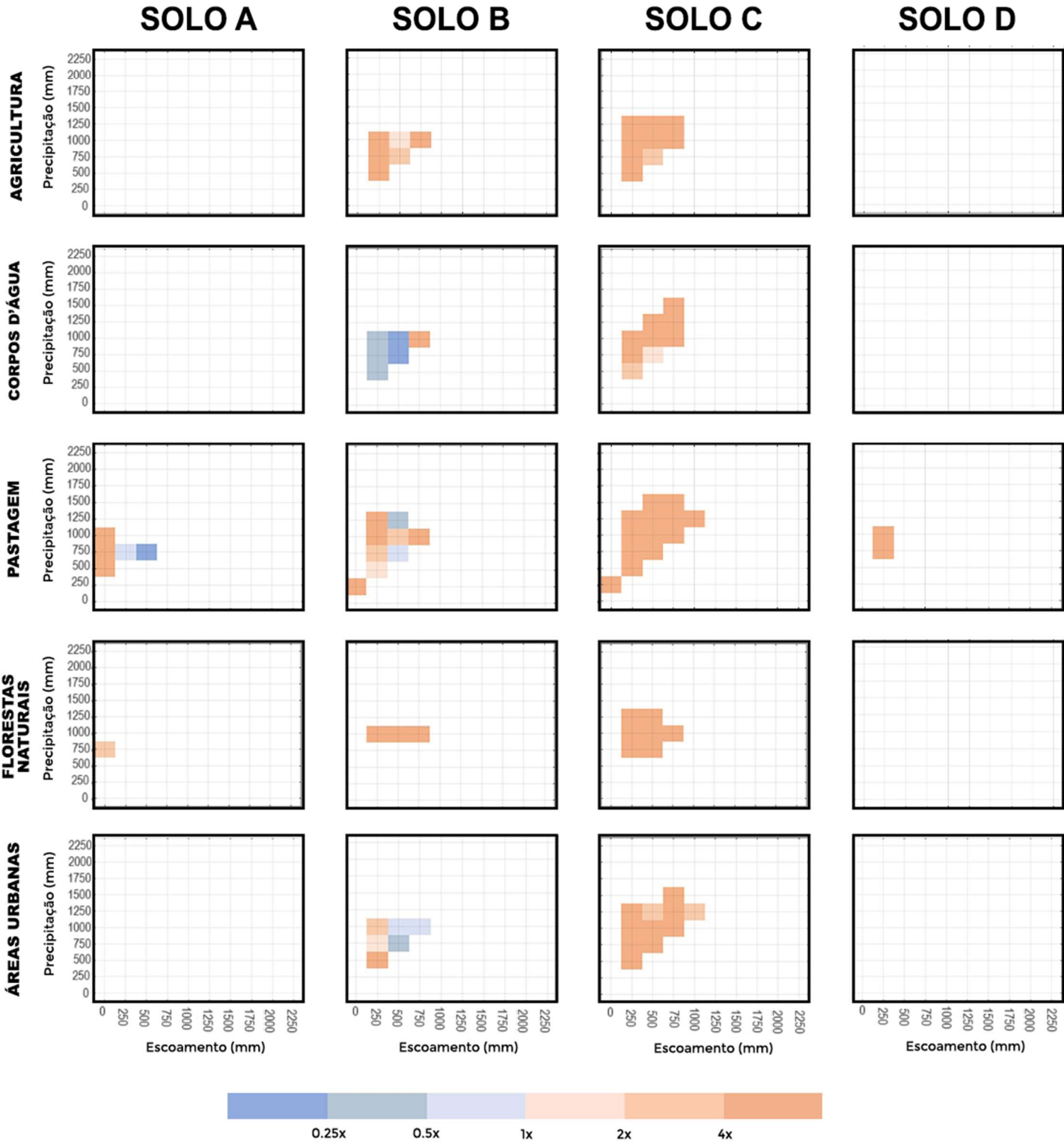
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2005



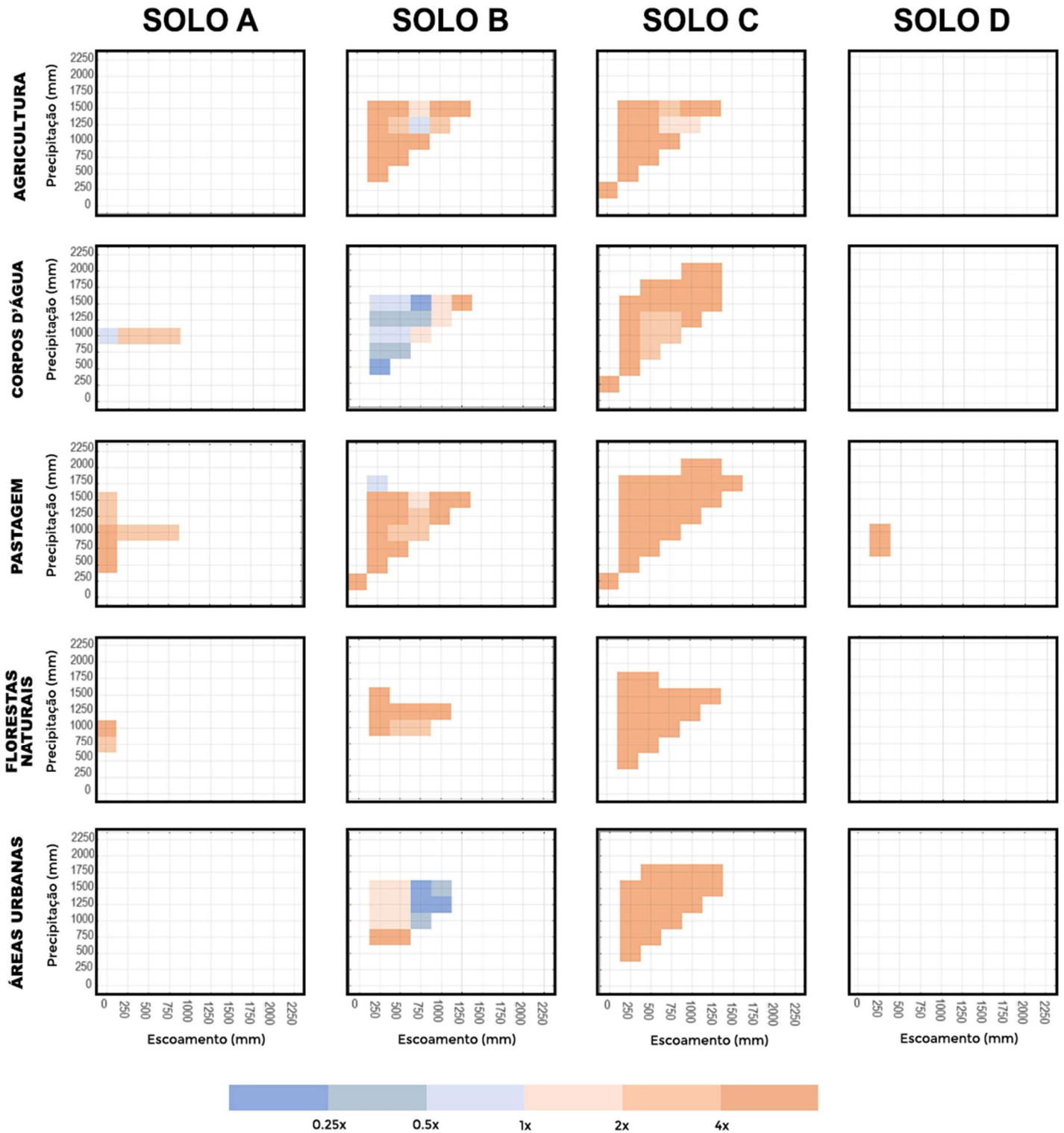
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2006



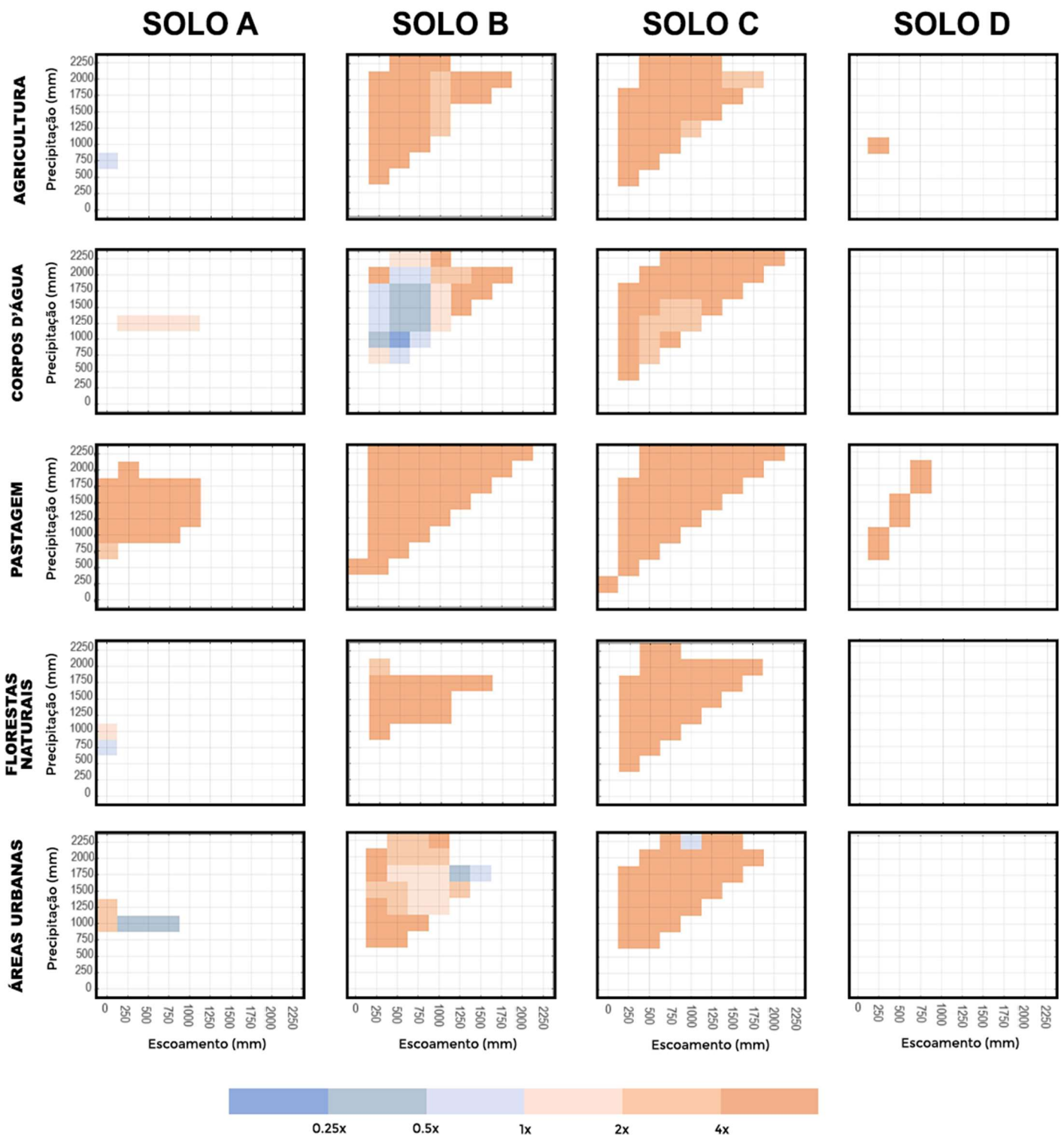
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2007



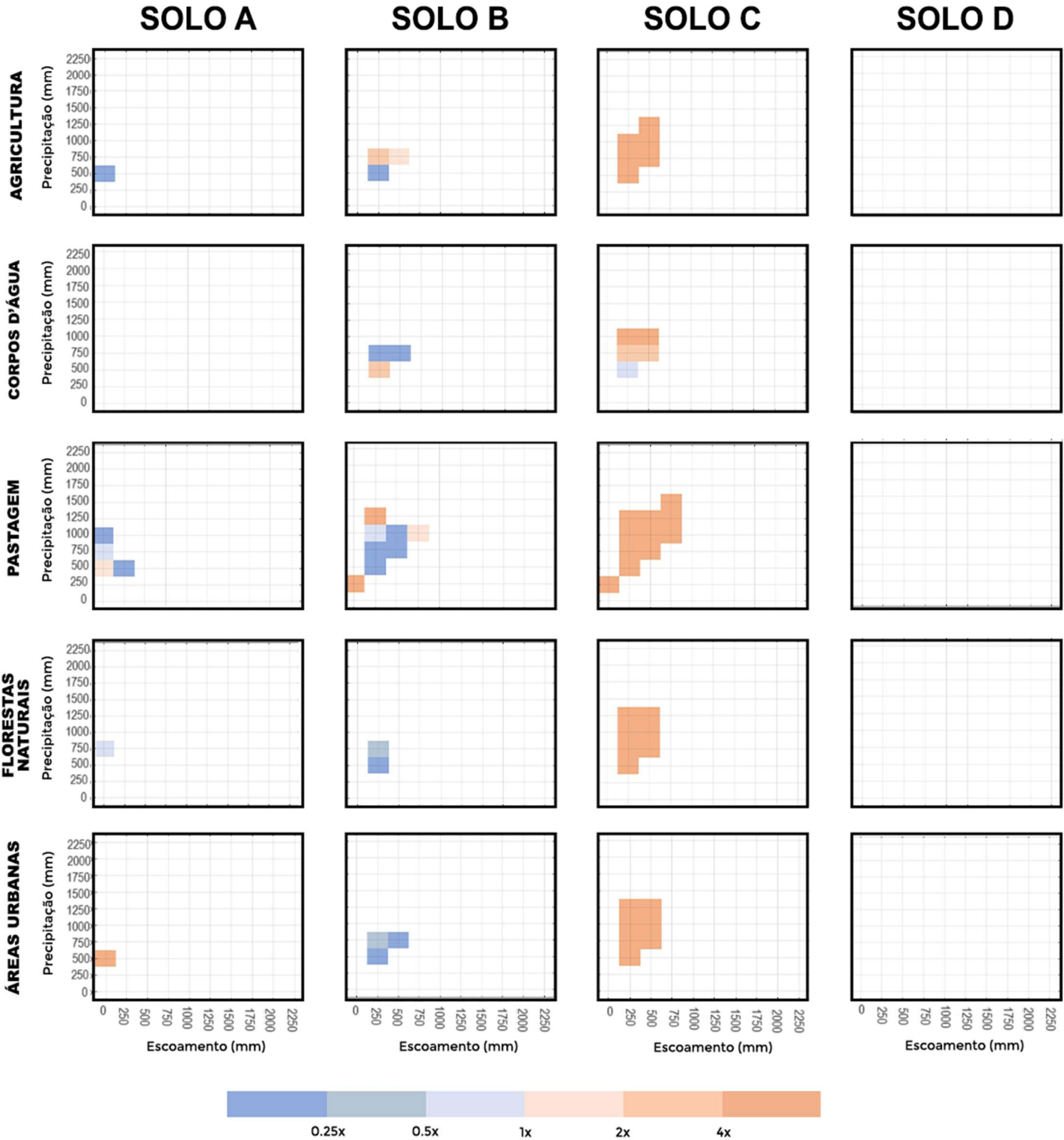
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2008



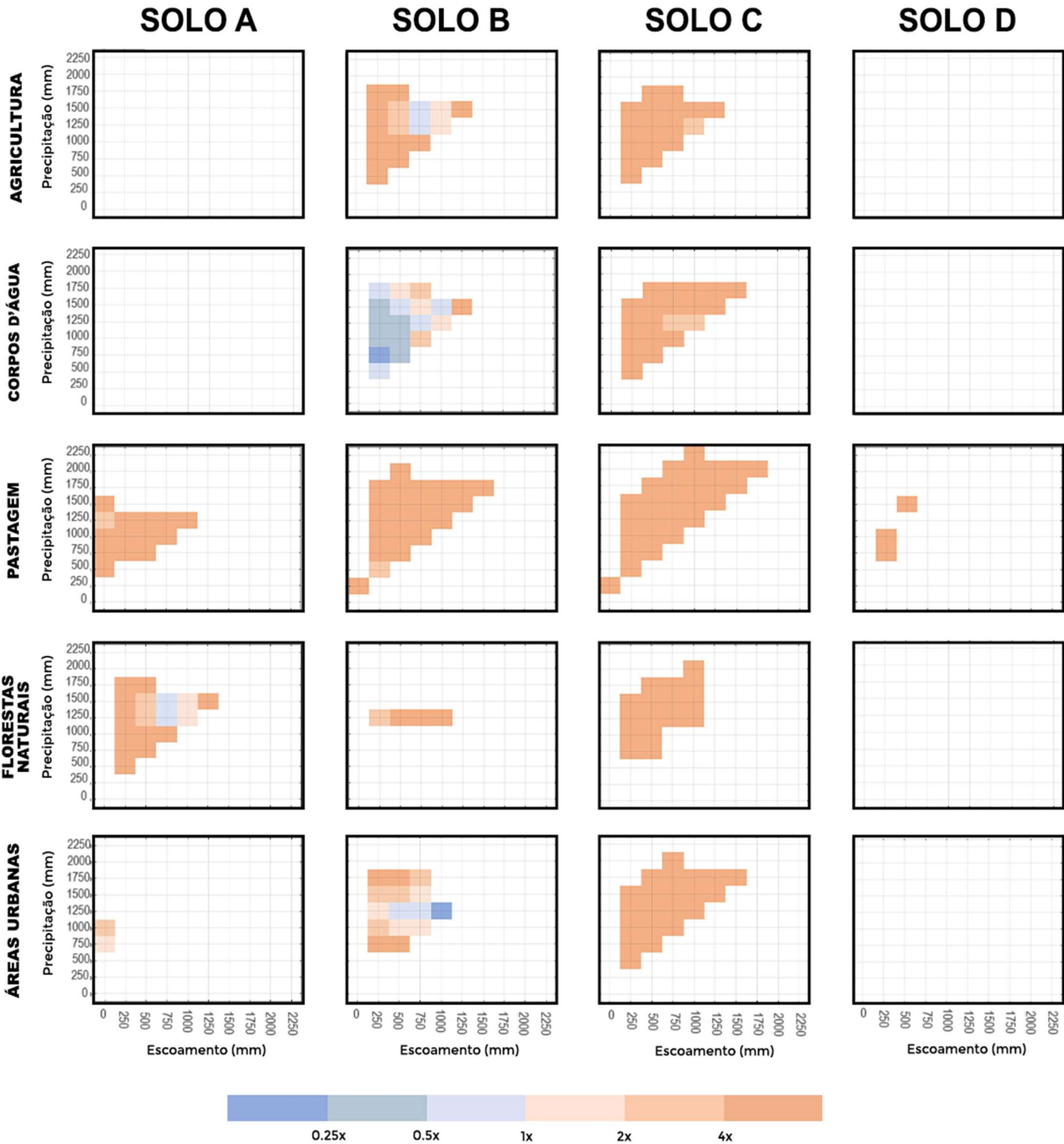
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2009



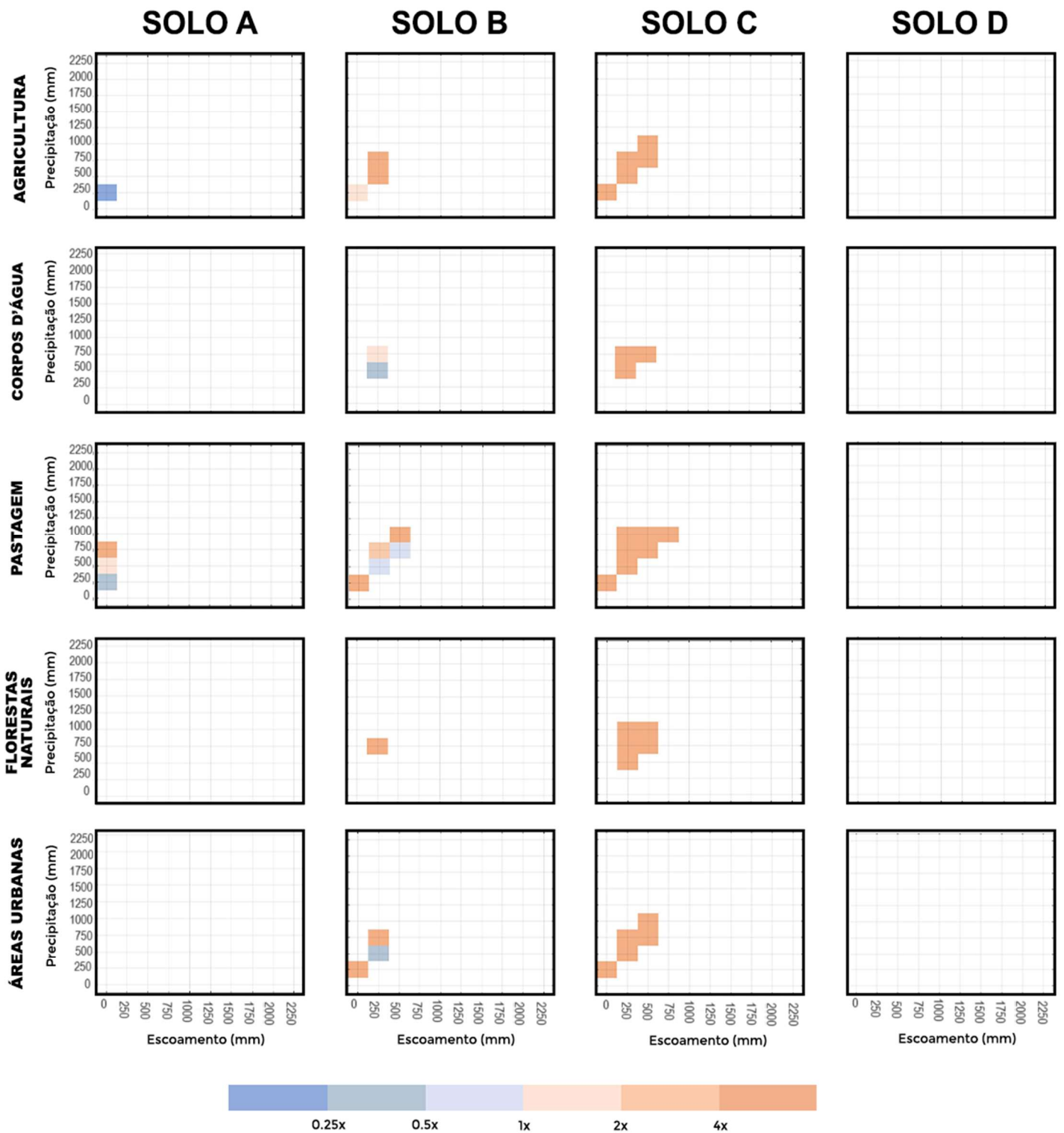
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2010



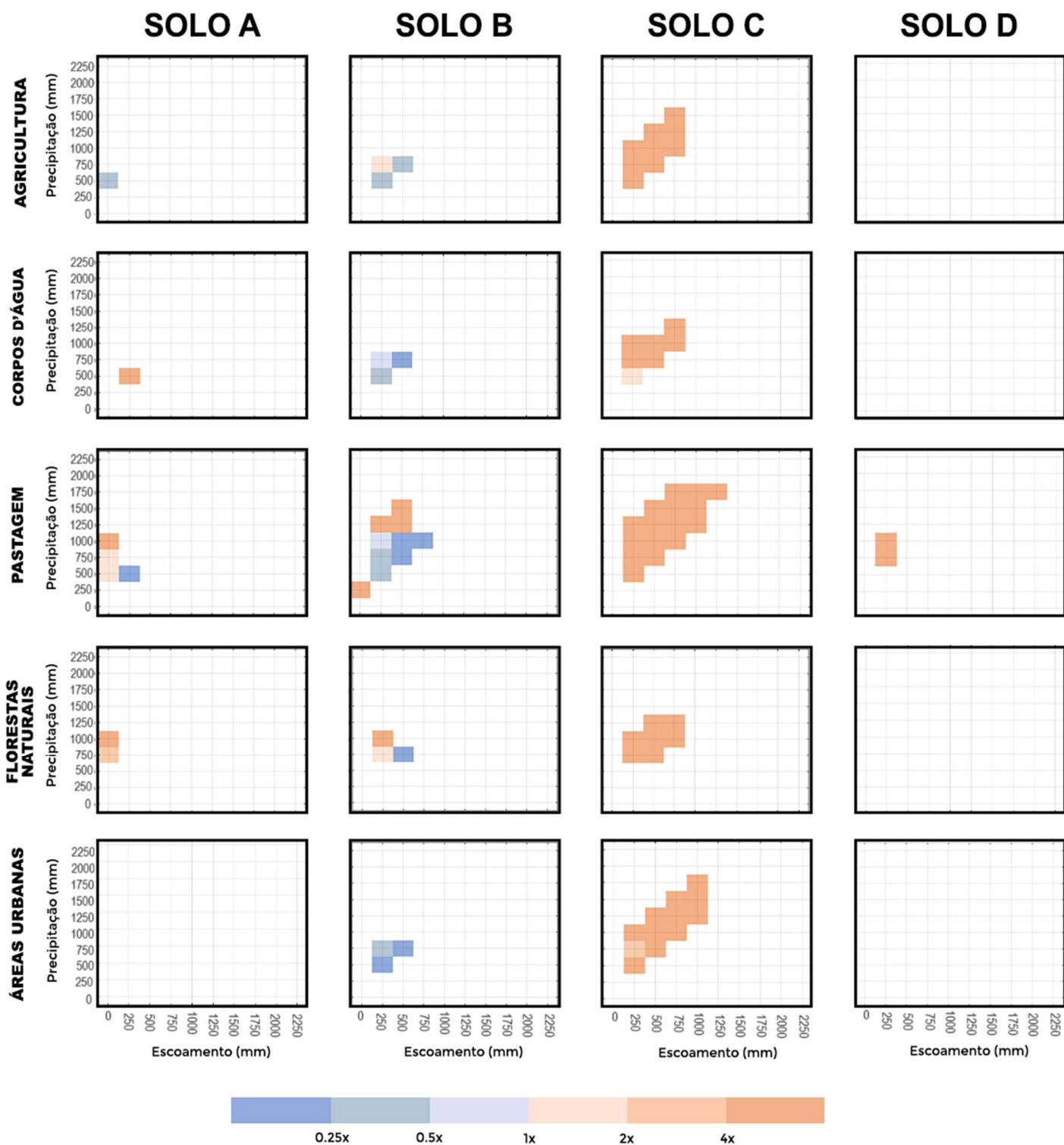
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2011



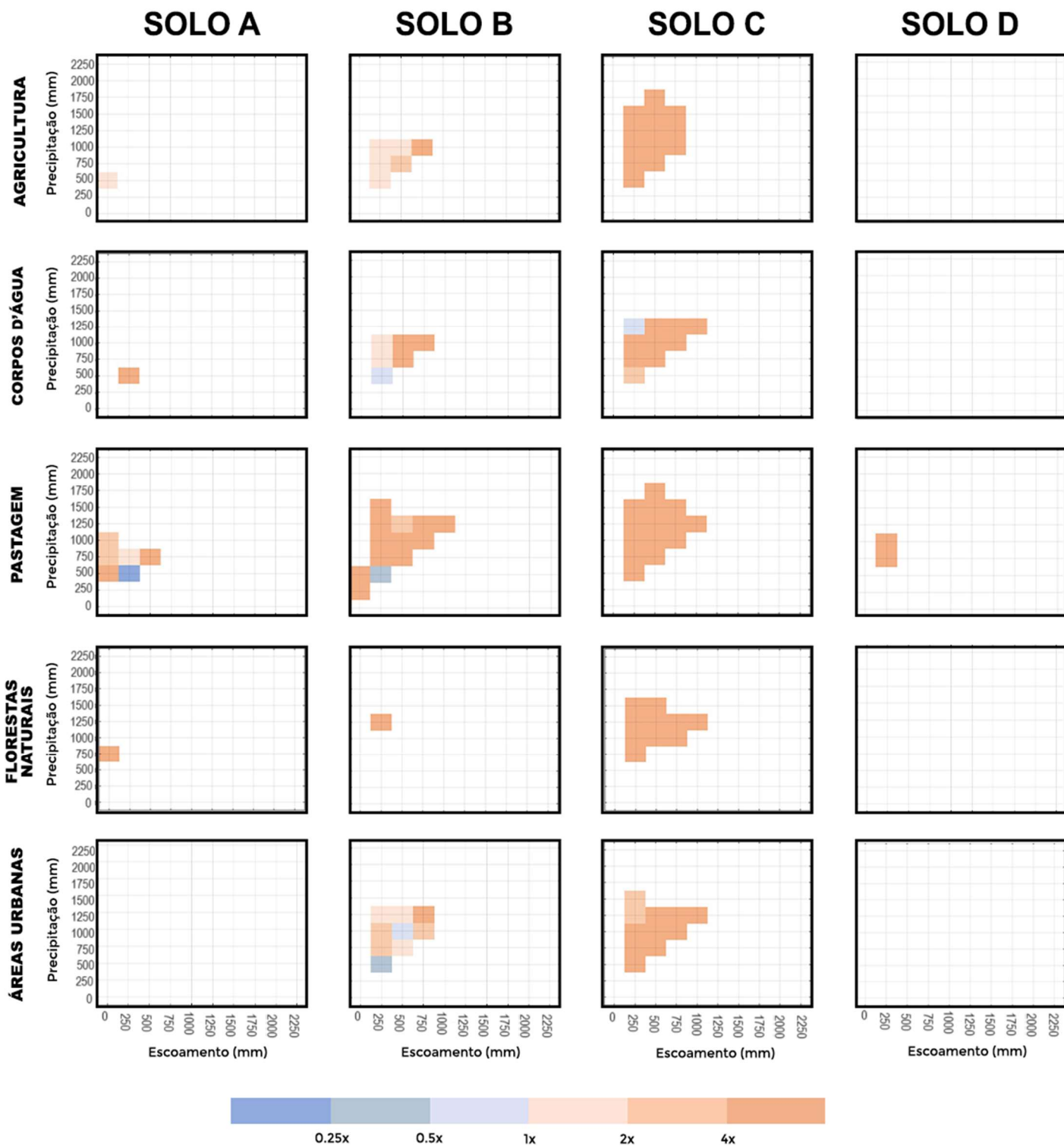
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2012



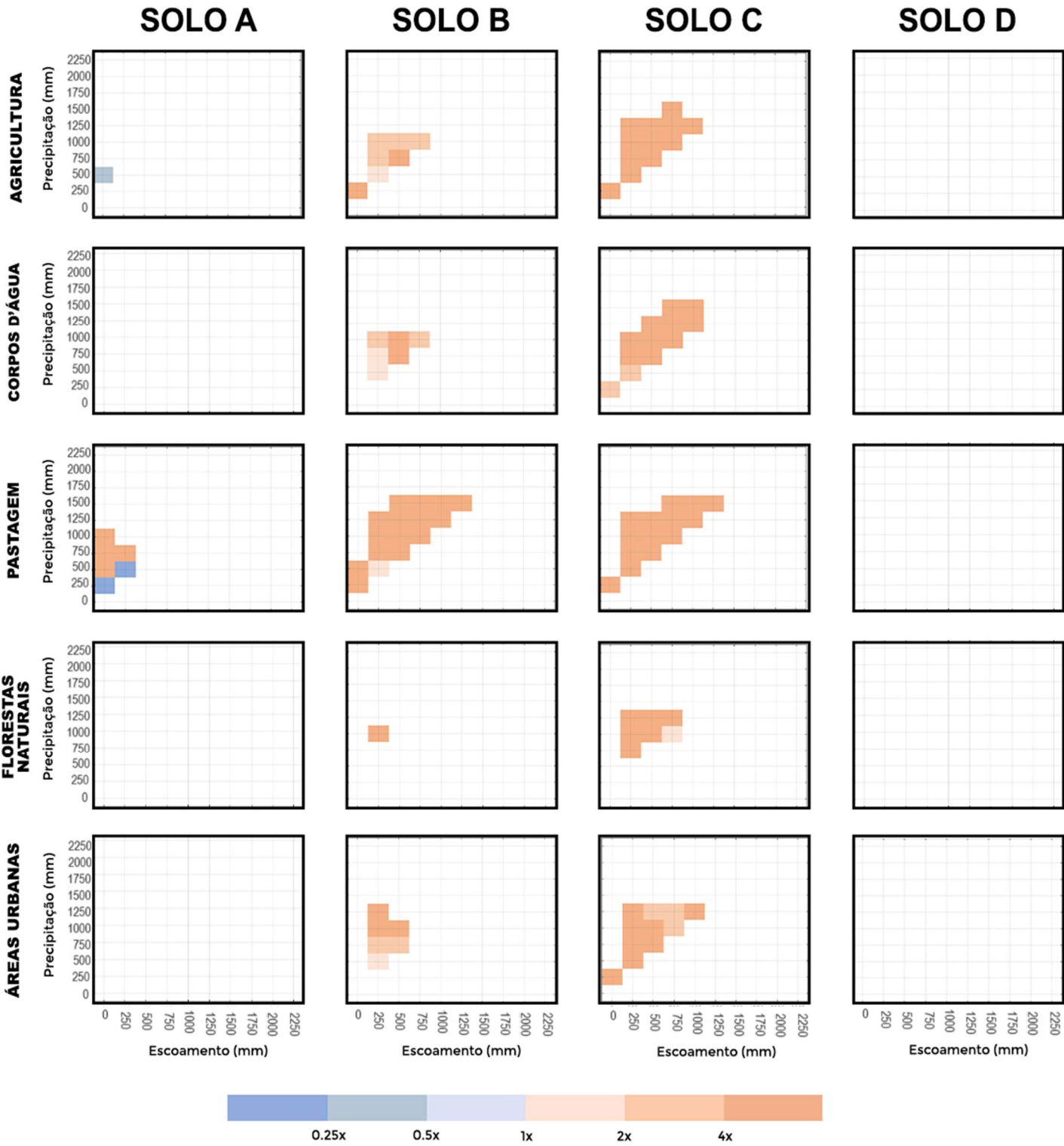
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2013



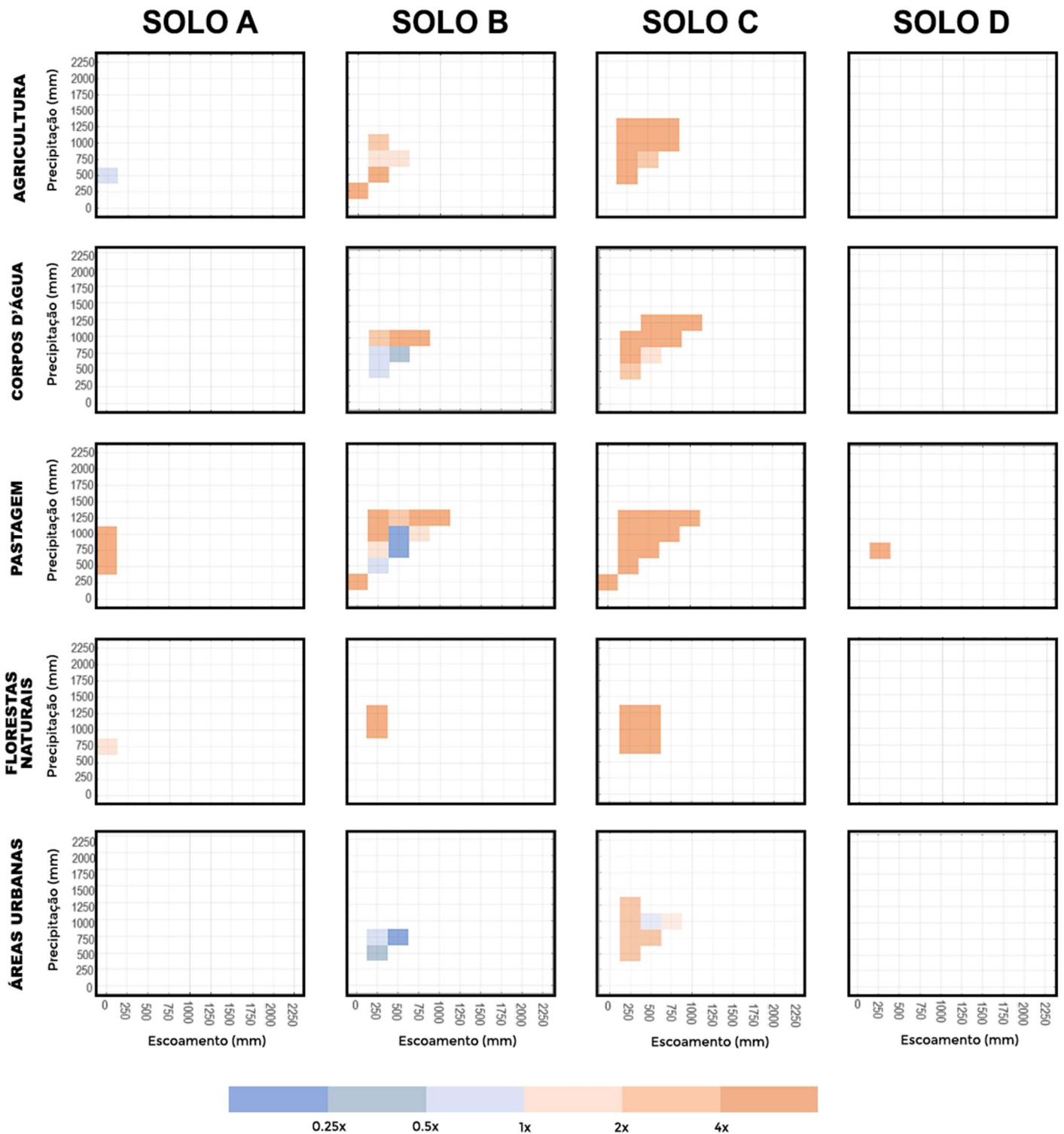
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2014



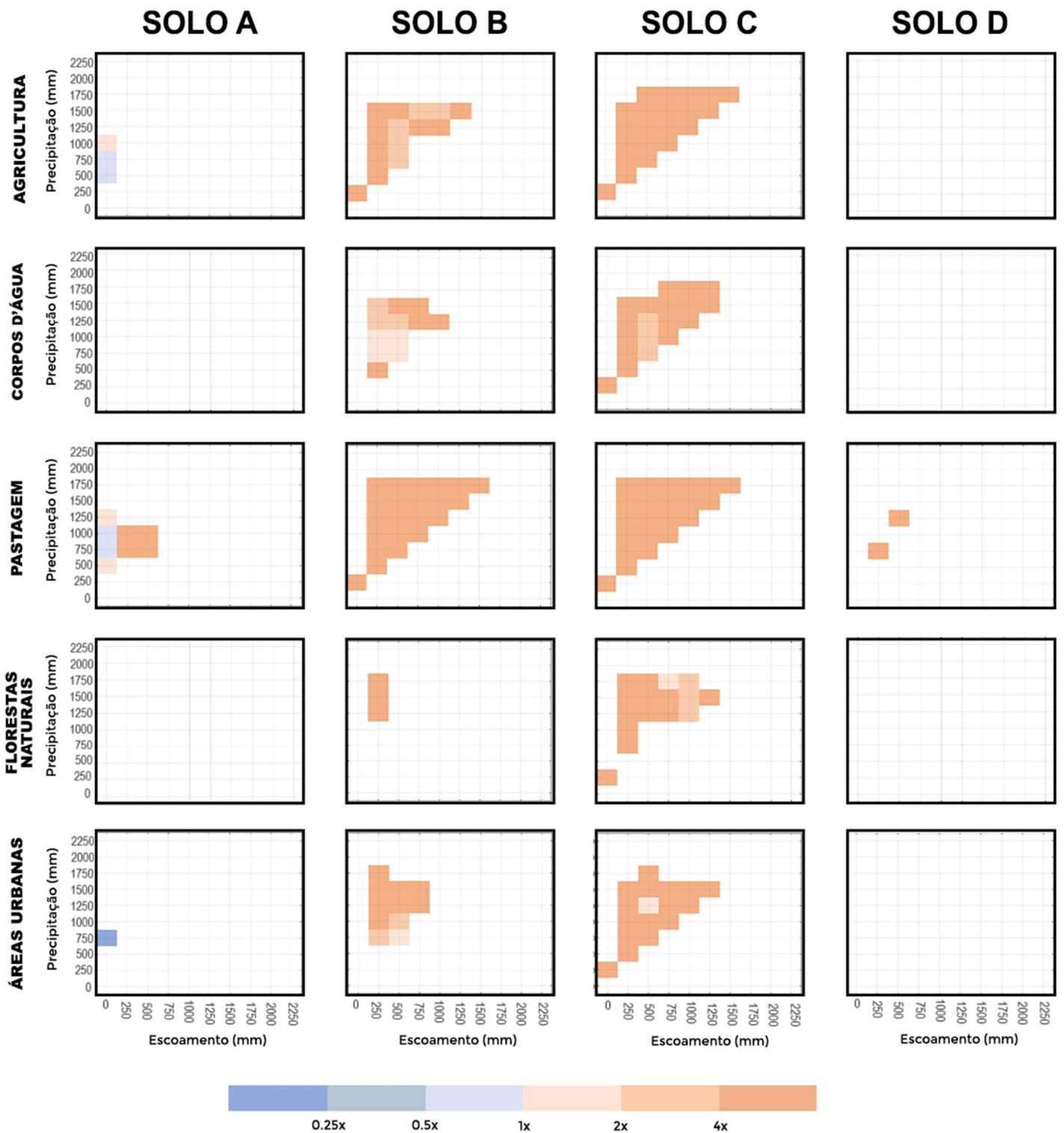
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2015



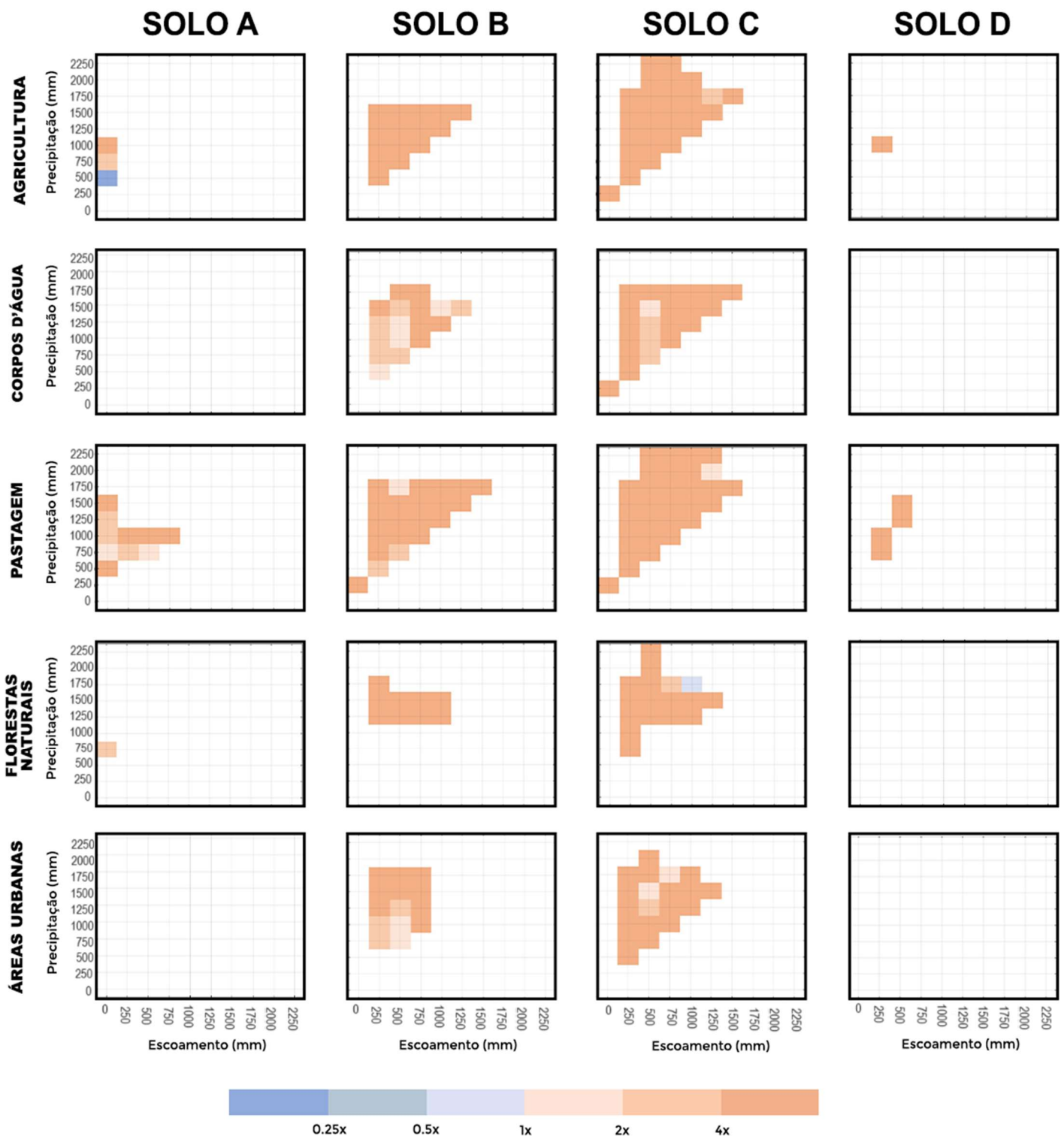
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2016



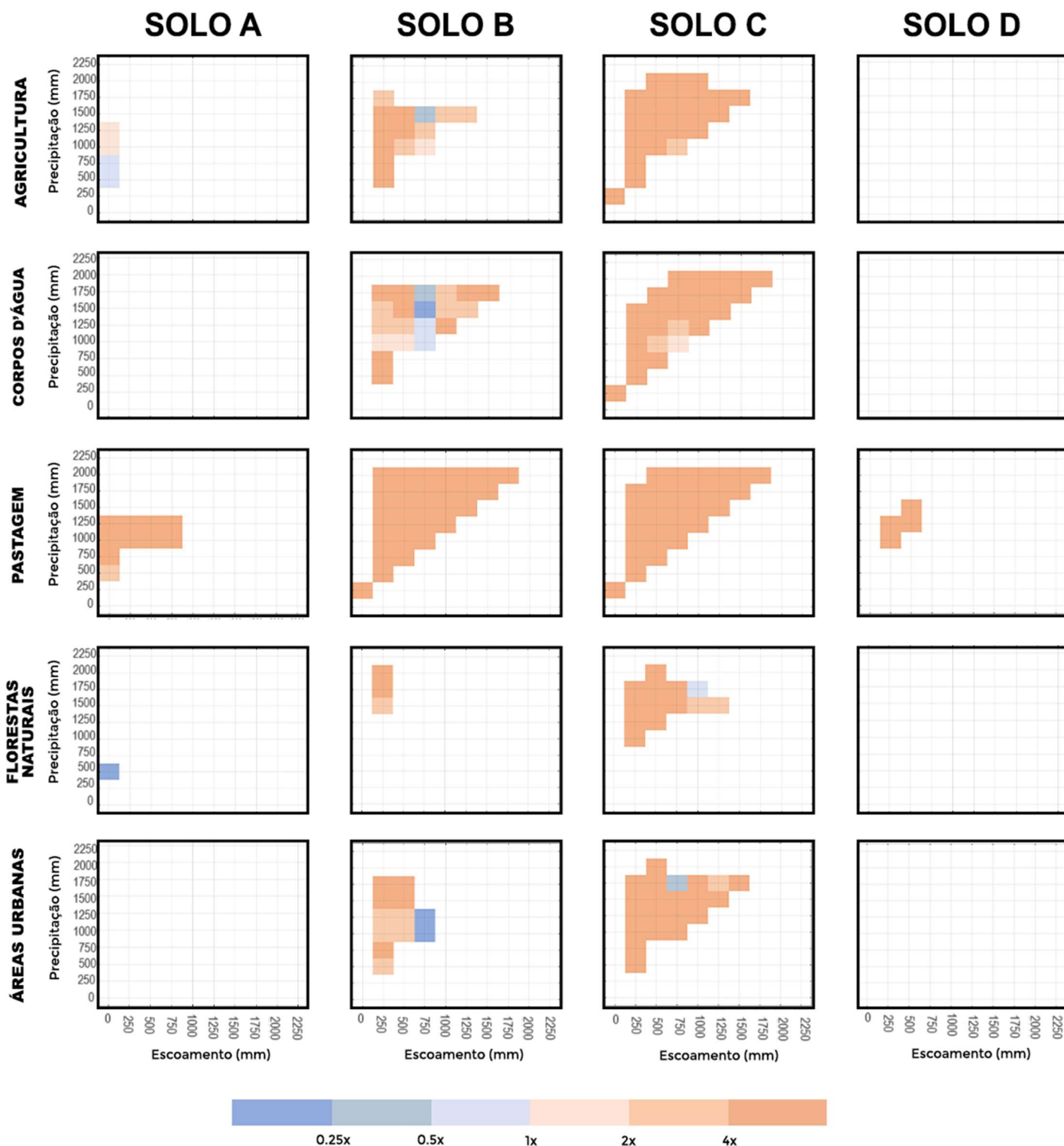
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2017



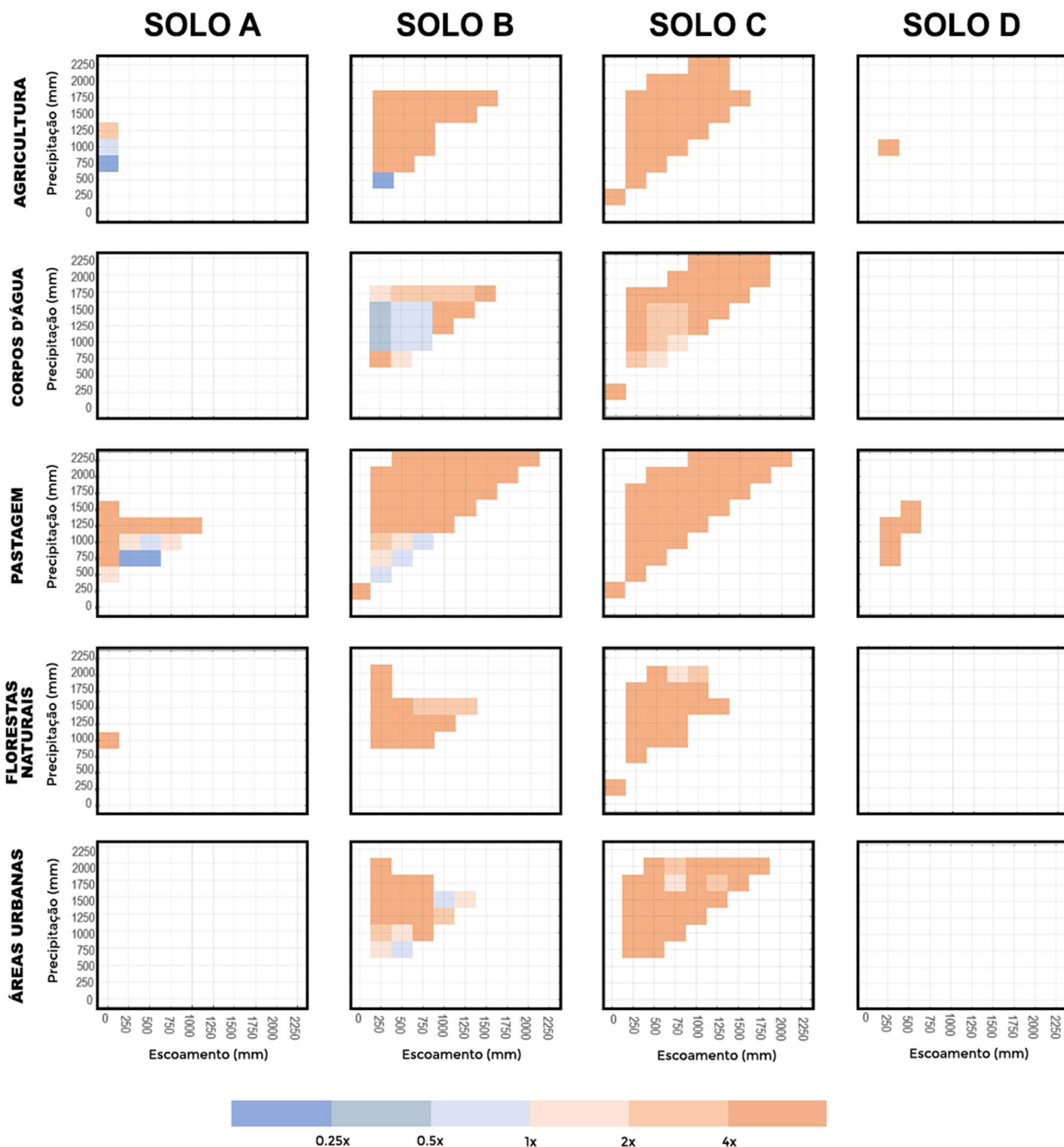
Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2018



Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2019

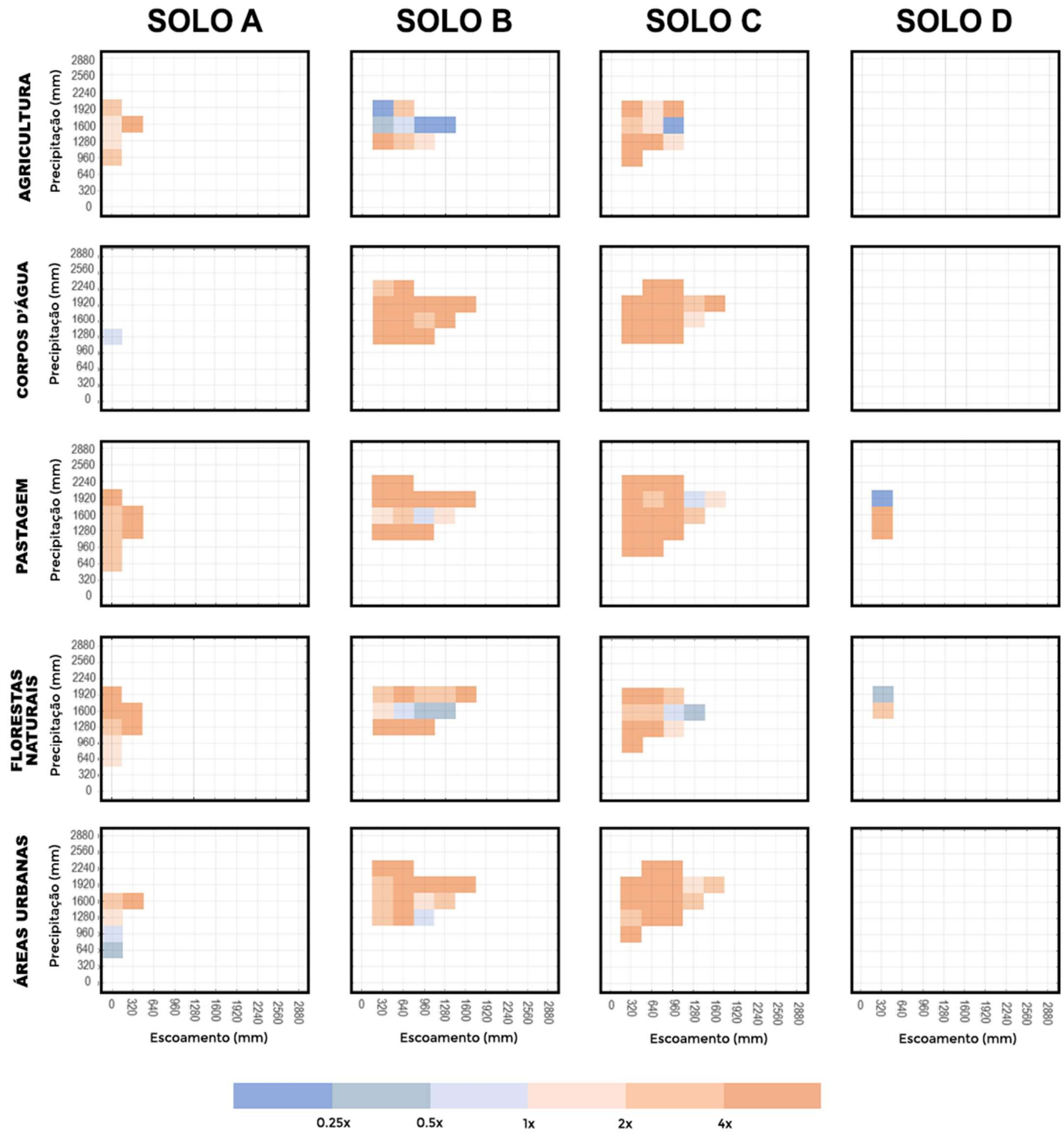


Teste de Fisher - Bioma Caatinga 2020

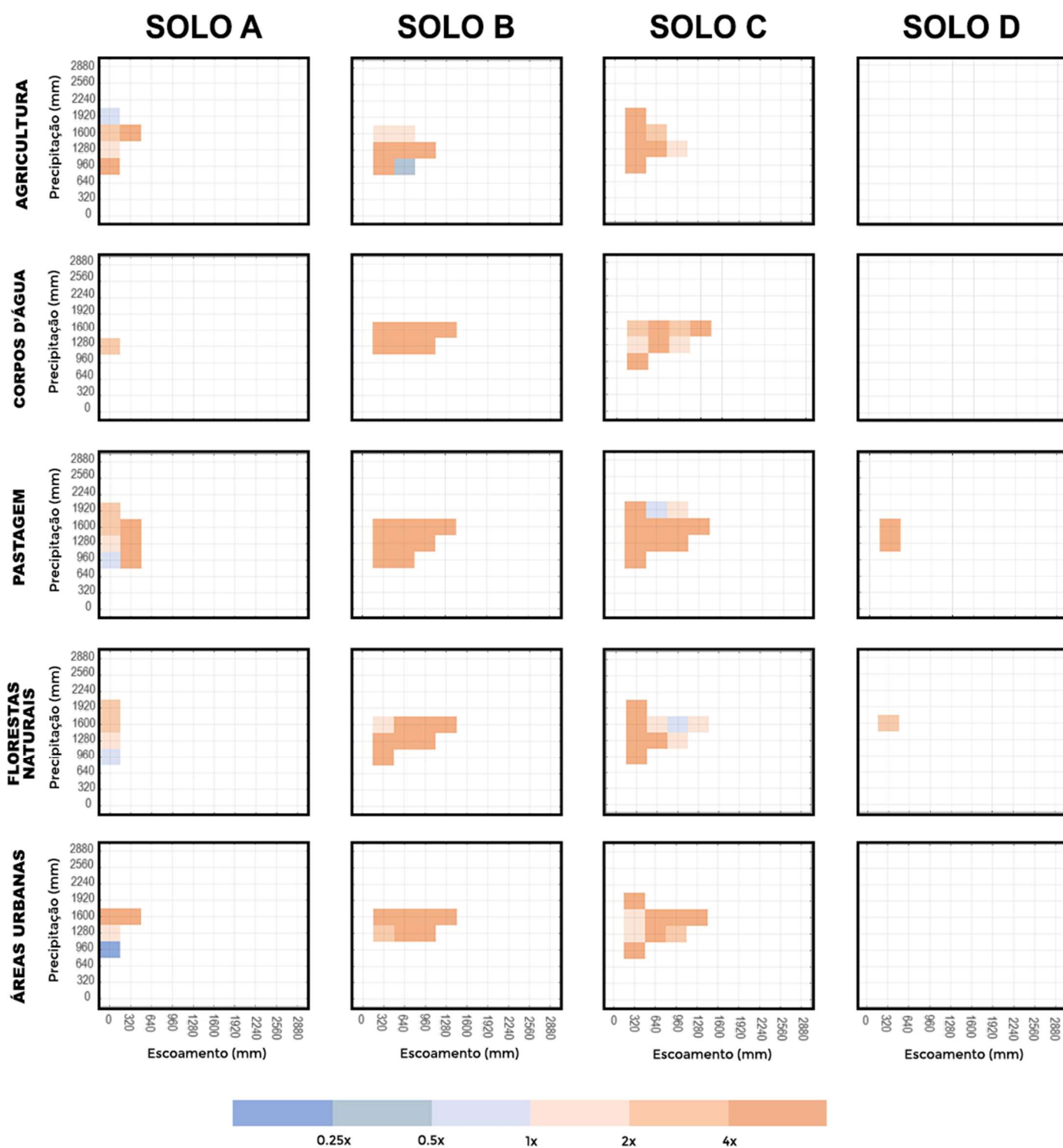


9.3 Teste de Fisher – Bioma Cerrado

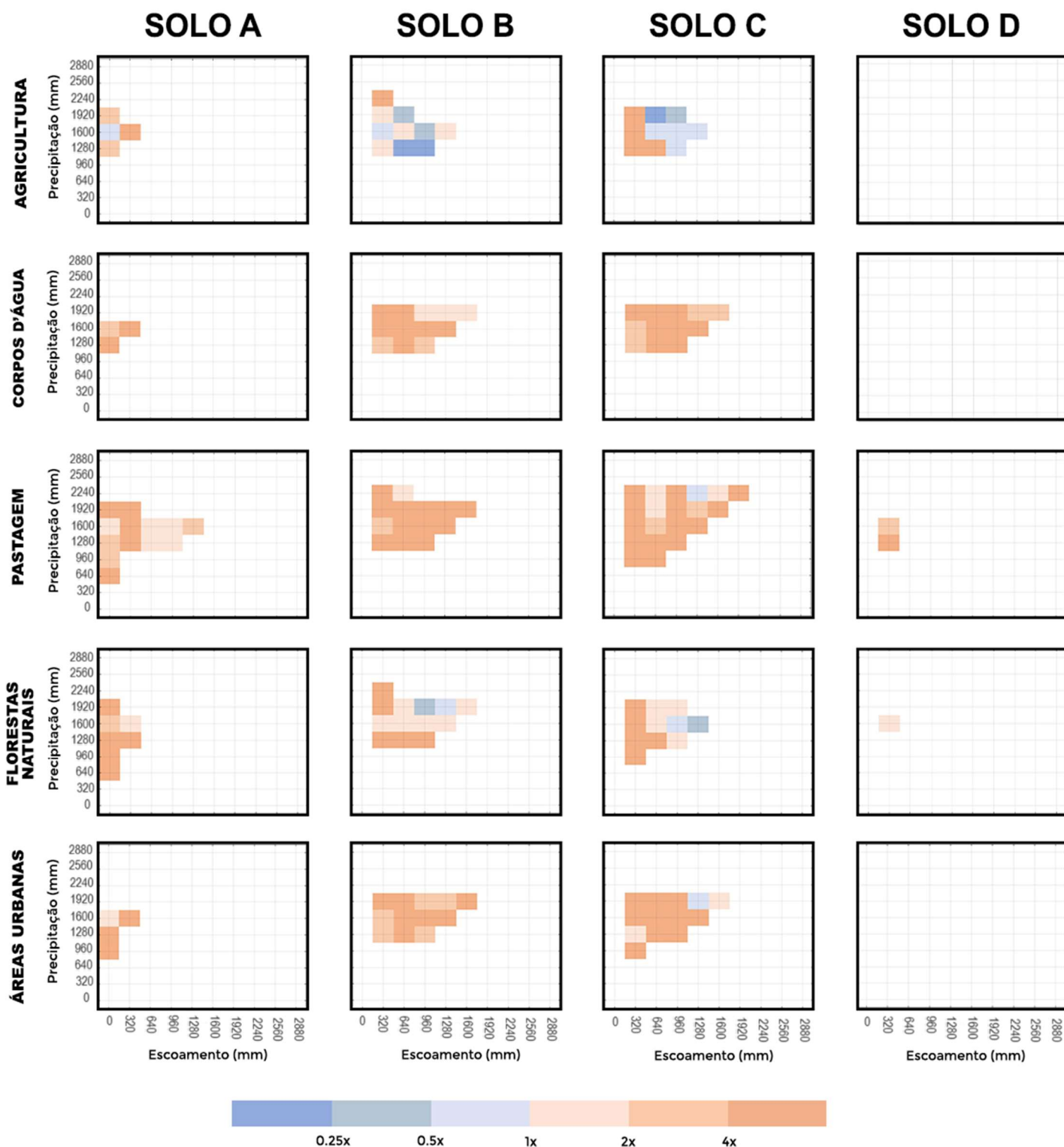
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2001



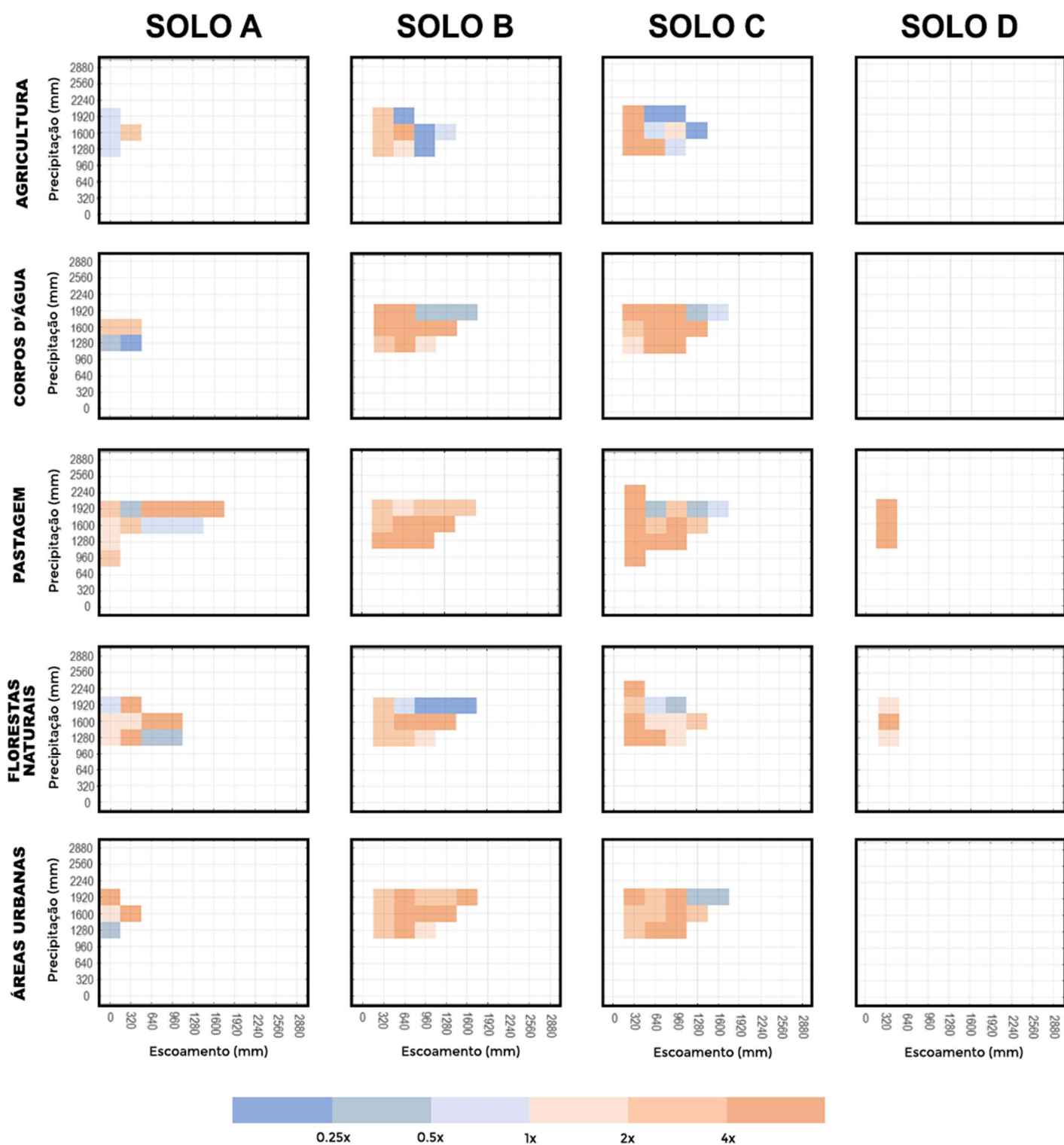
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2002



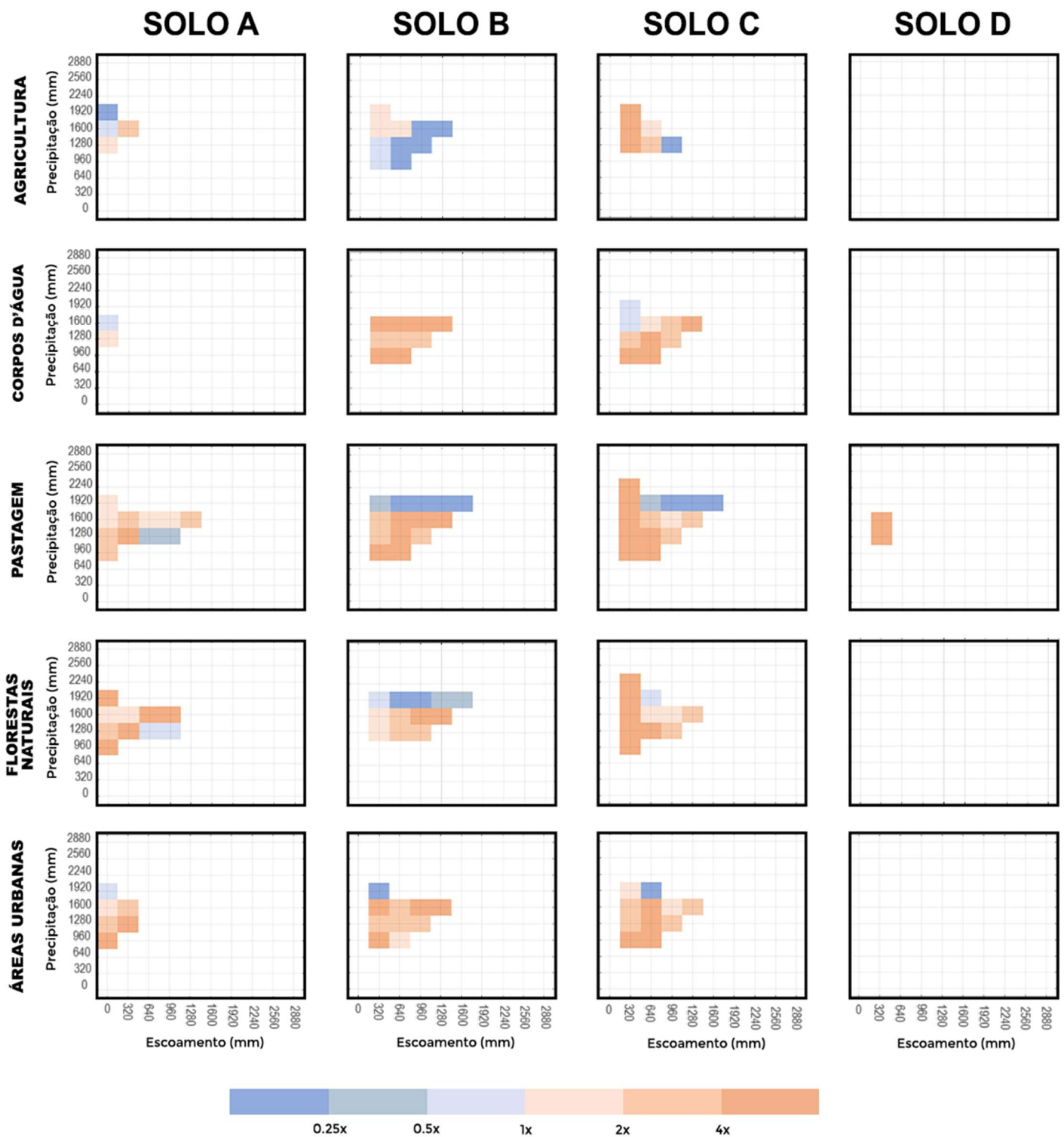
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2003



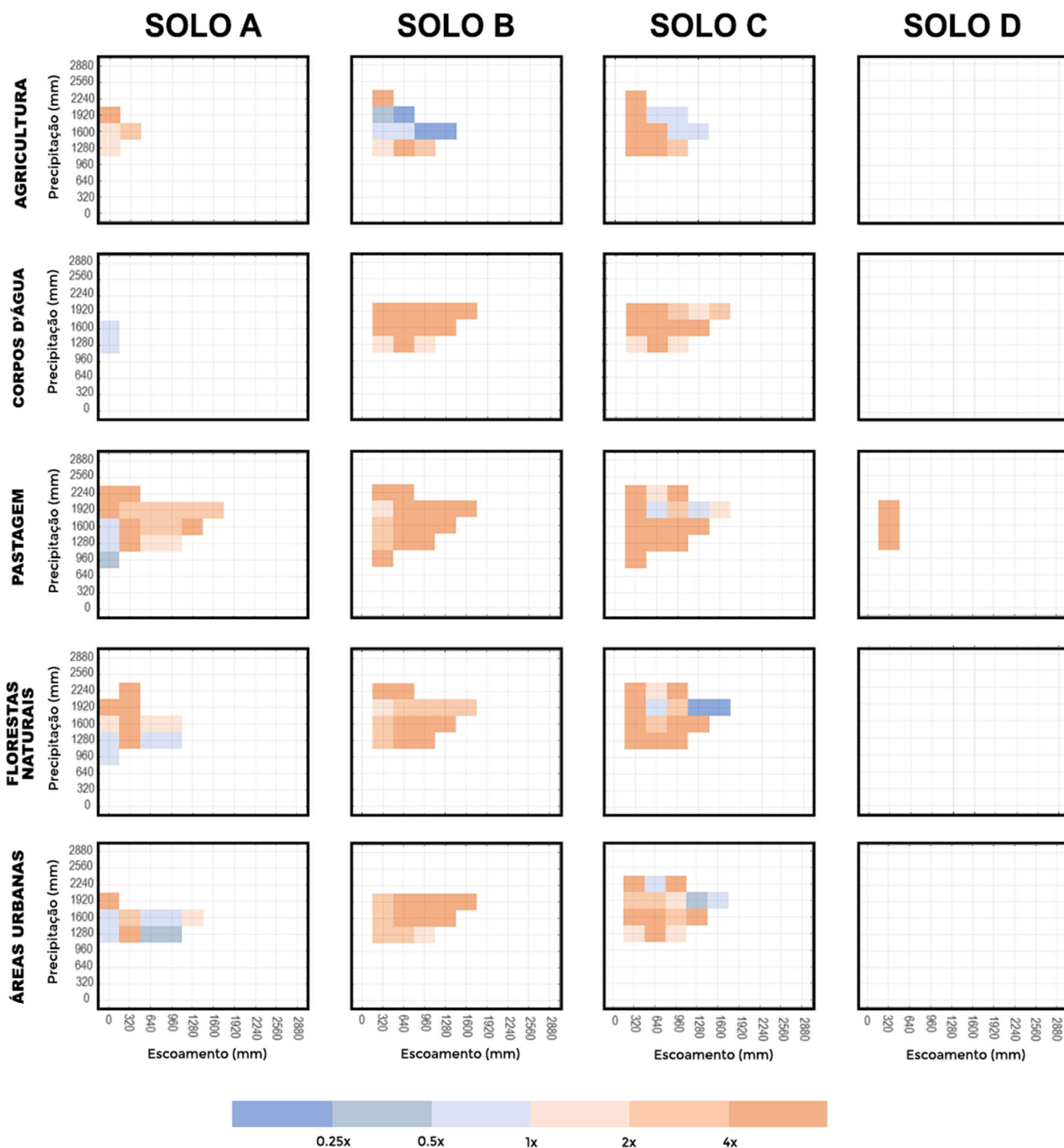
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2004



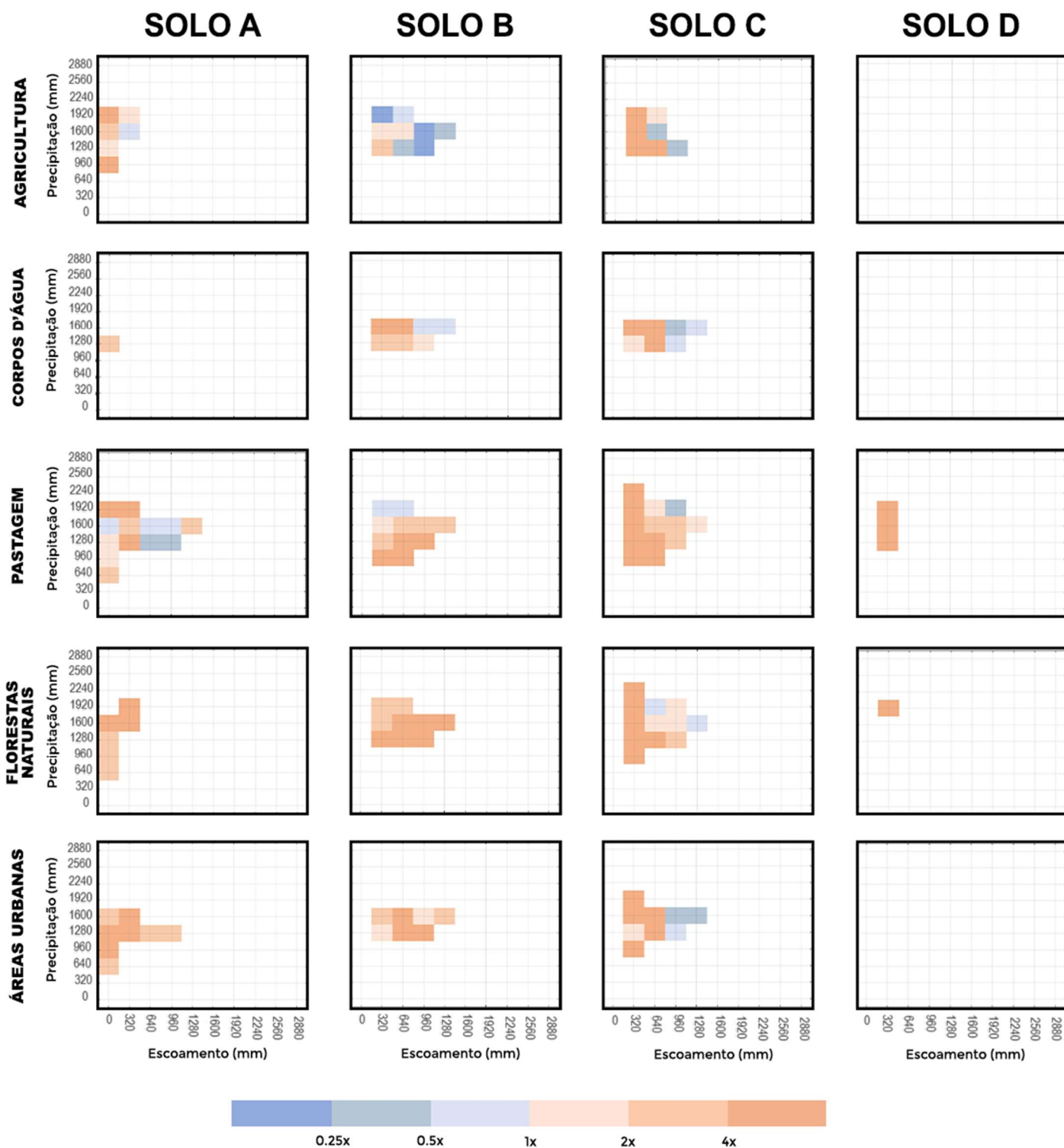
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2005



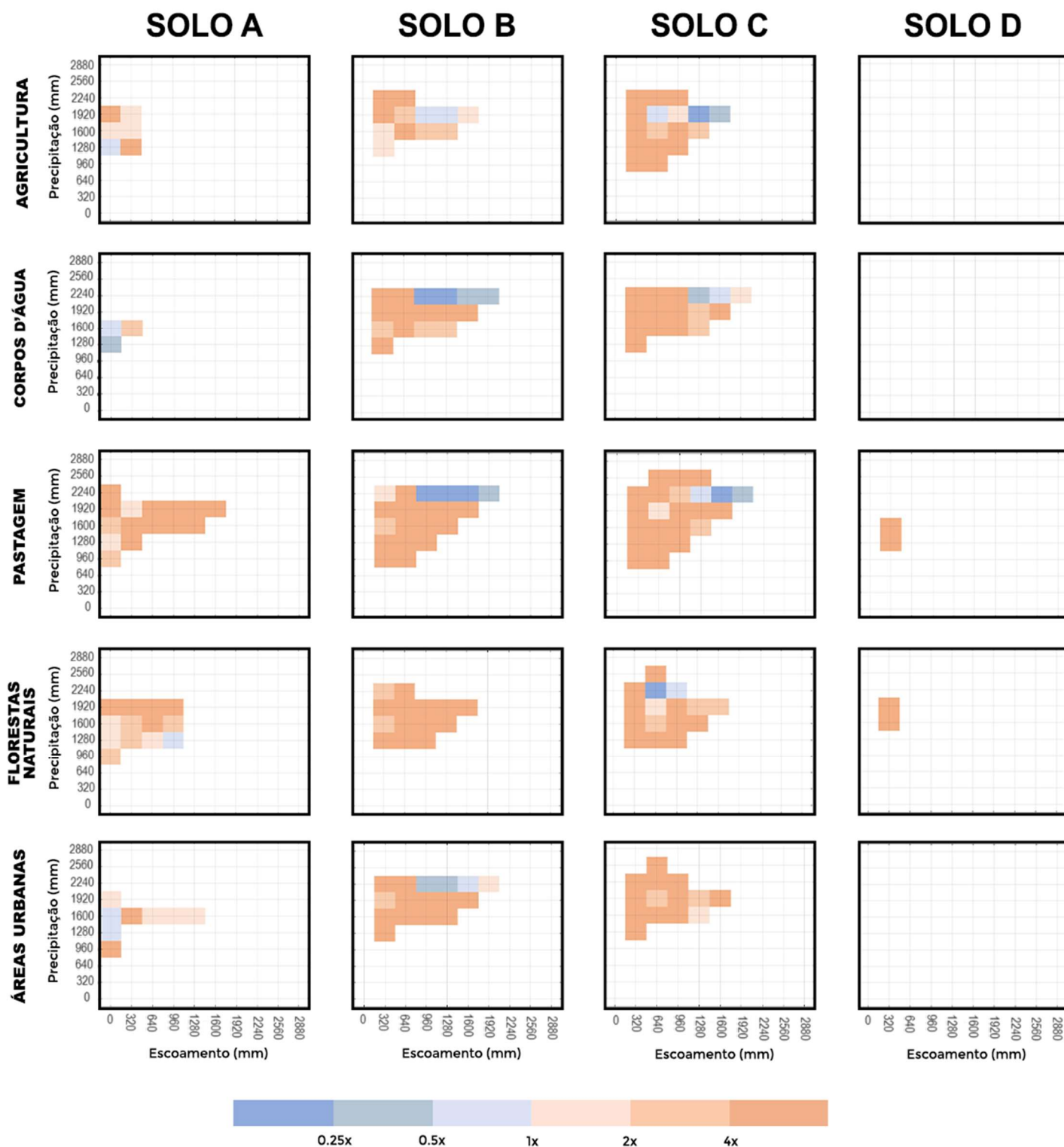
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2006



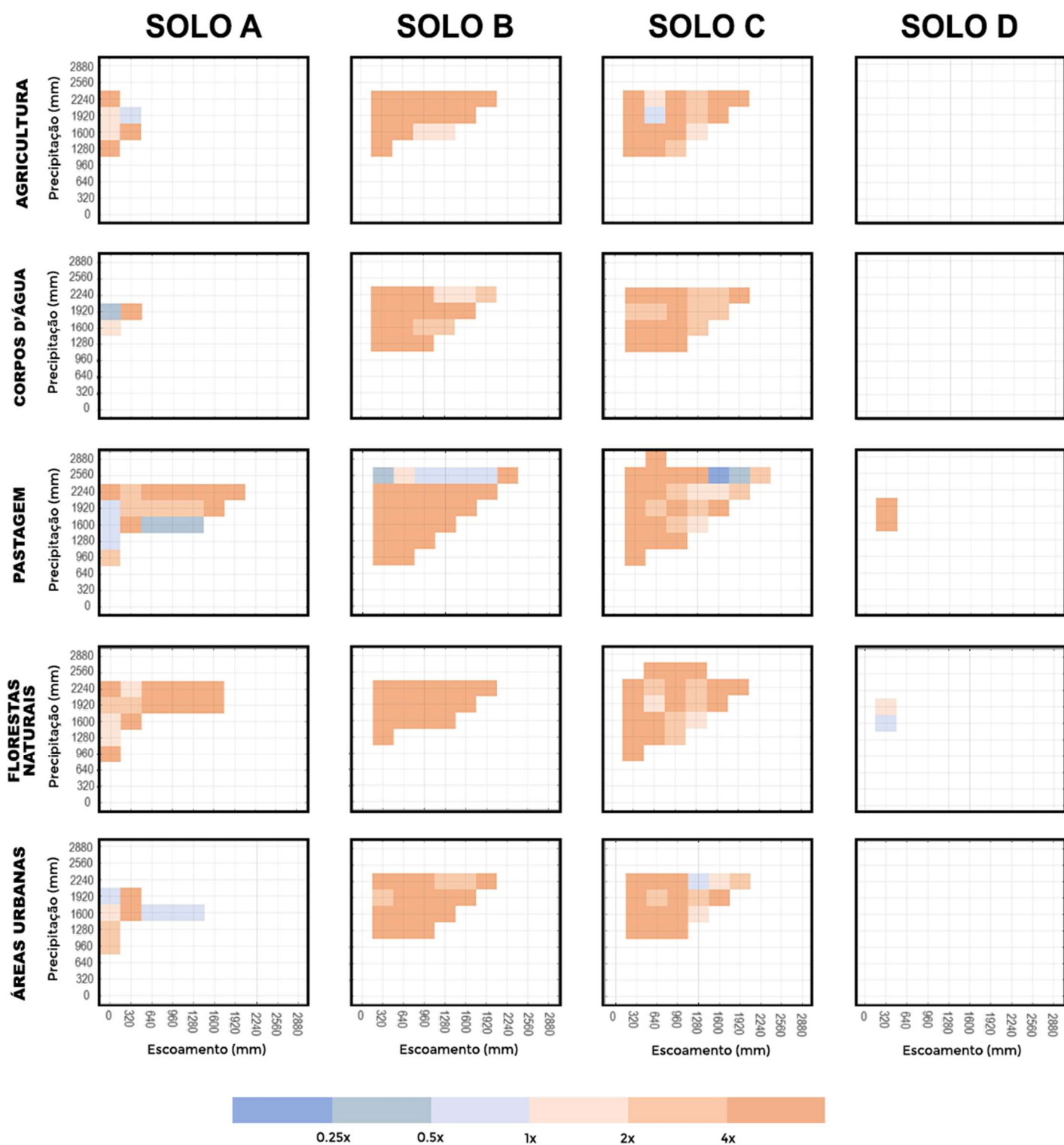
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2007



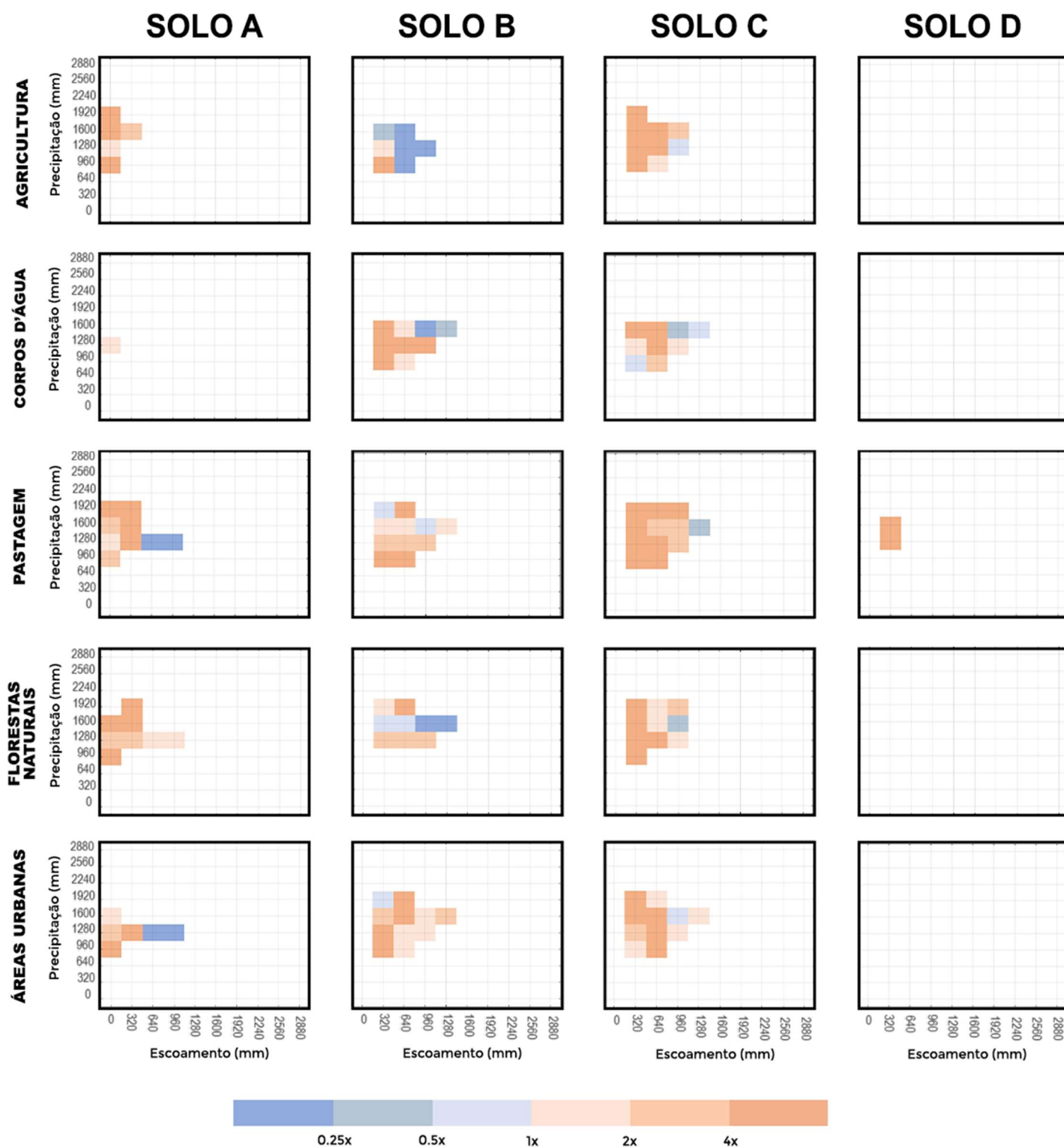
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2008



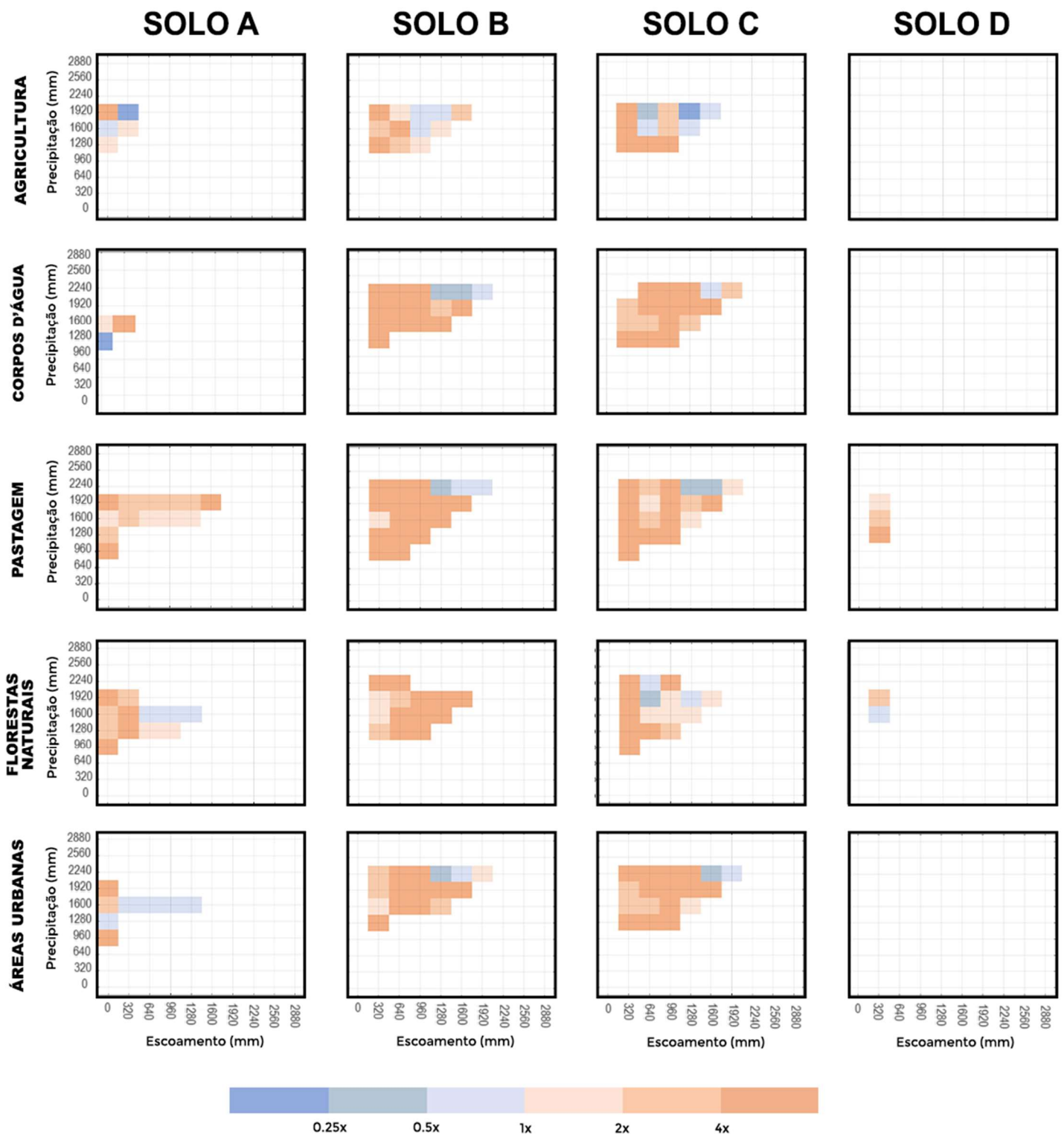
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2009



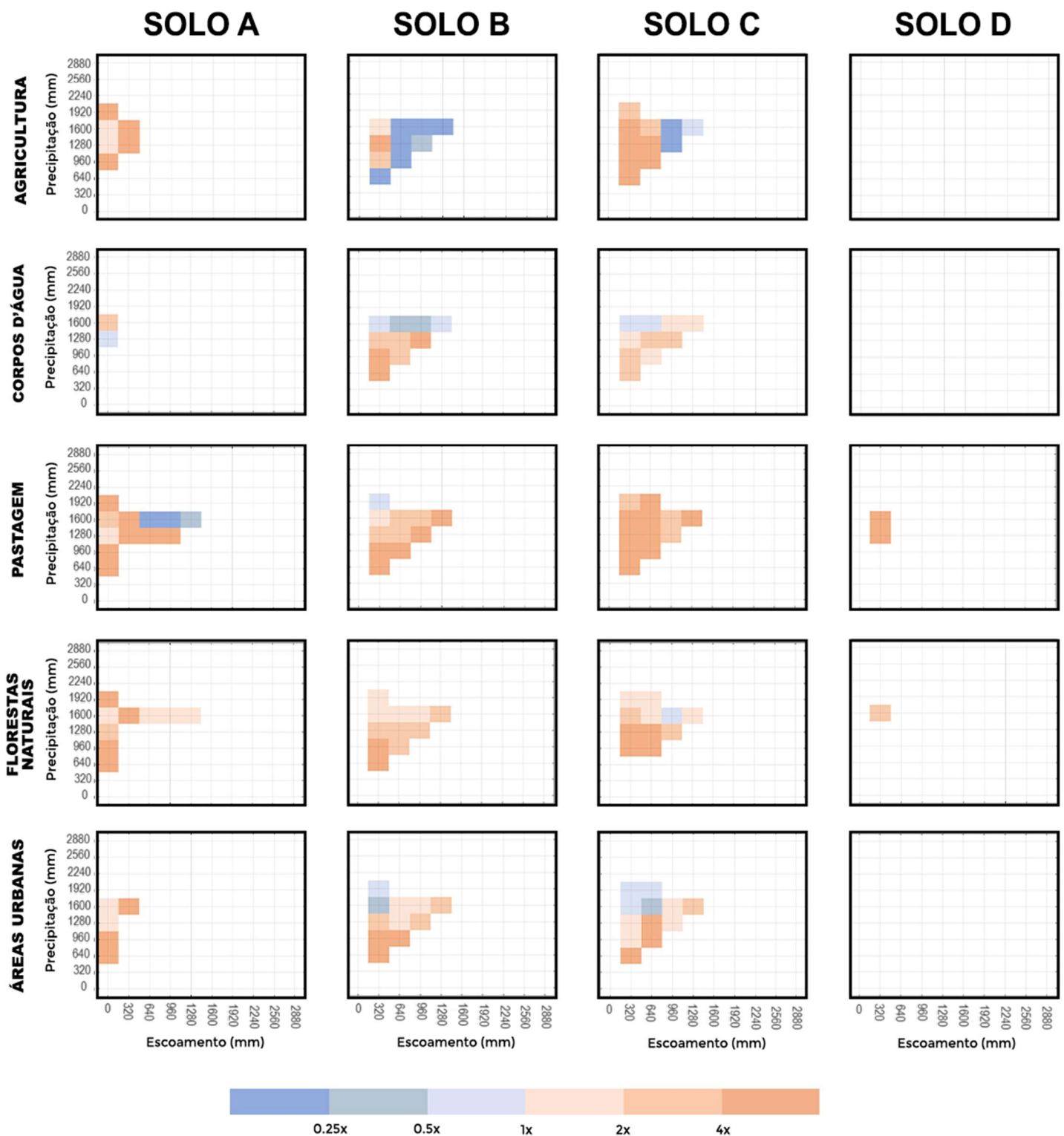
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2010



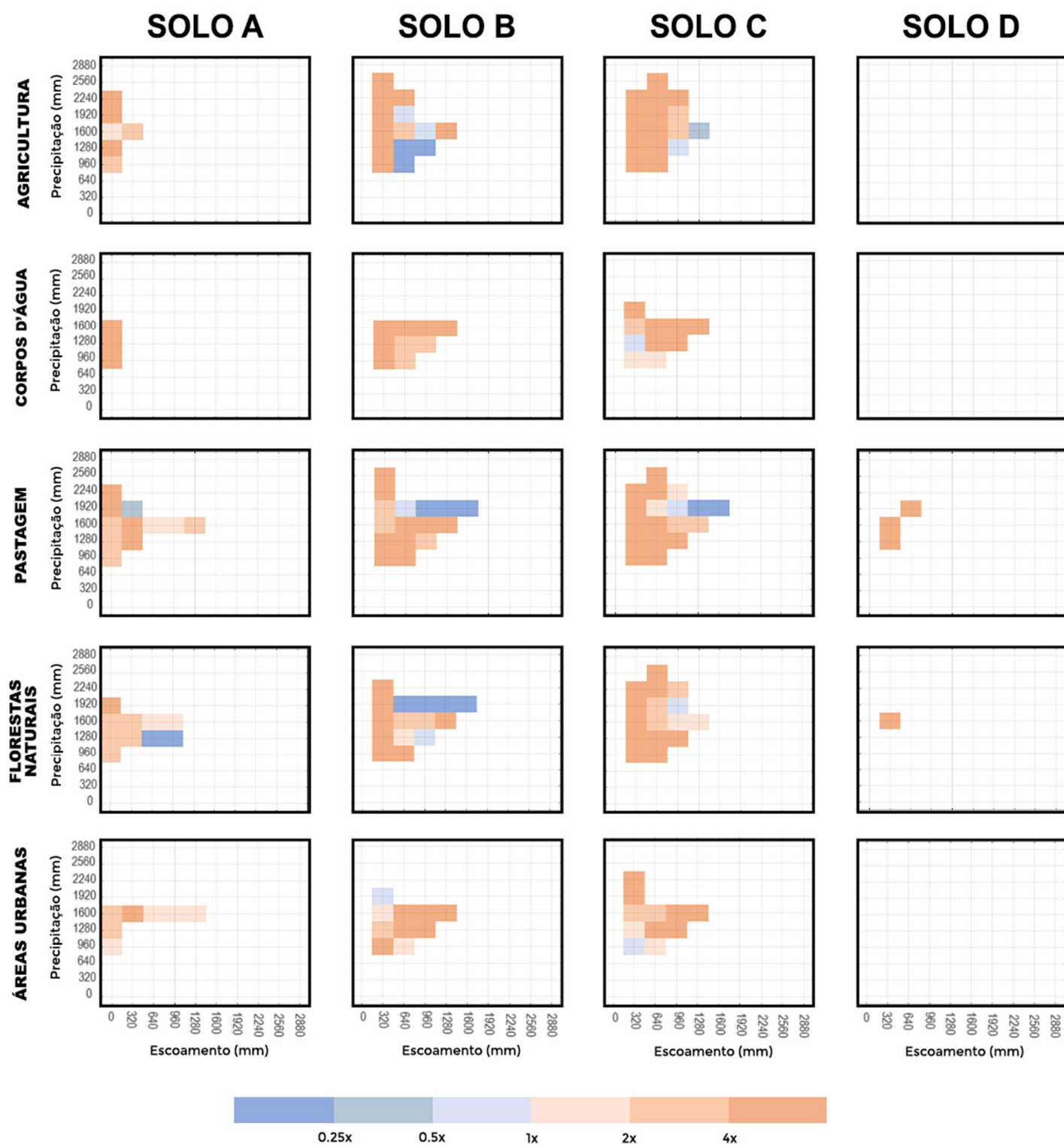
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2011



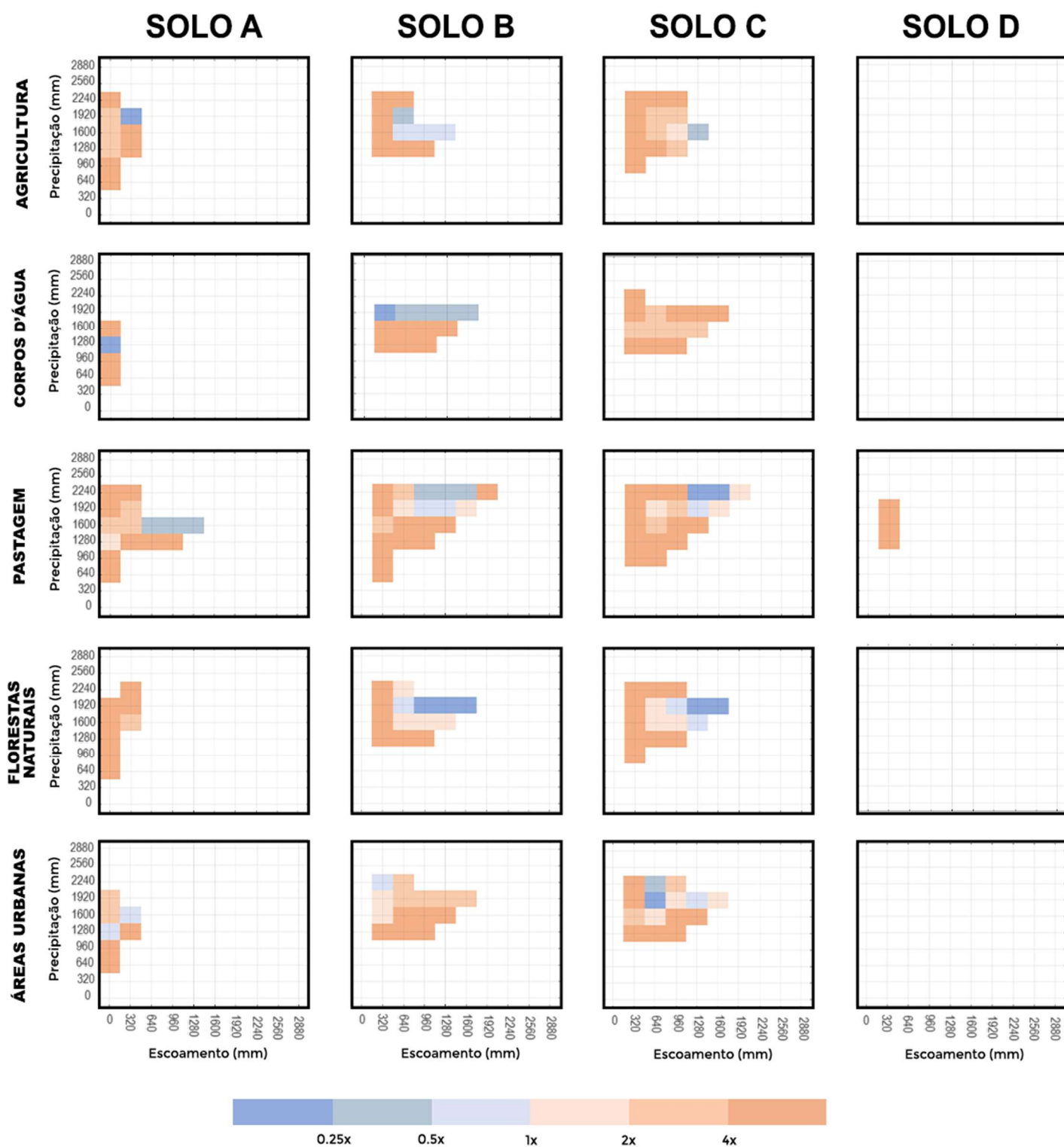
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2012



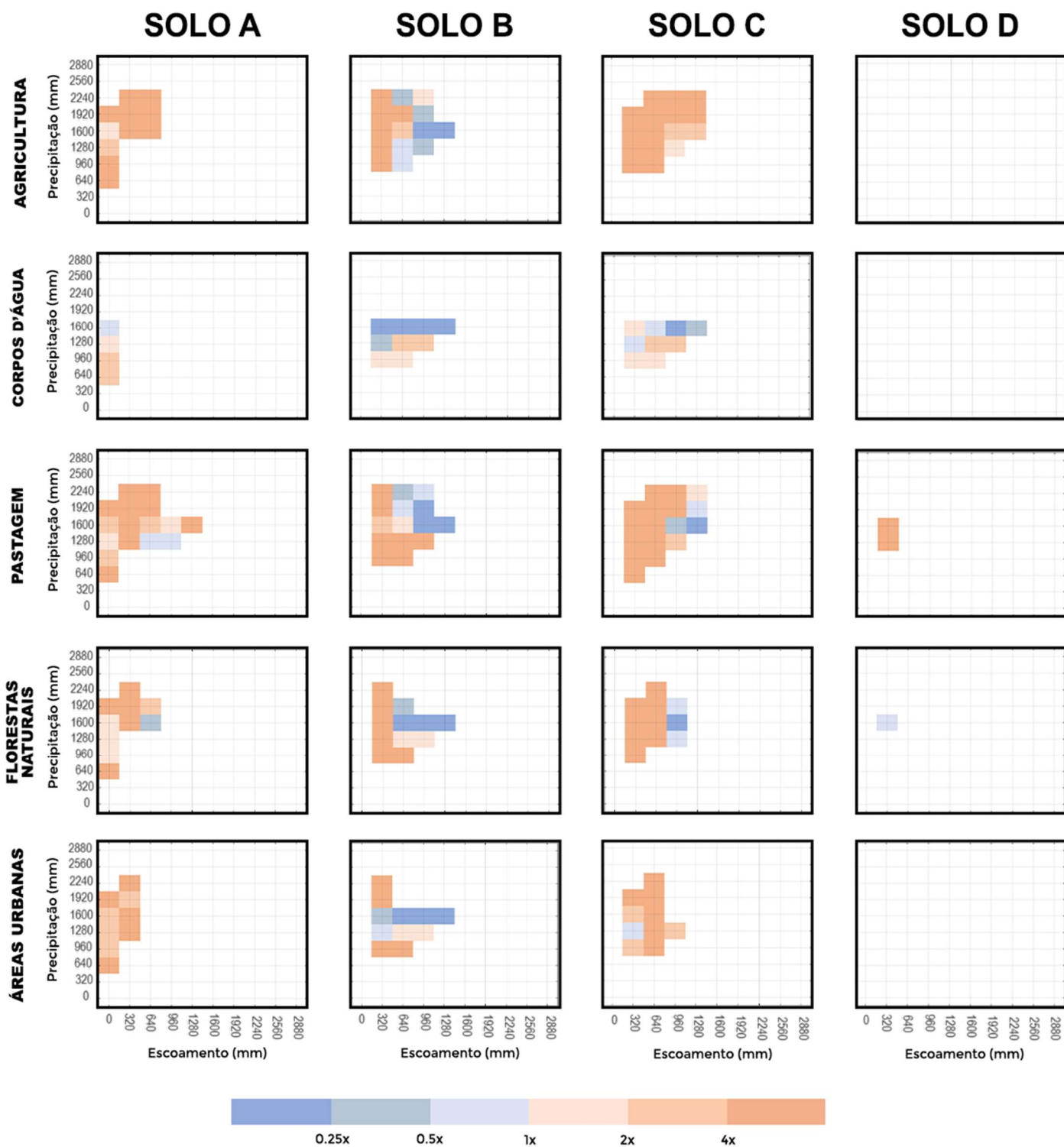
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2013



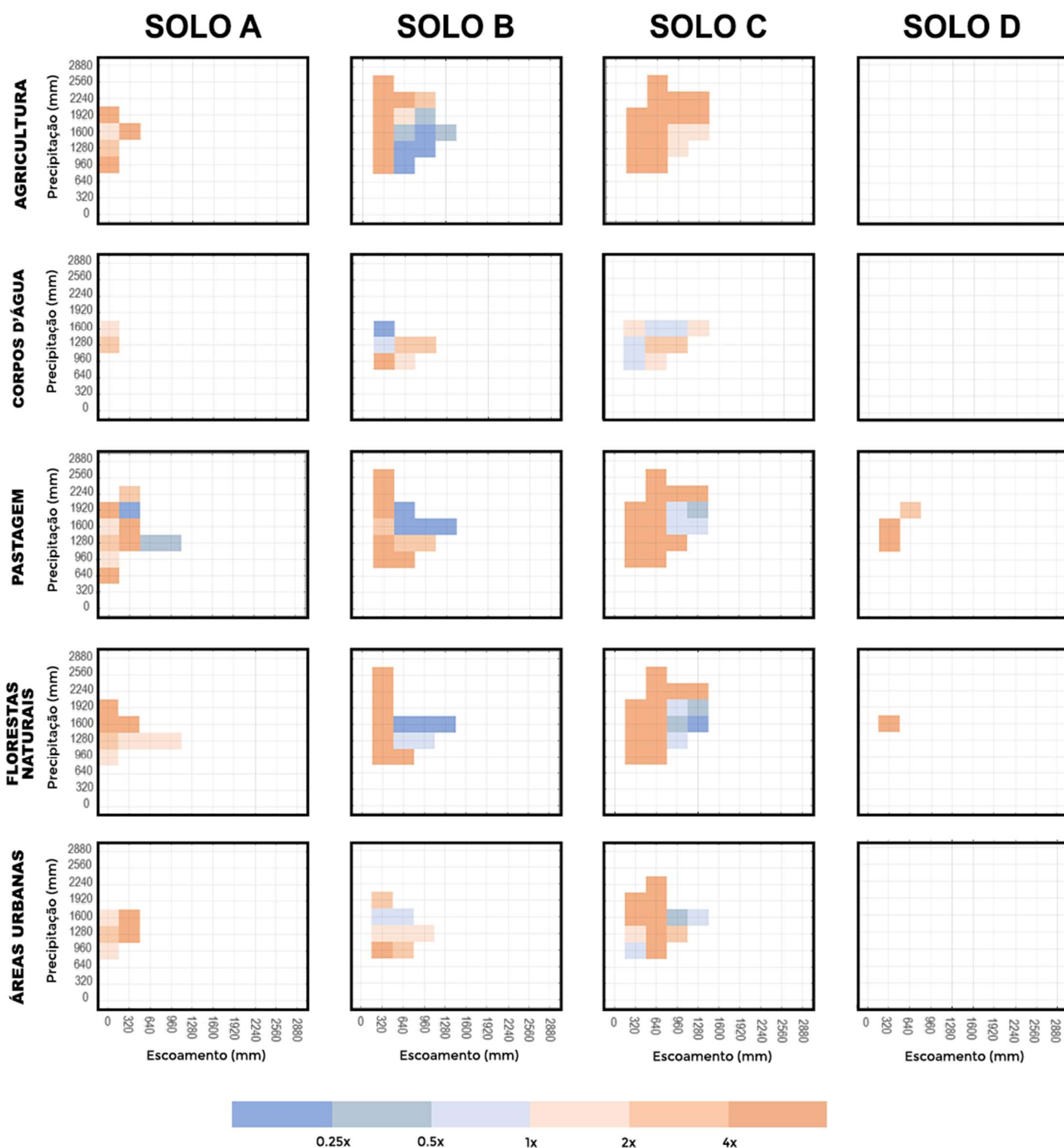
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2014



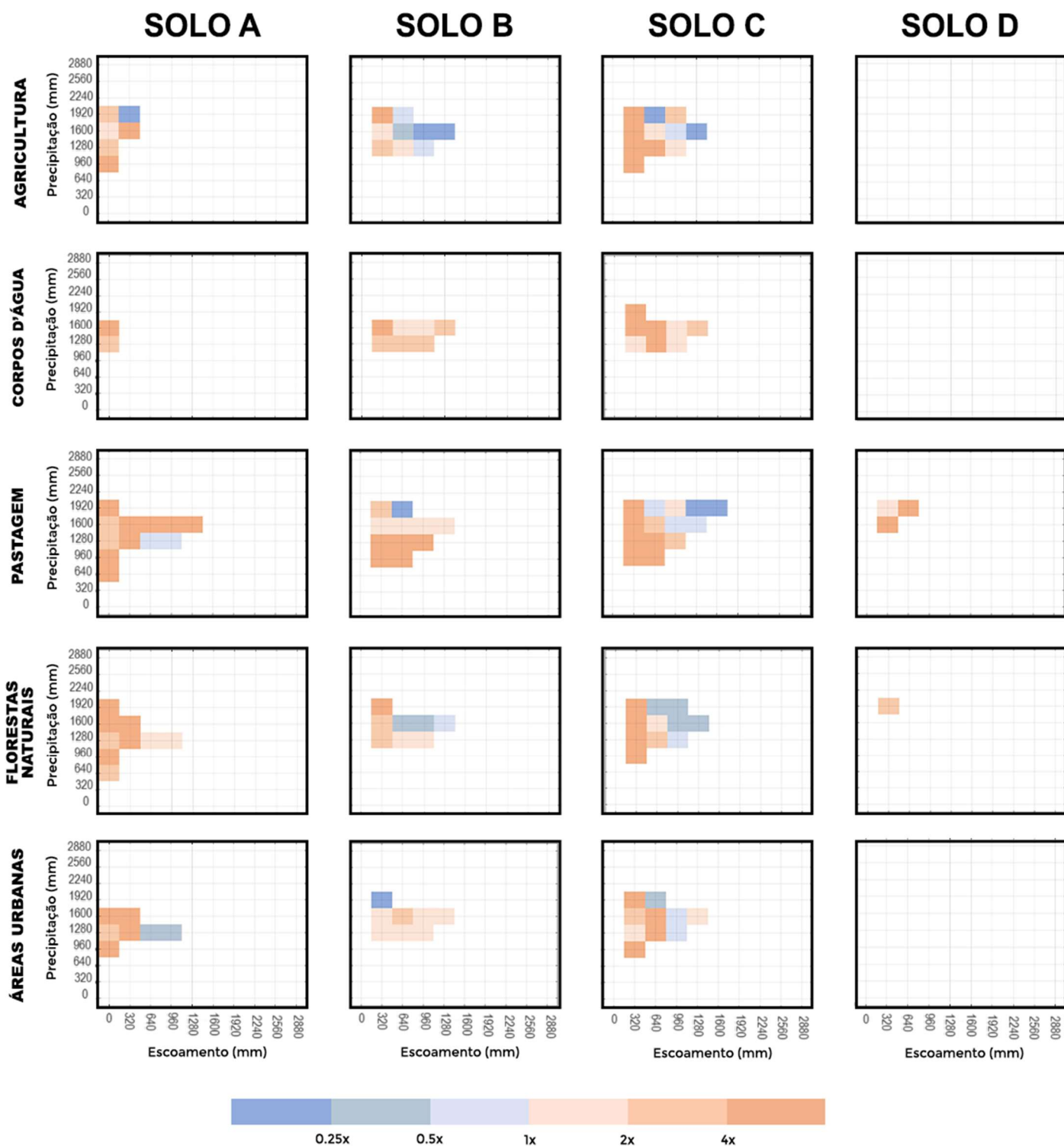
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2015



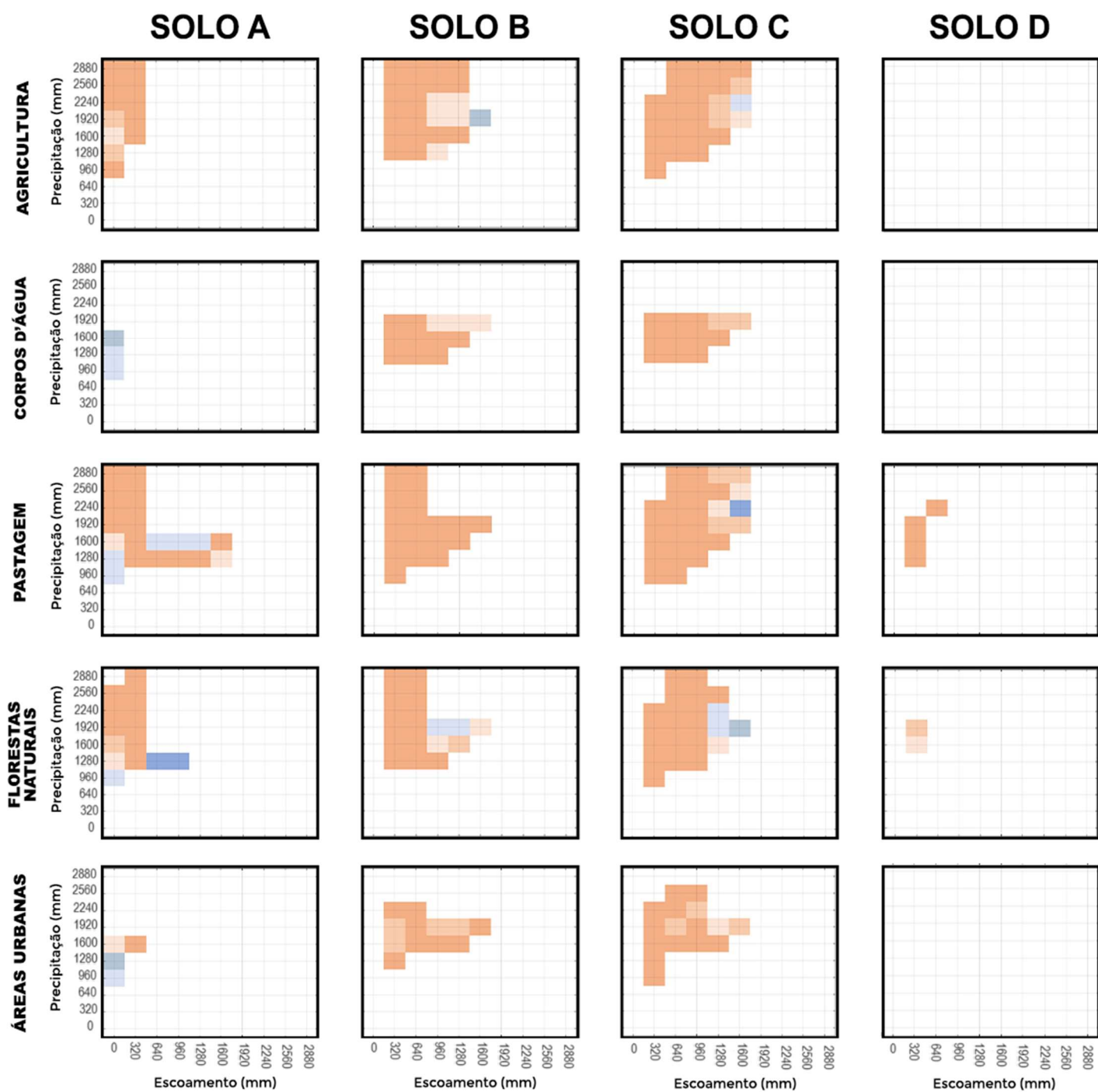
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2016



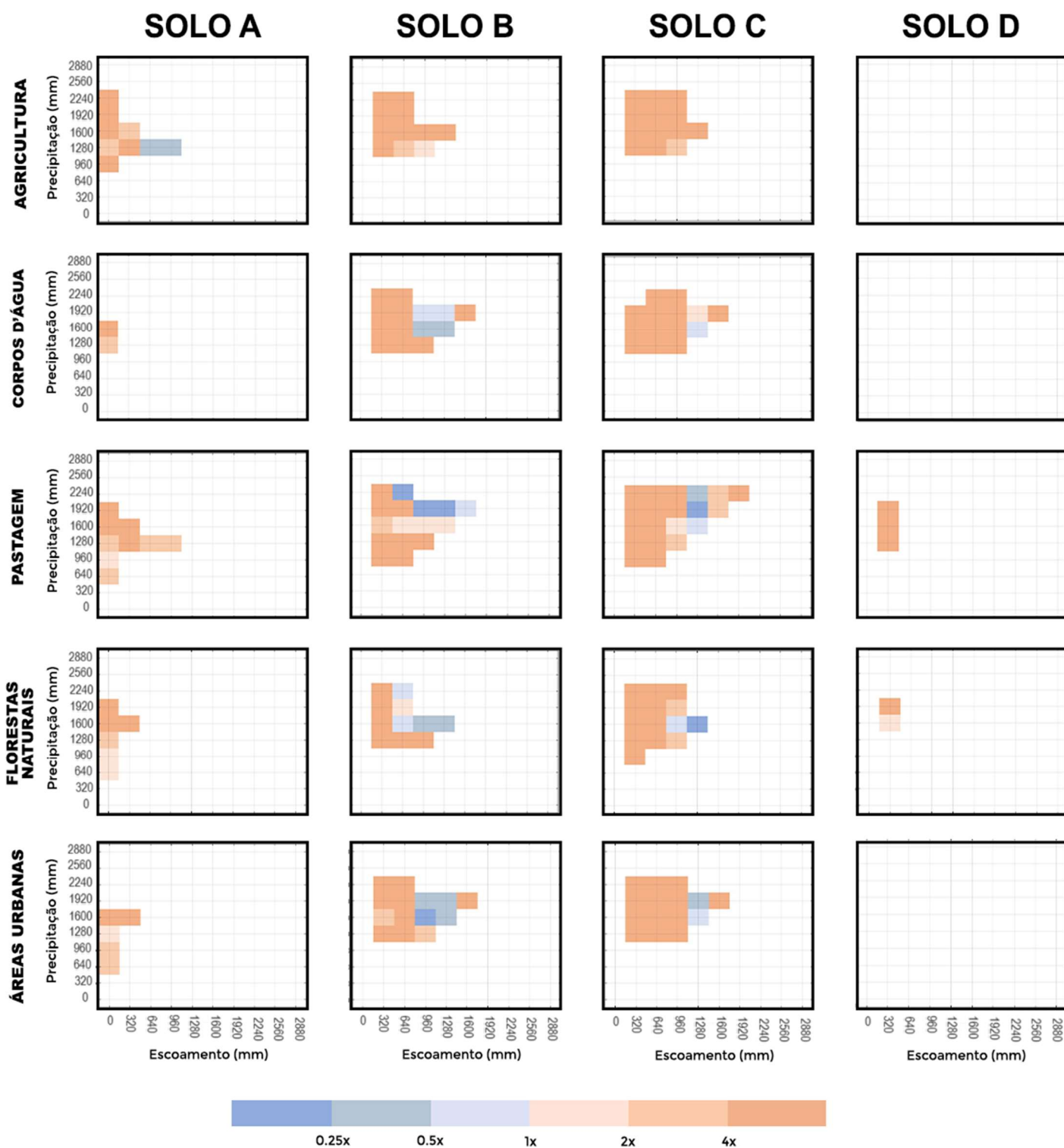
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2017



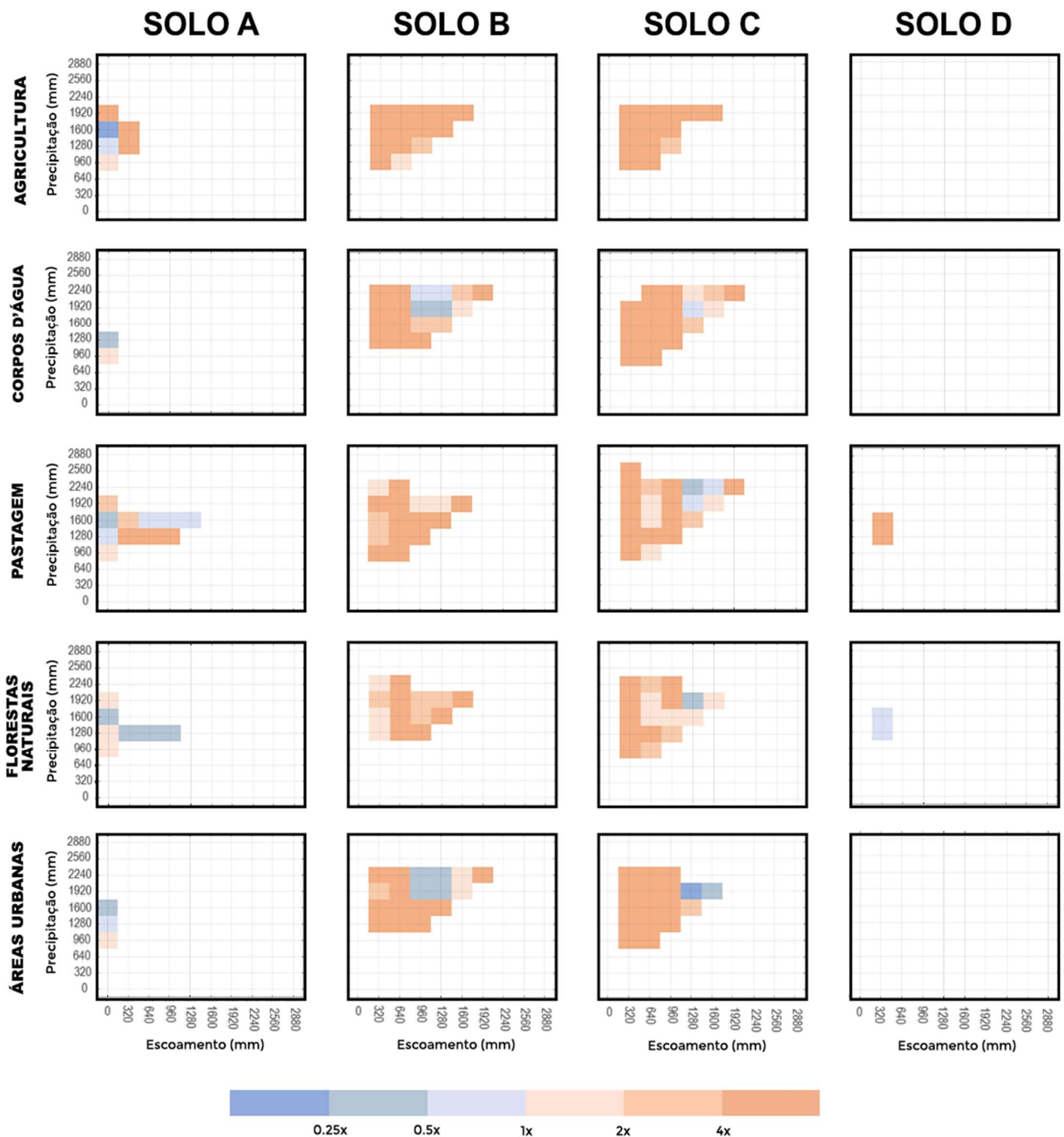
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2018



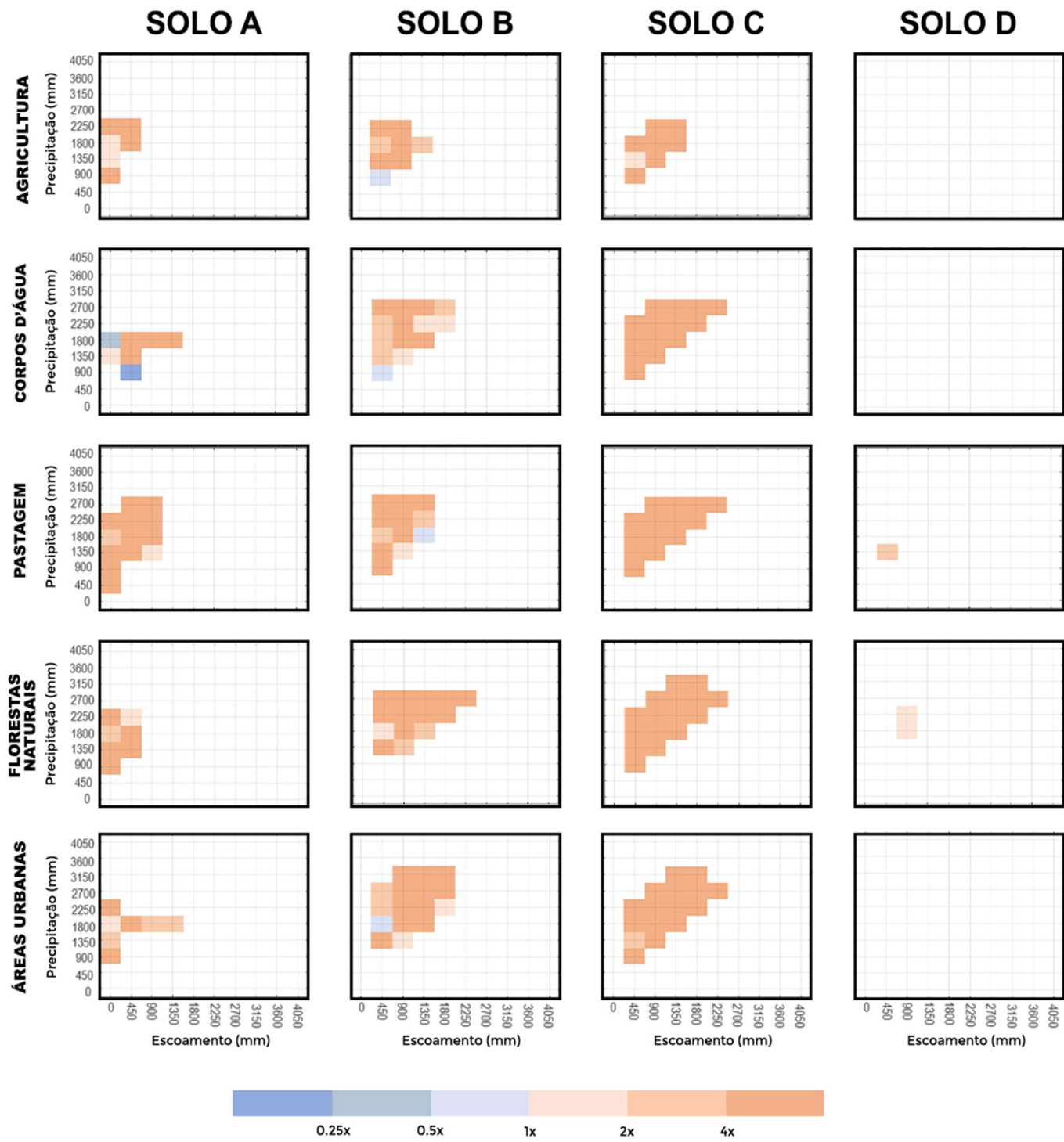
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2019



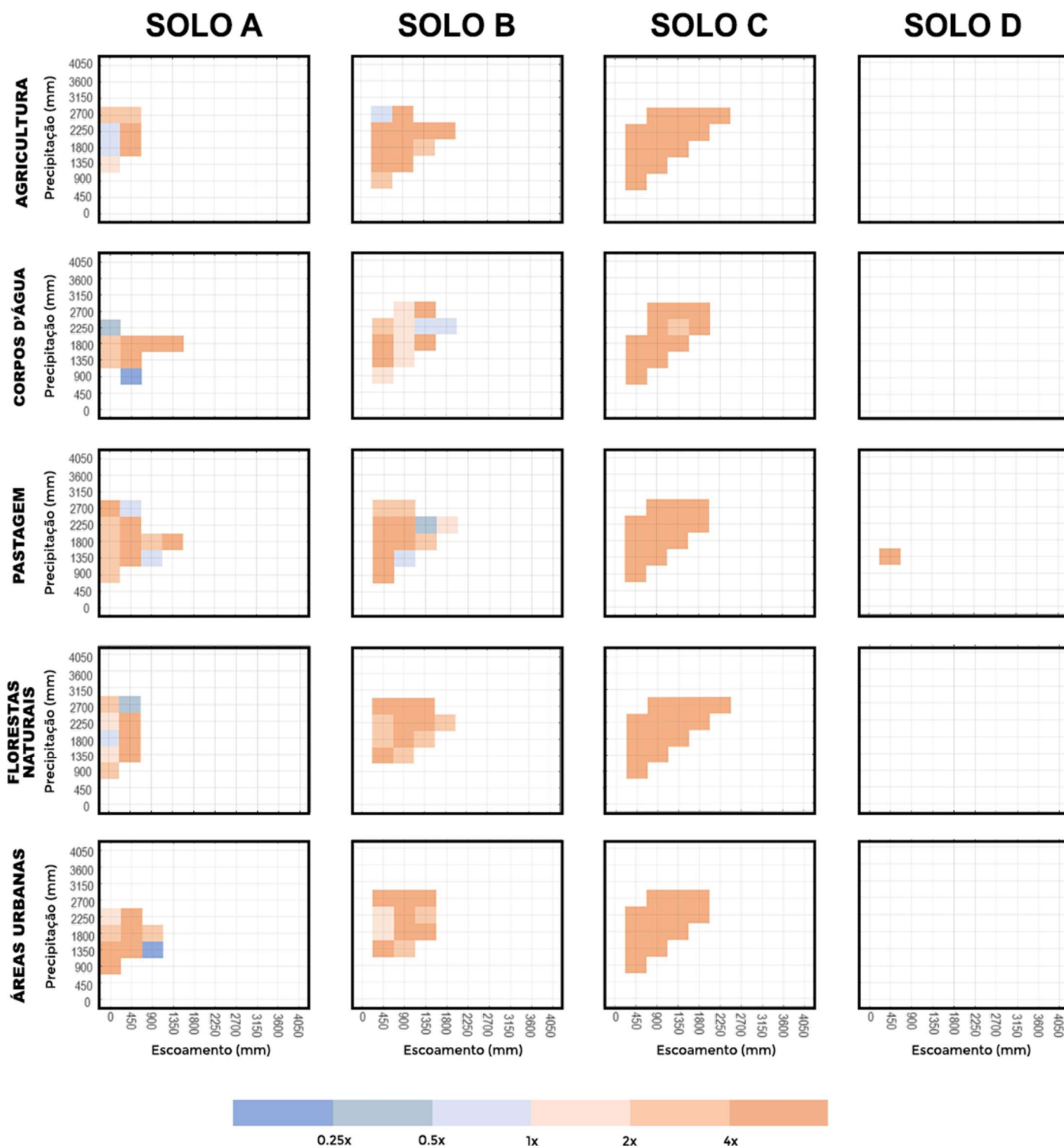
Teste de Fisher - Bioma Cerrado 2020



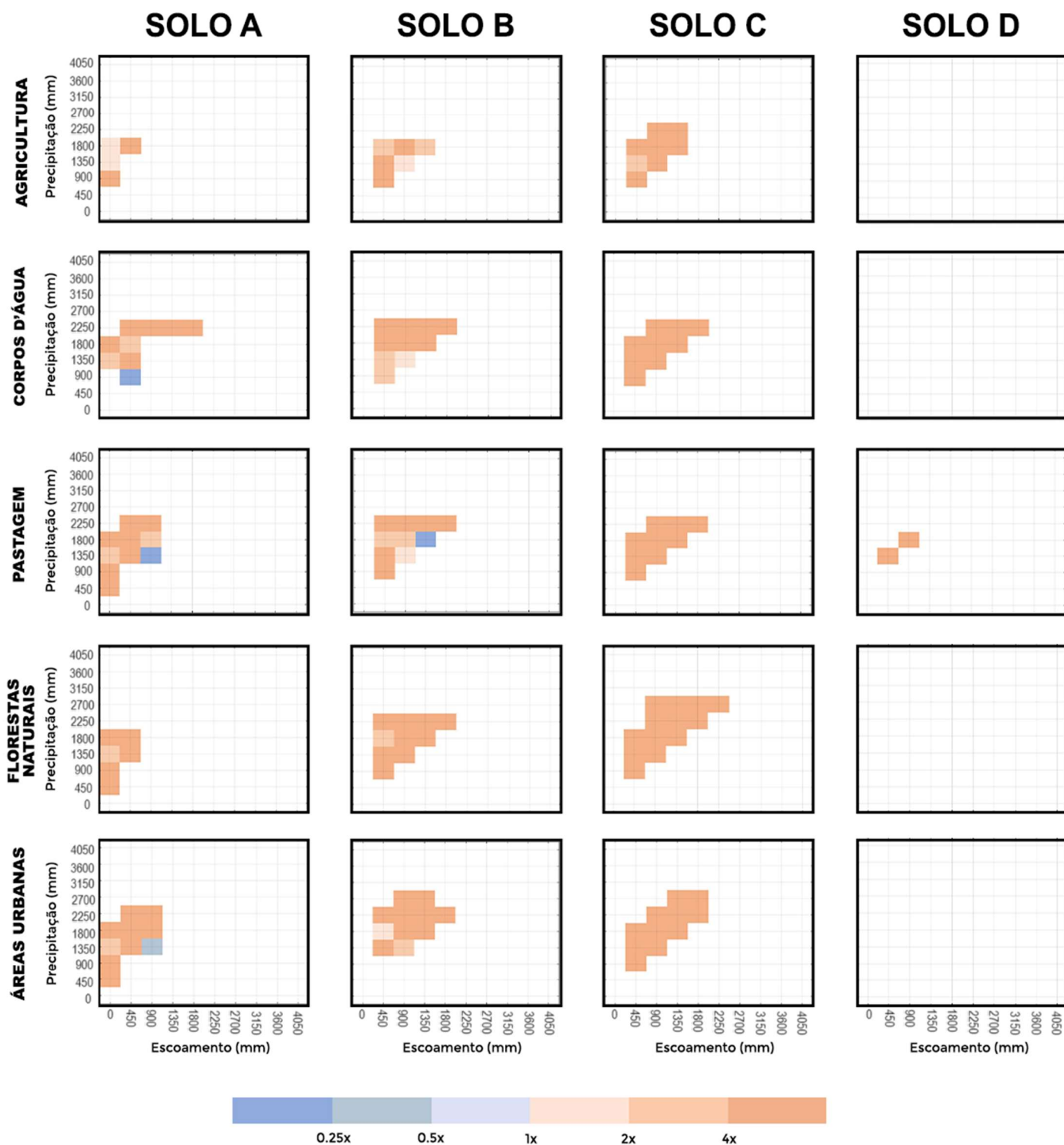
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2001



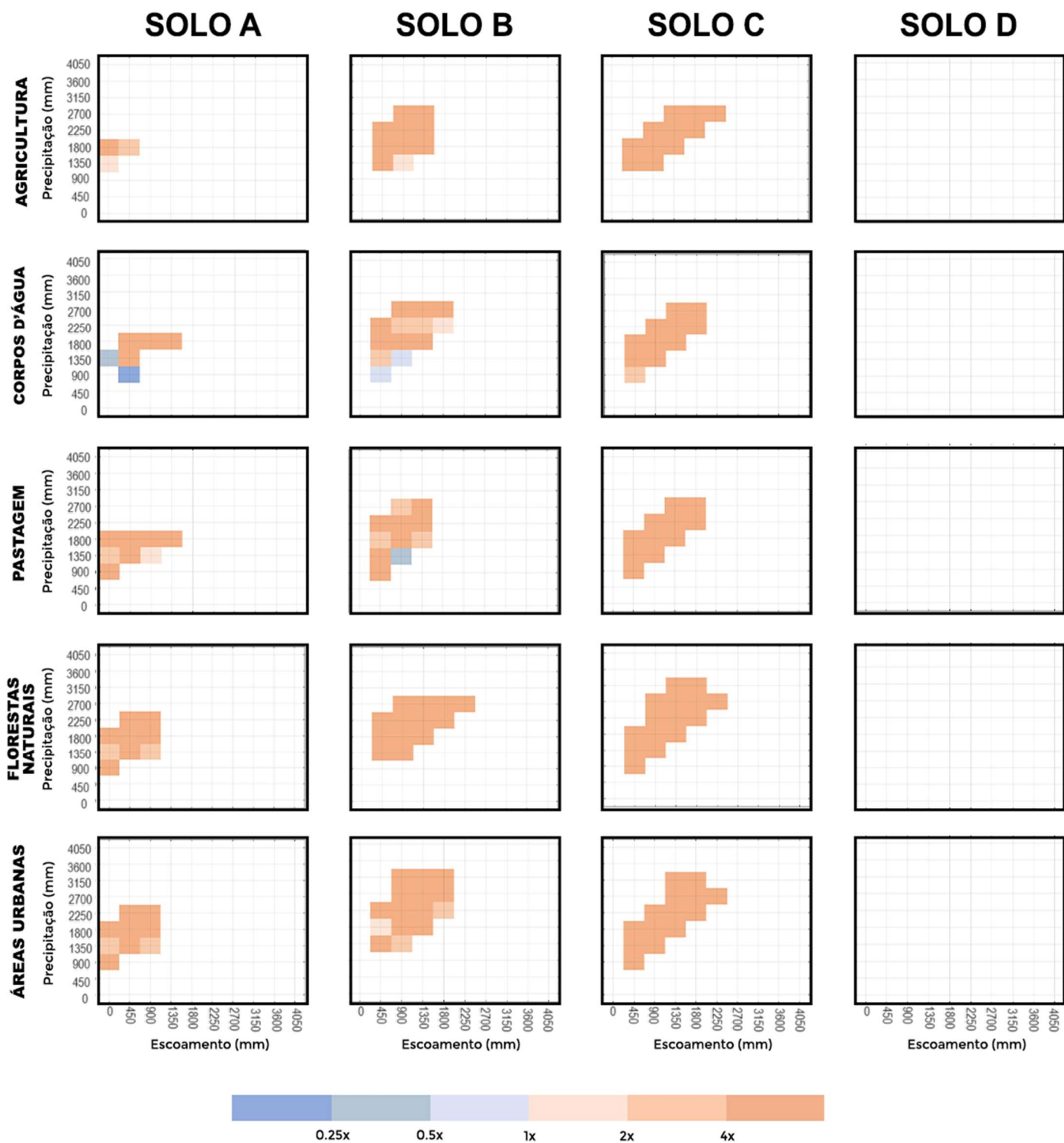
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2002



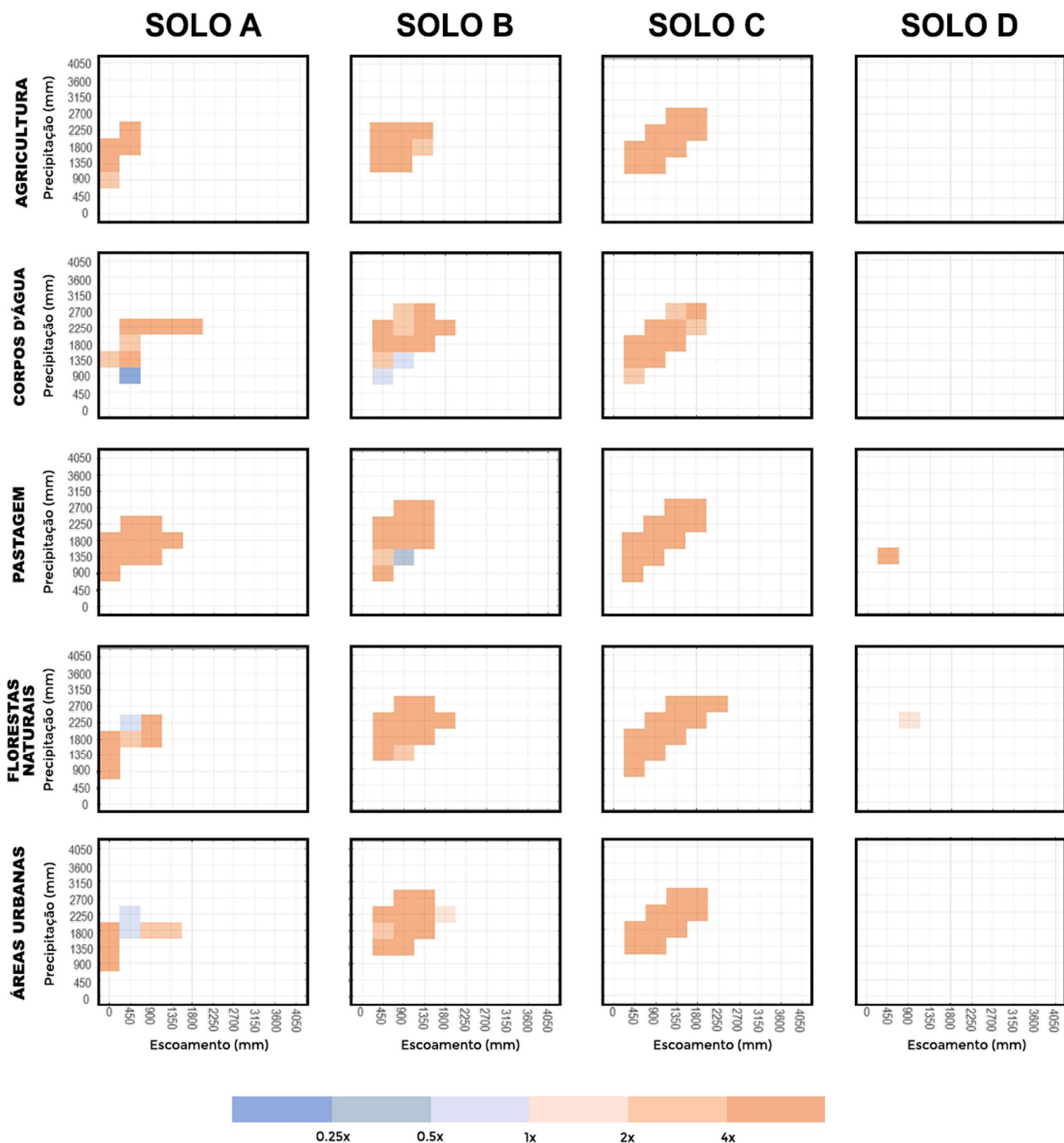
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2003



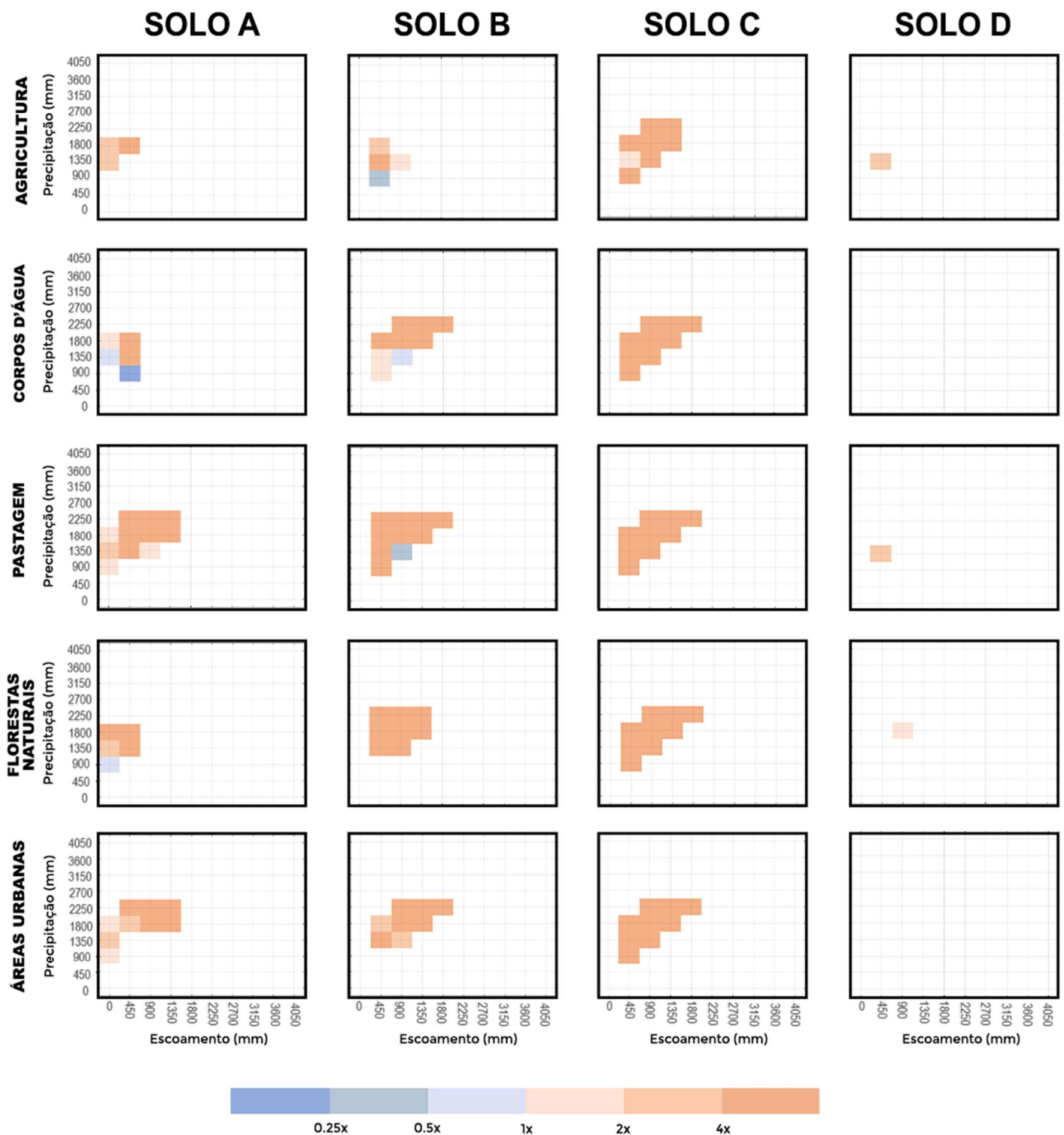
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2004



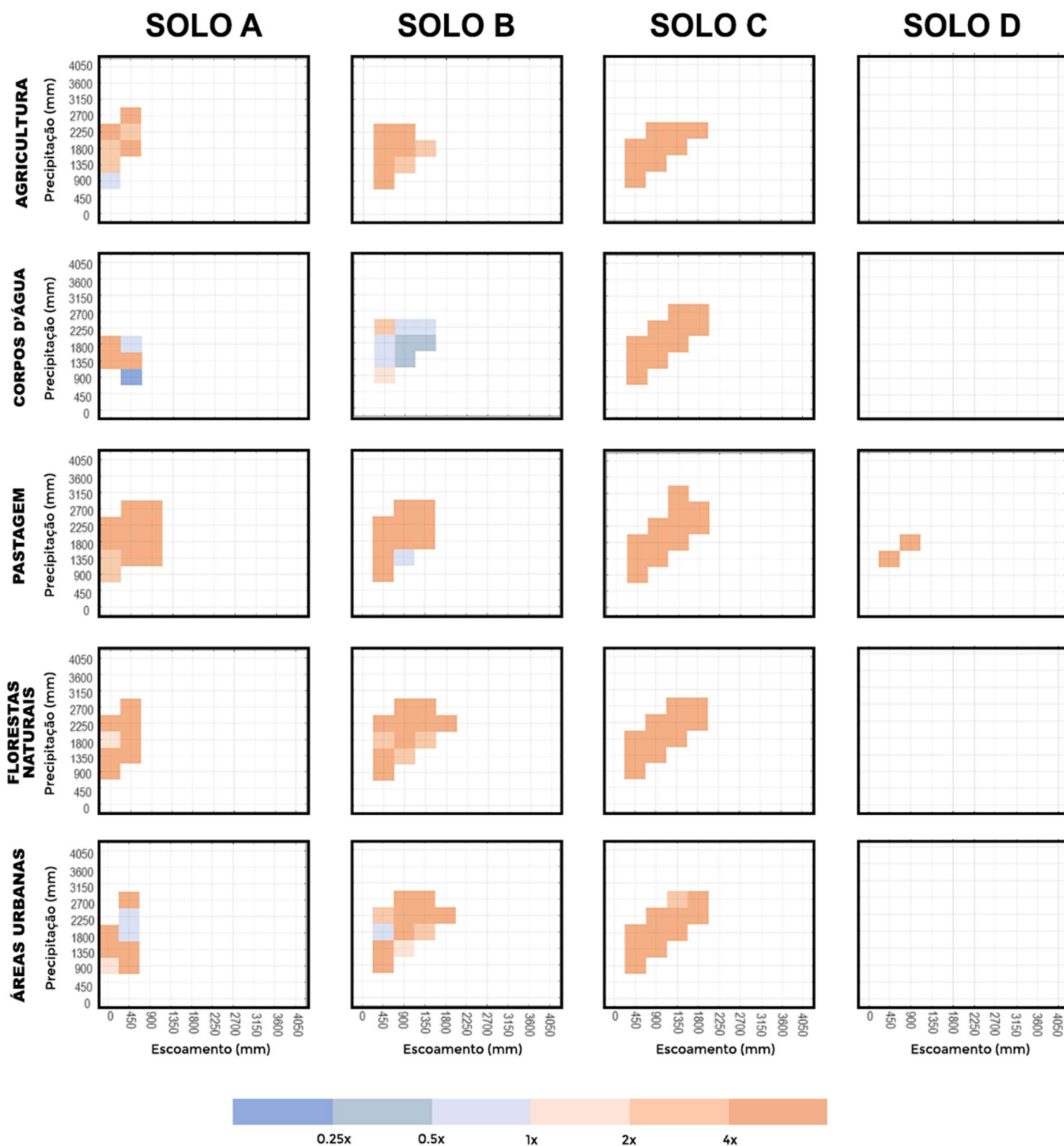
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2005



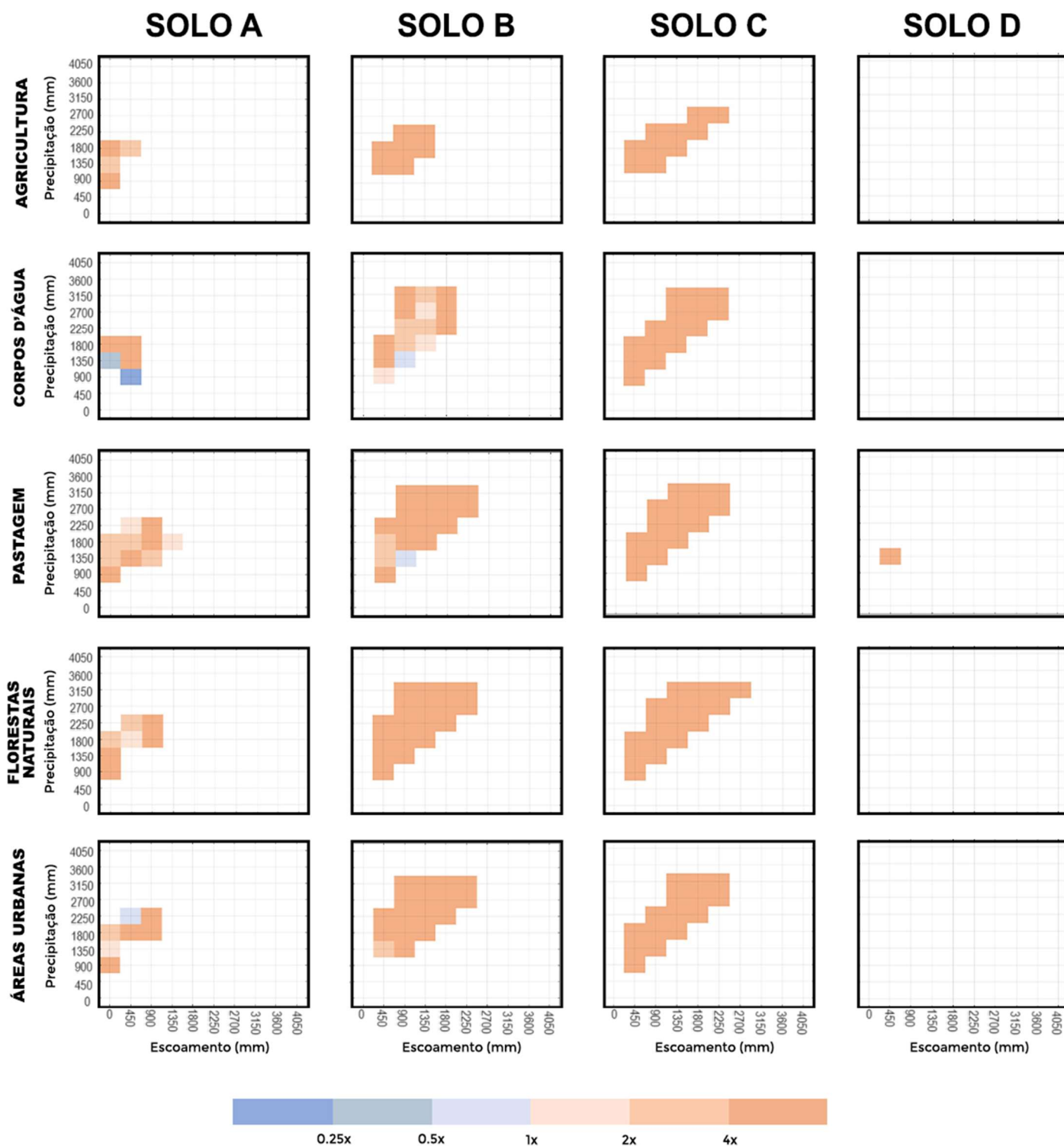
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2006



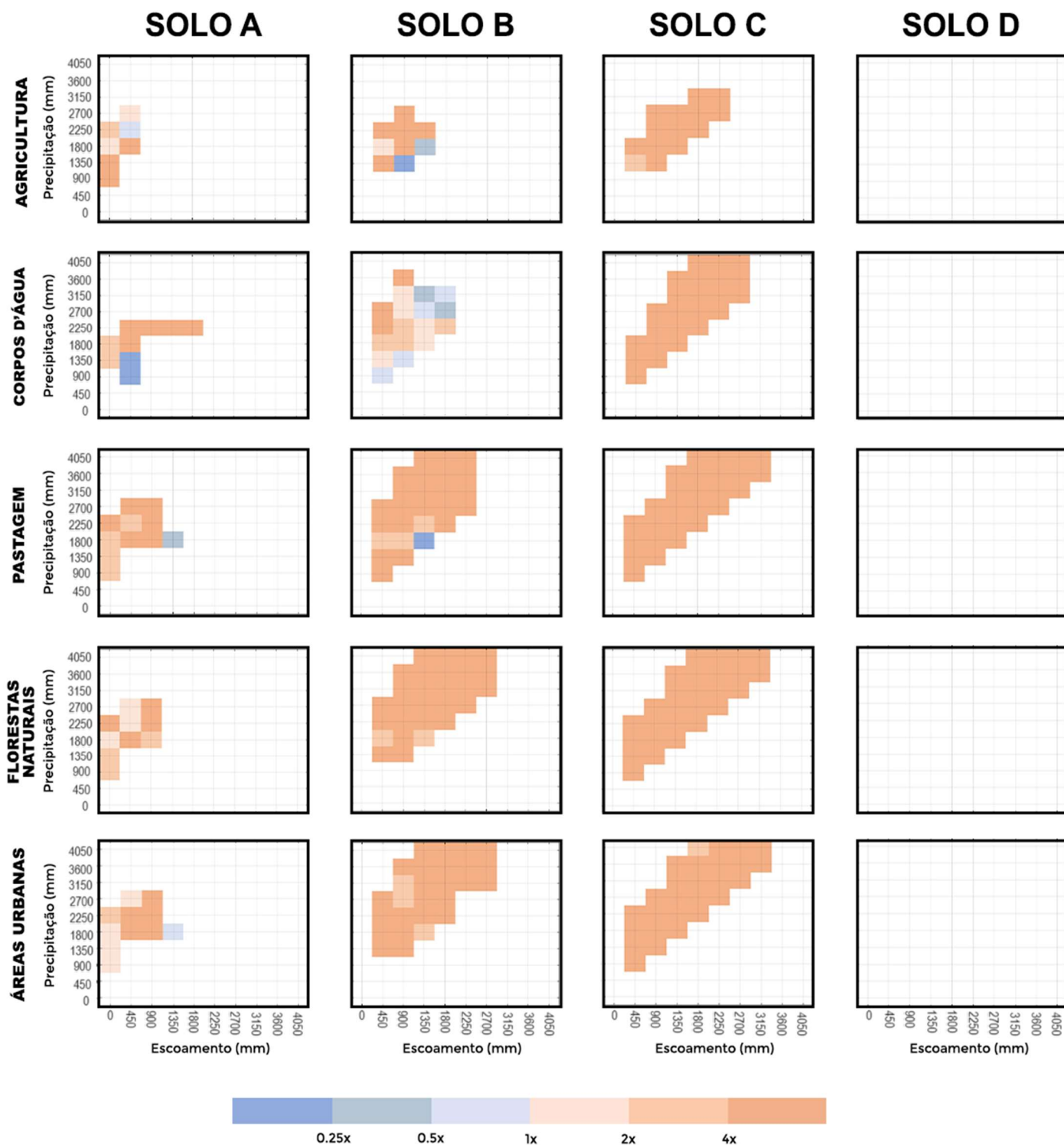
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2007



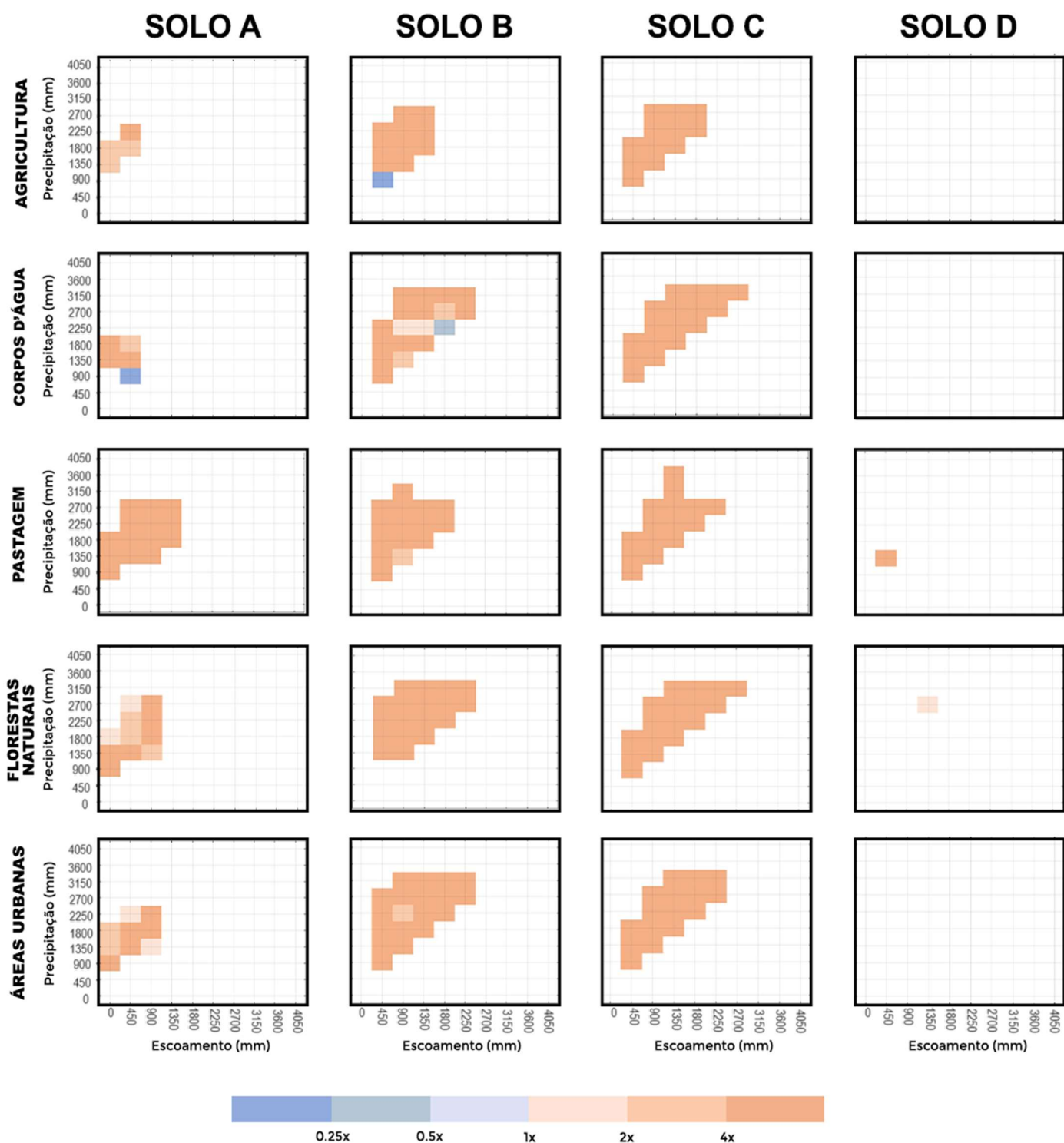
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2008



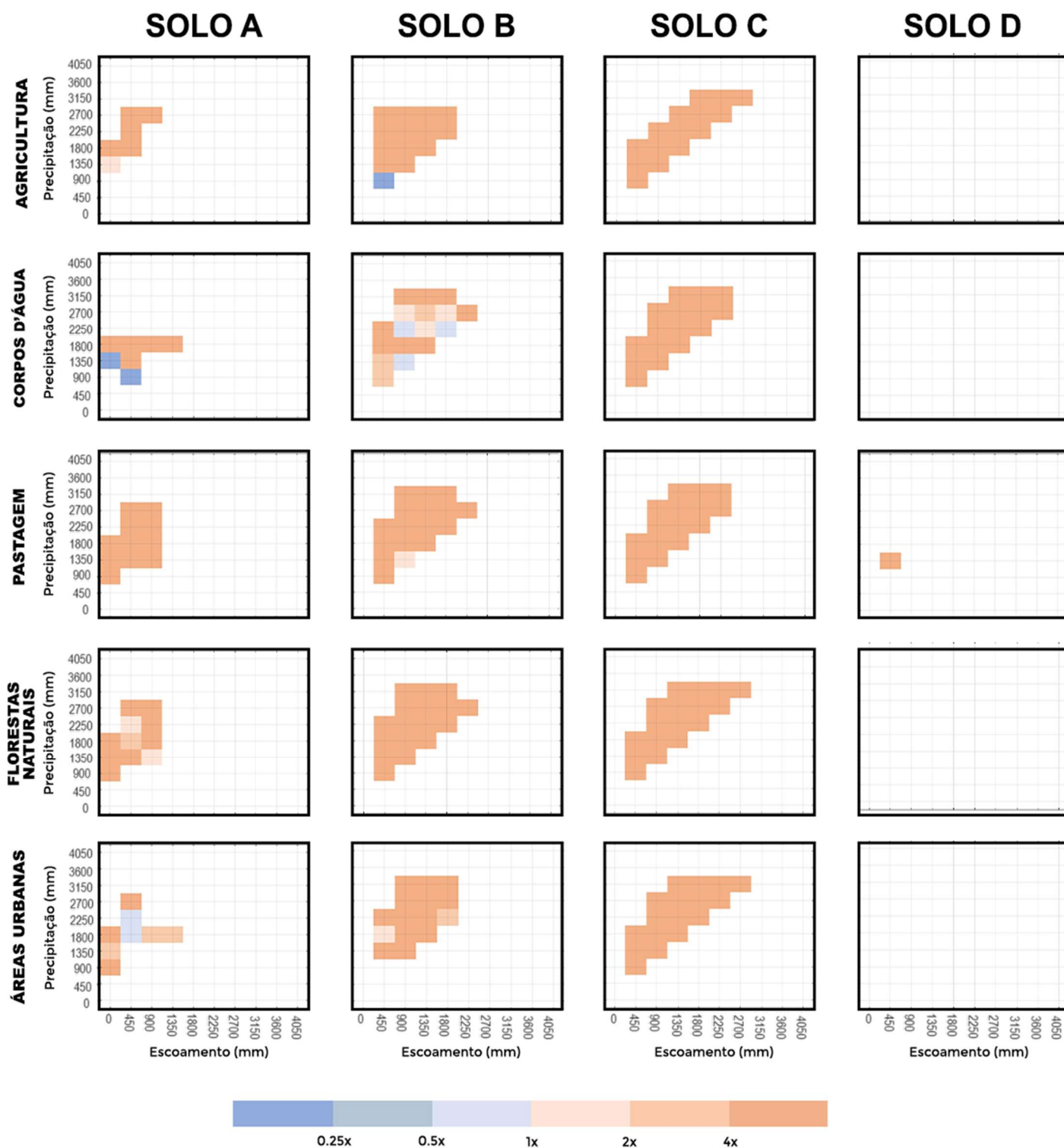
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2009



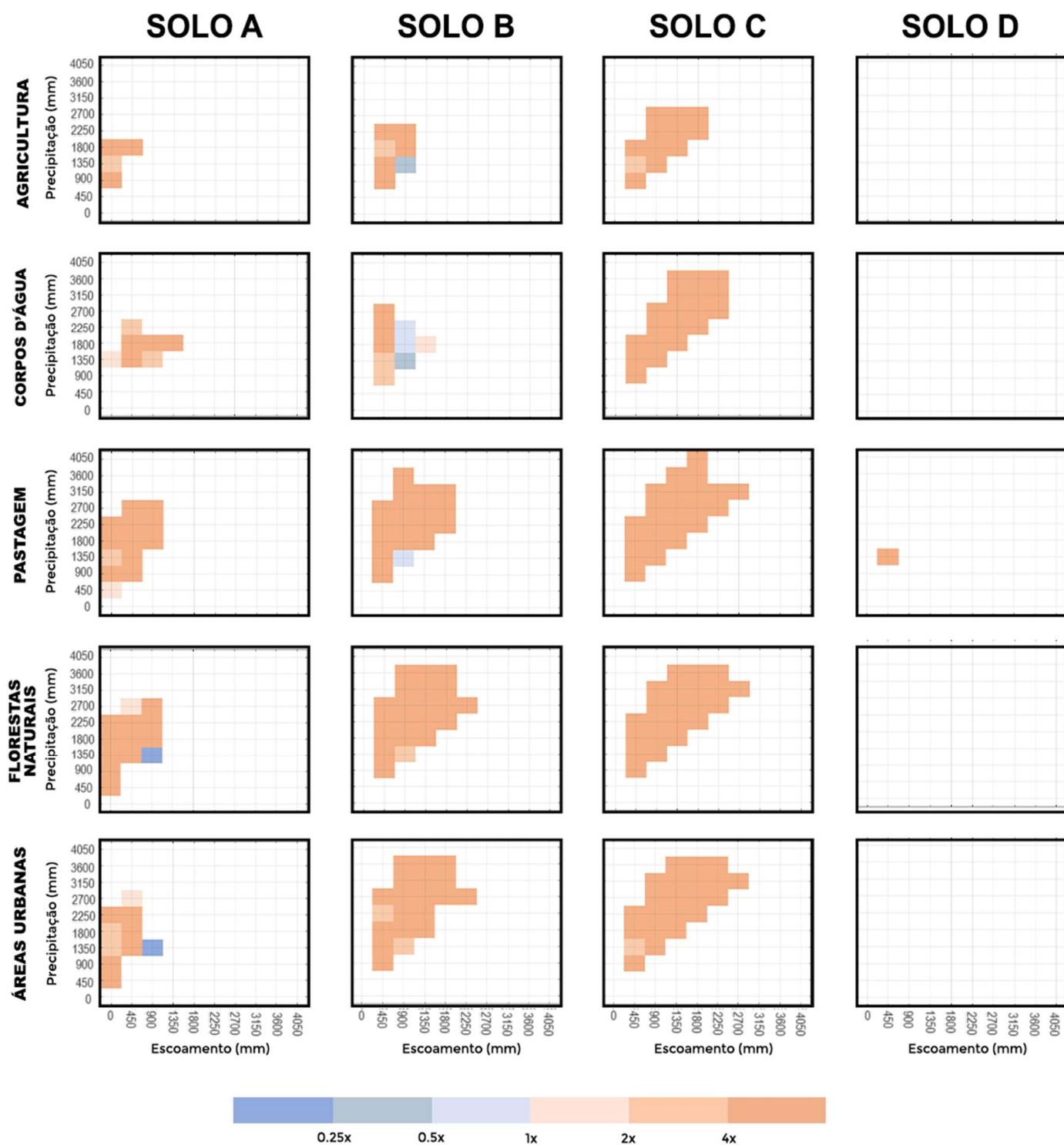
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2010



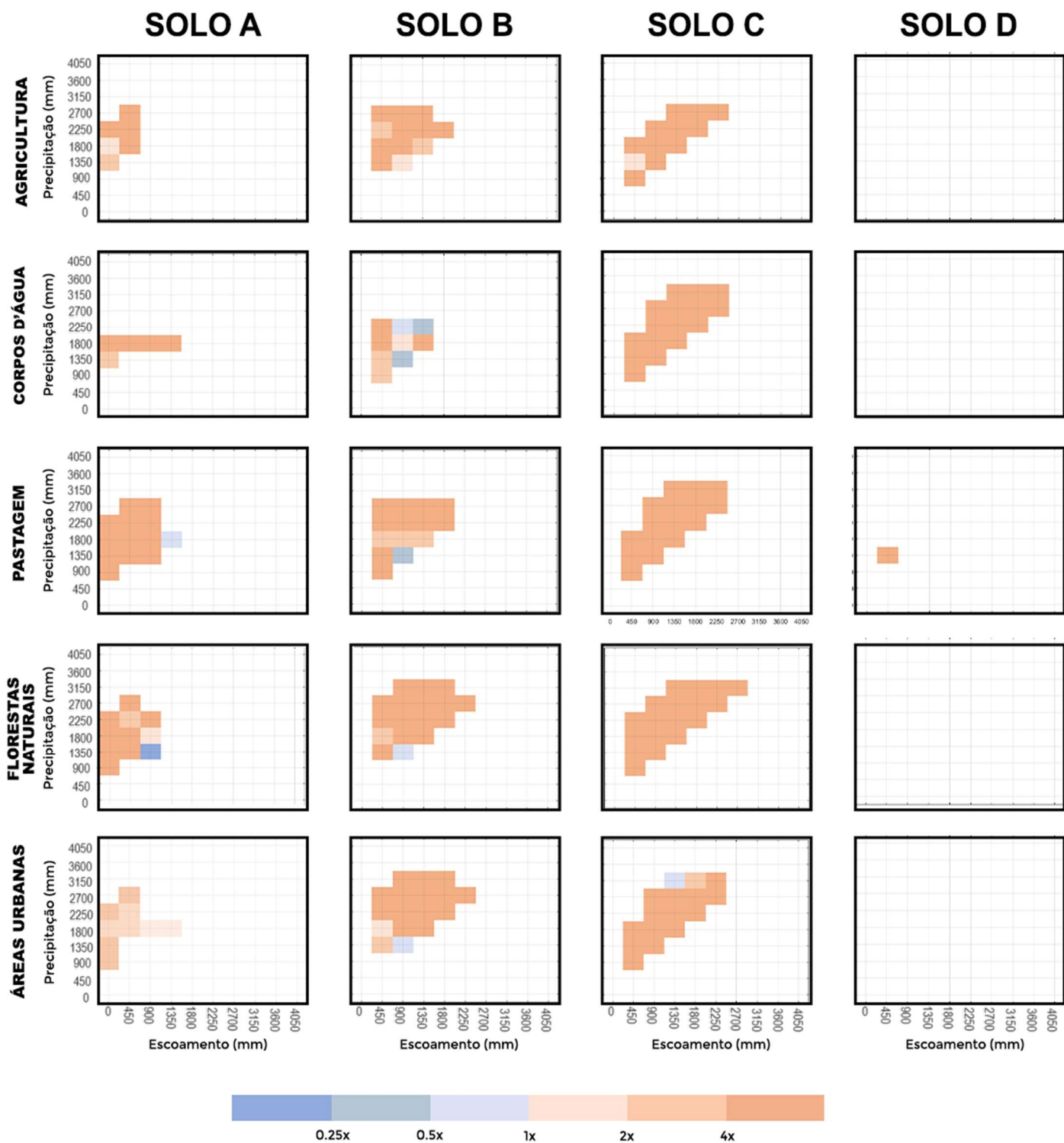
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2011



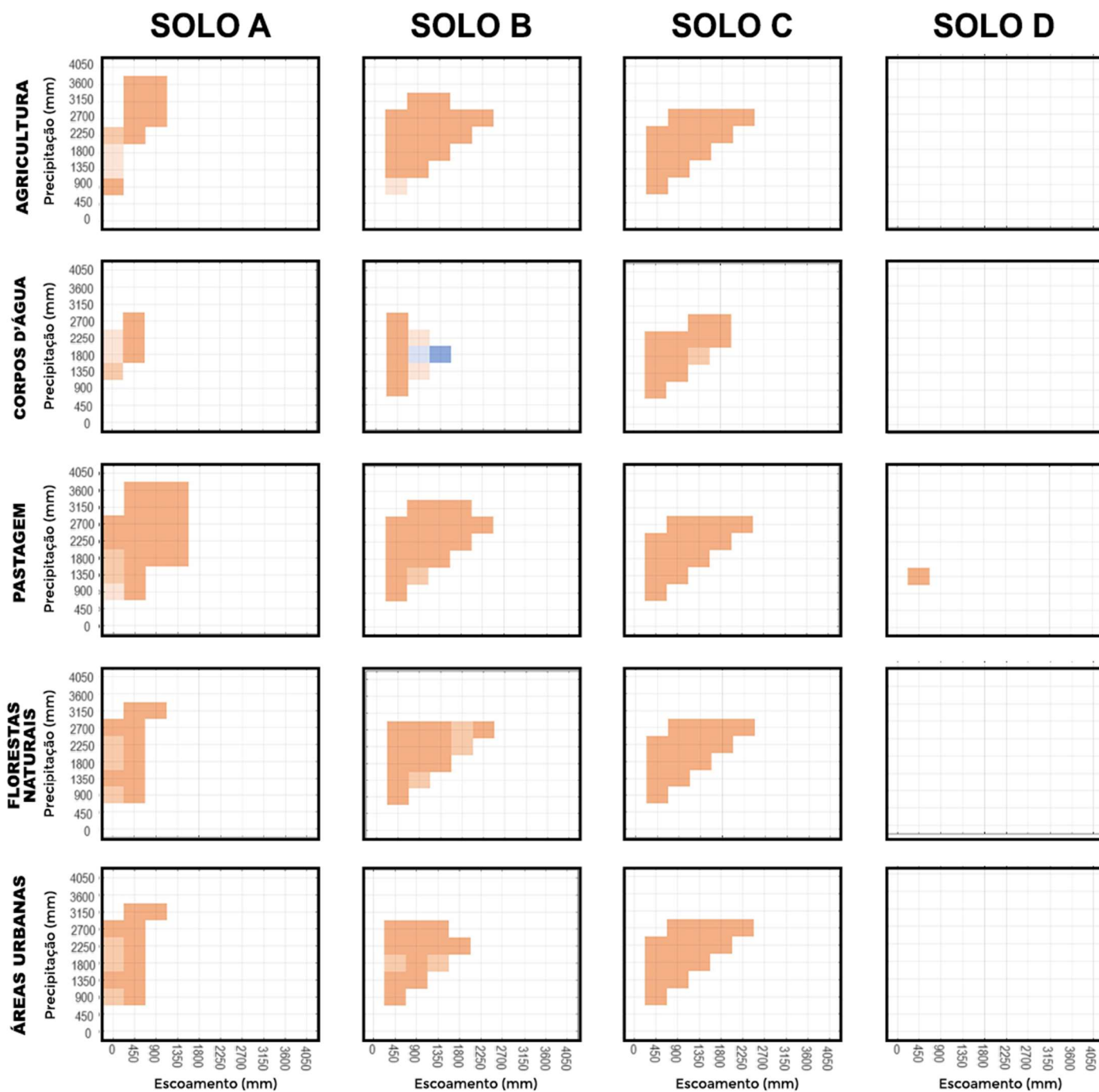
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2012



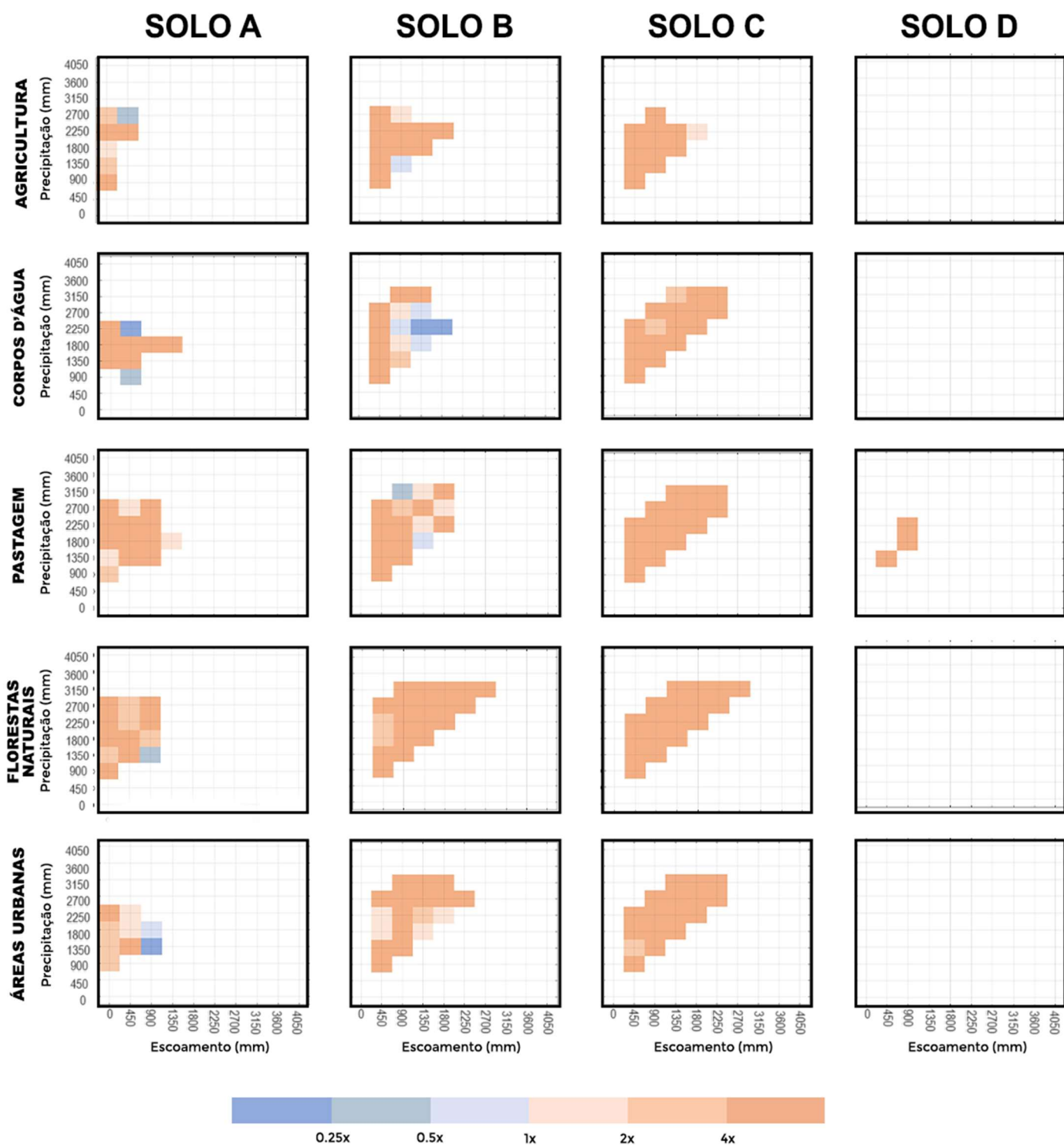
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2013



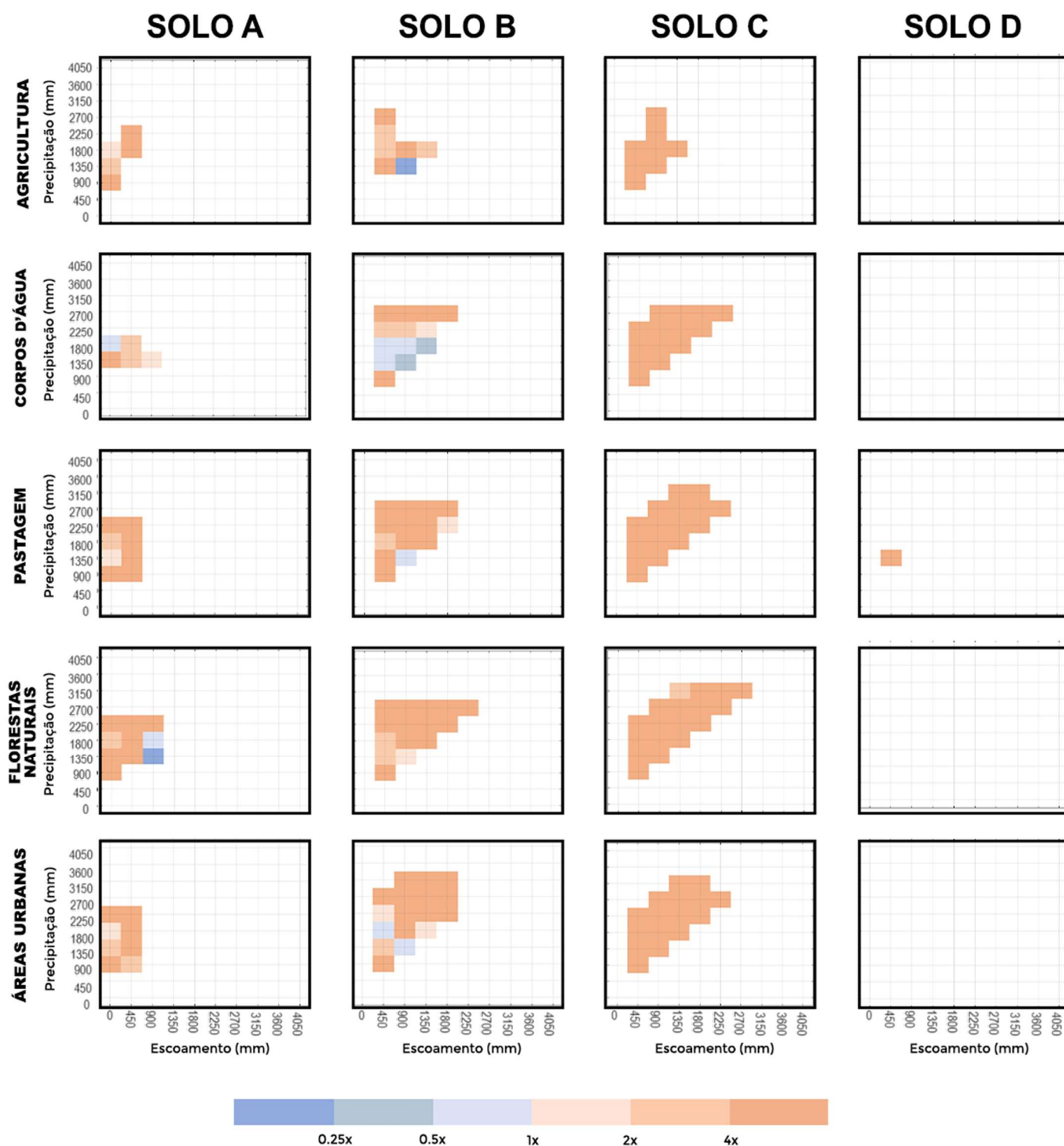
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2014



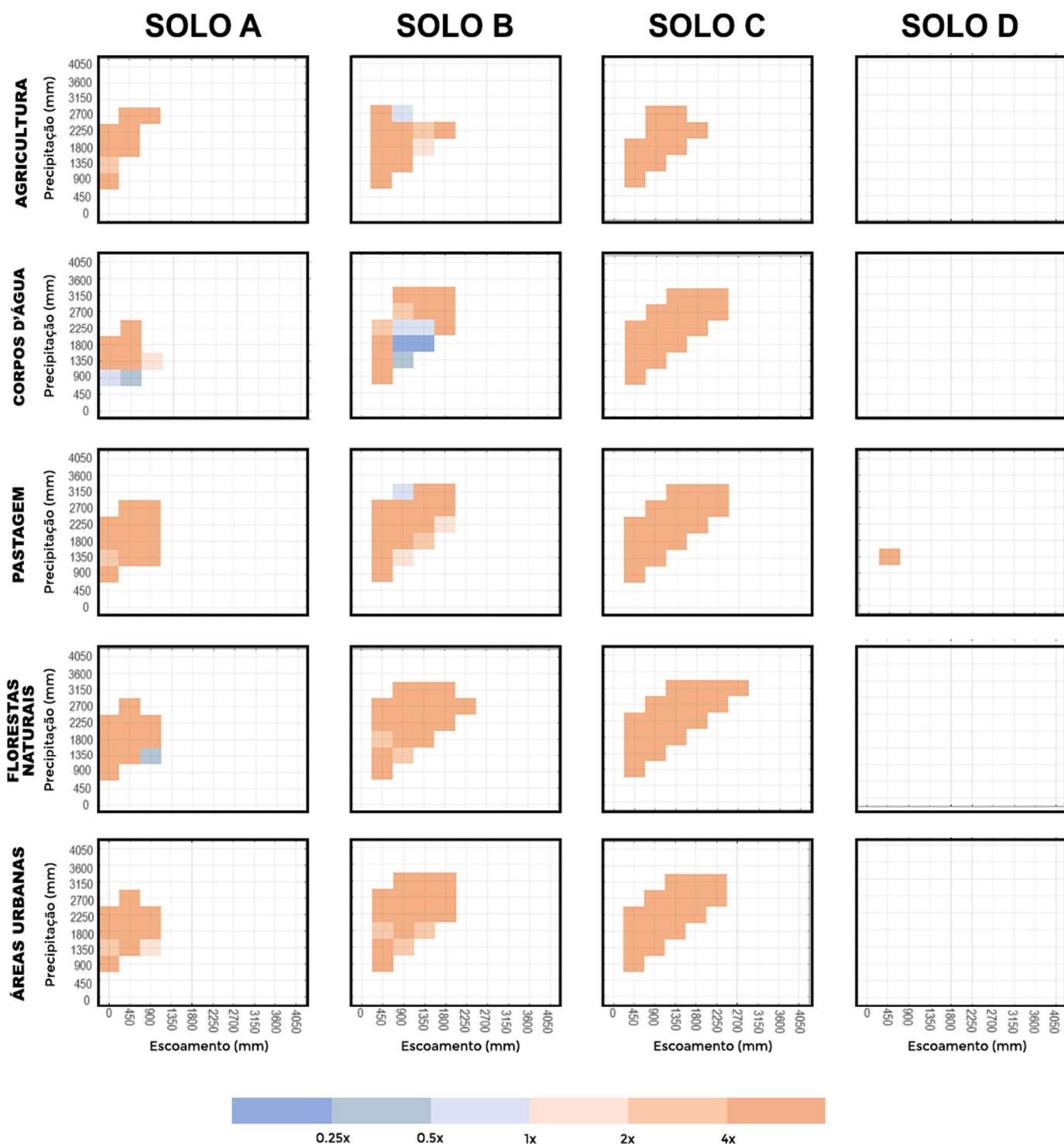
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2015



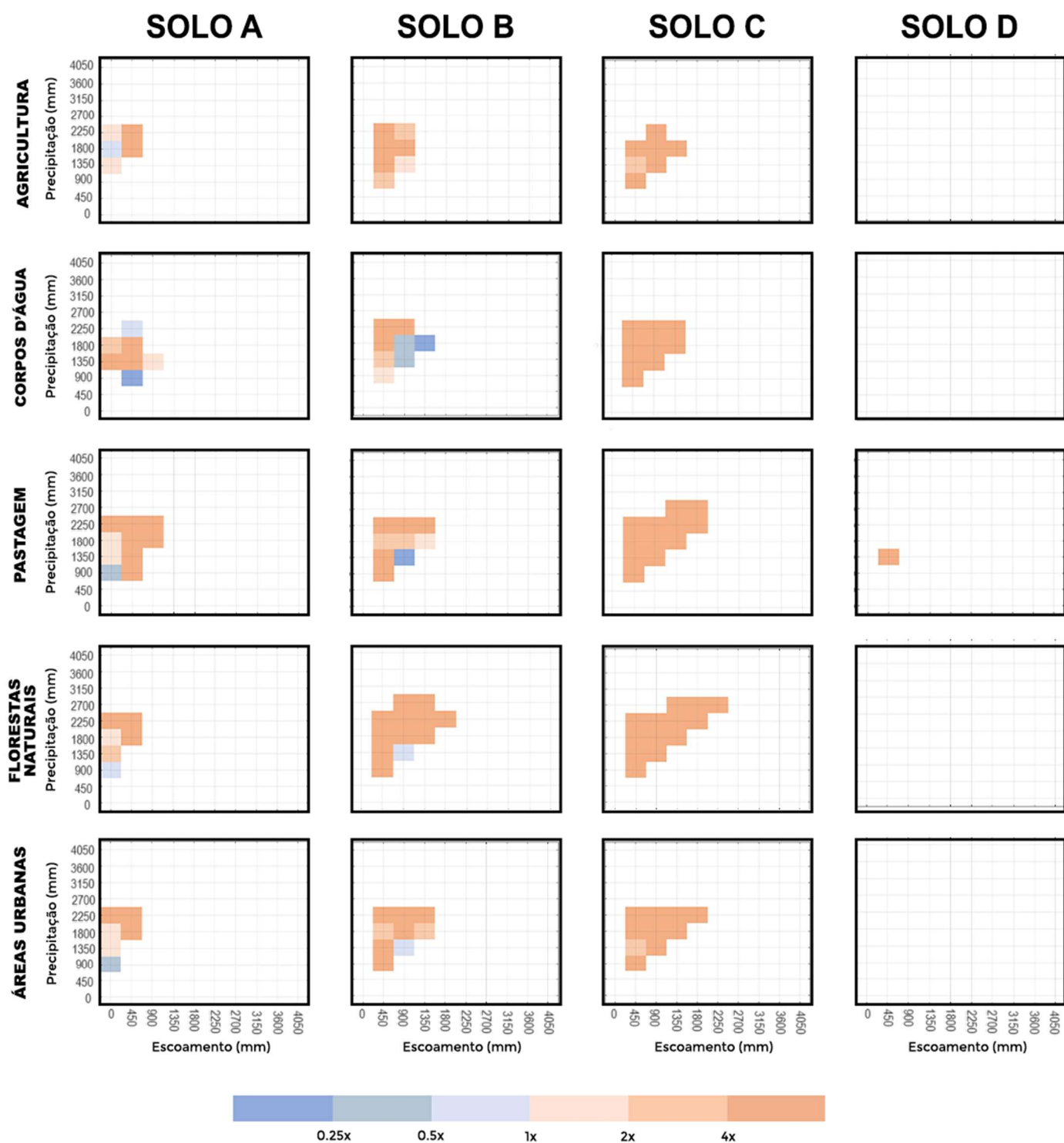
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2016



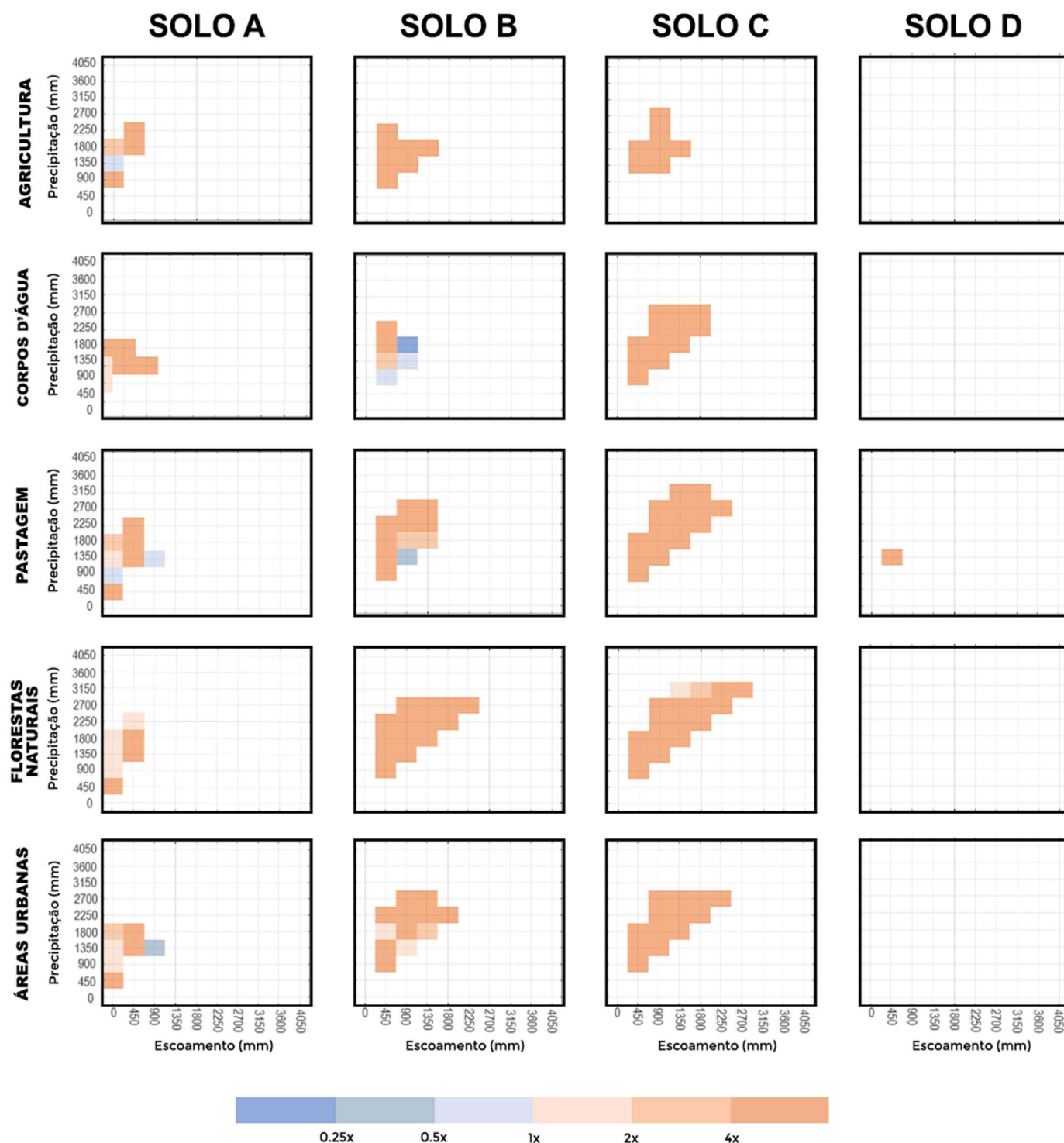
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2017



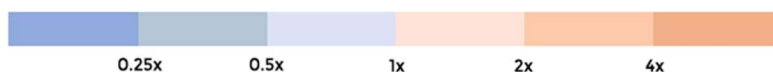
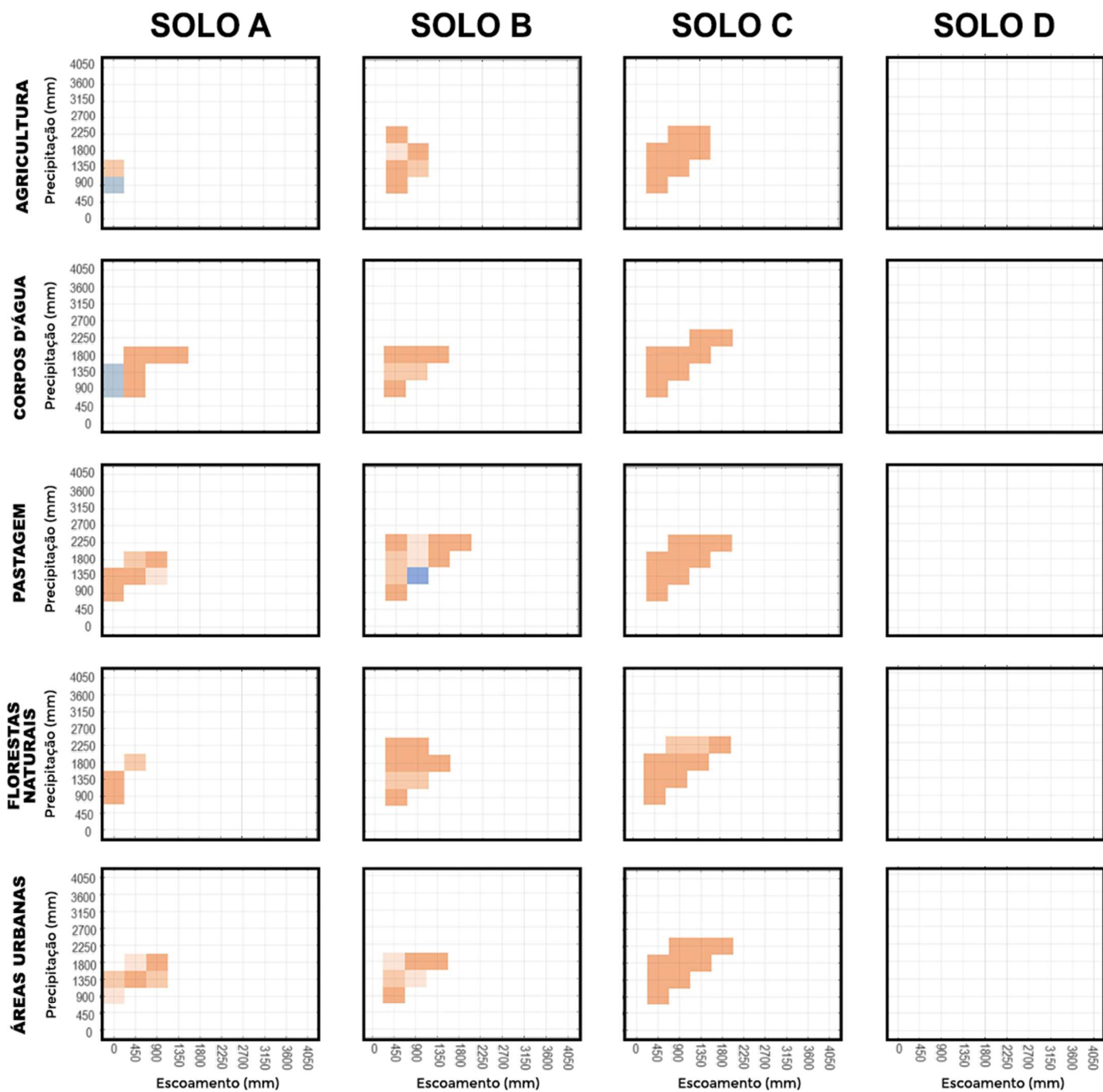
Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2018



Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2019

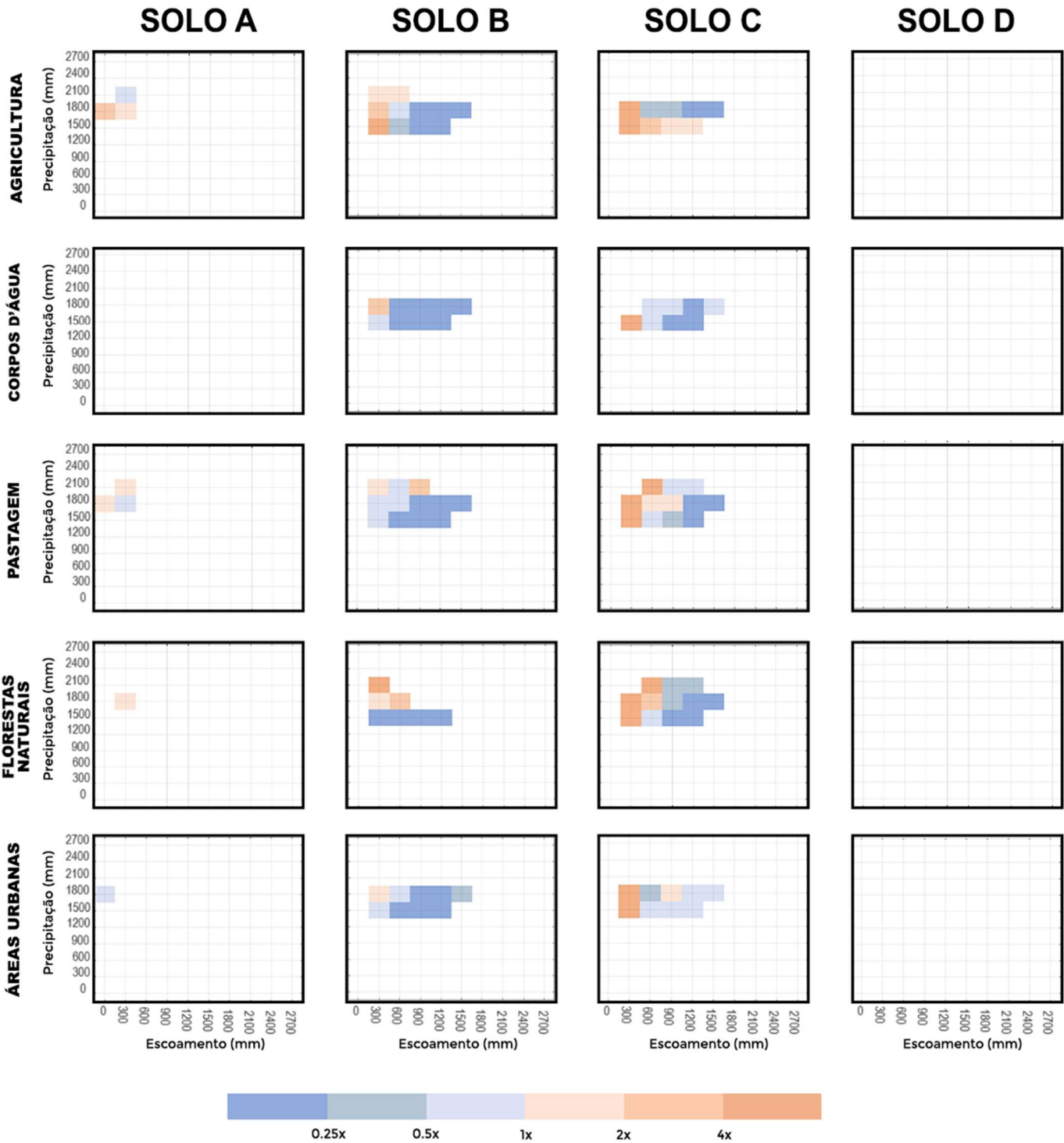


Teste de Fisher - Bioma Mata Atlântica 2020

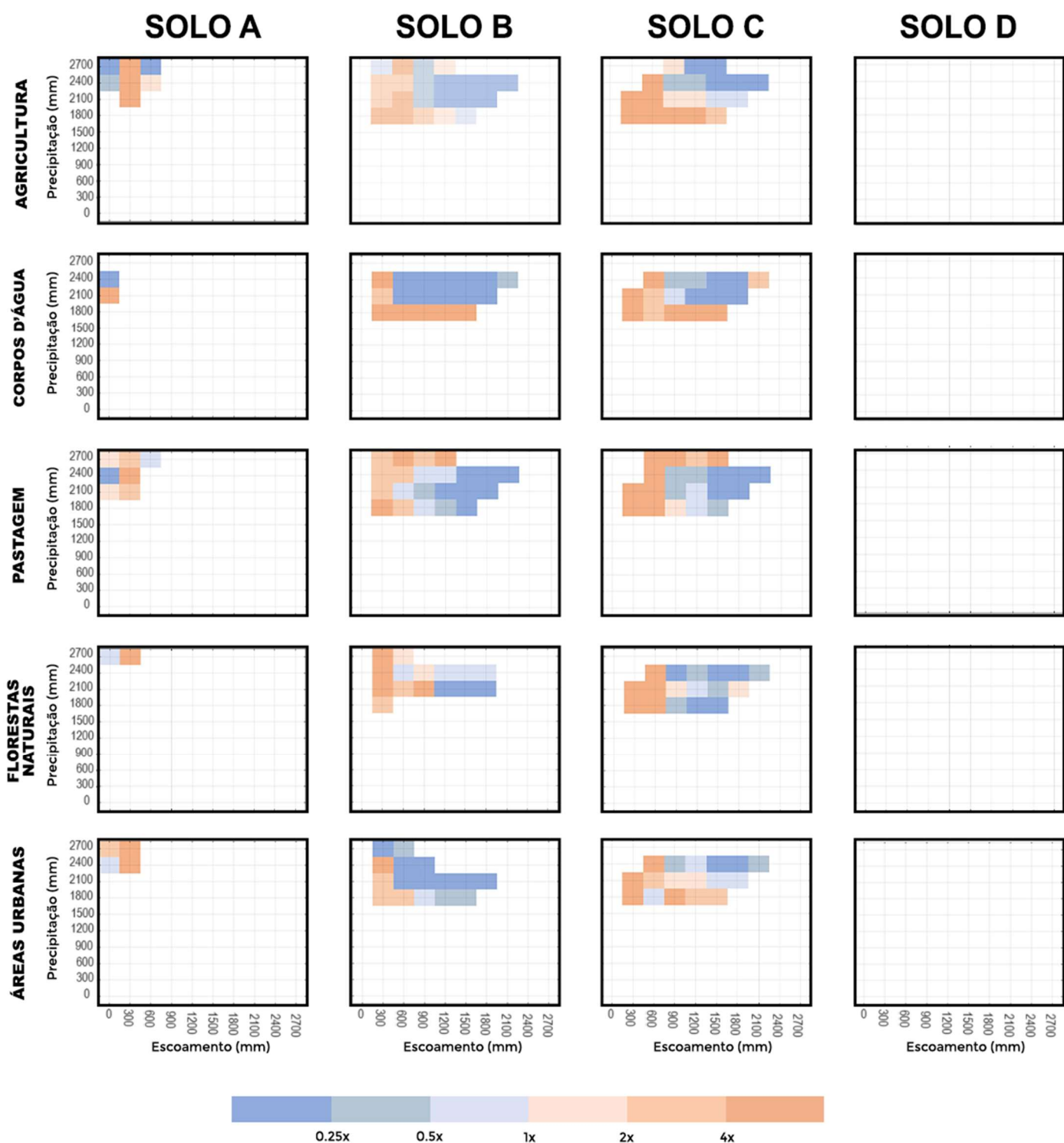


9.5 Teste de Fisher – Bioma Pampa

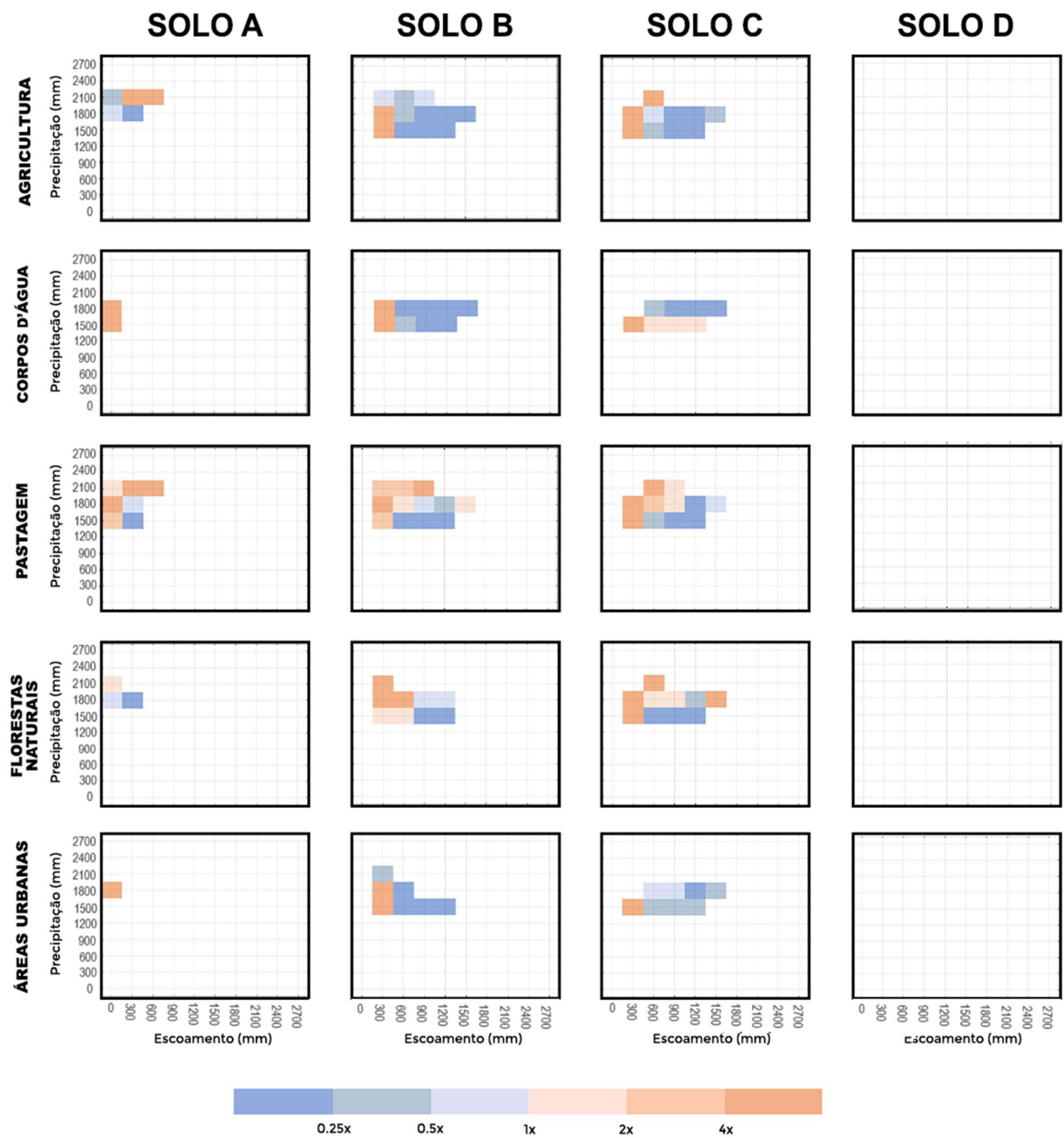
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2001



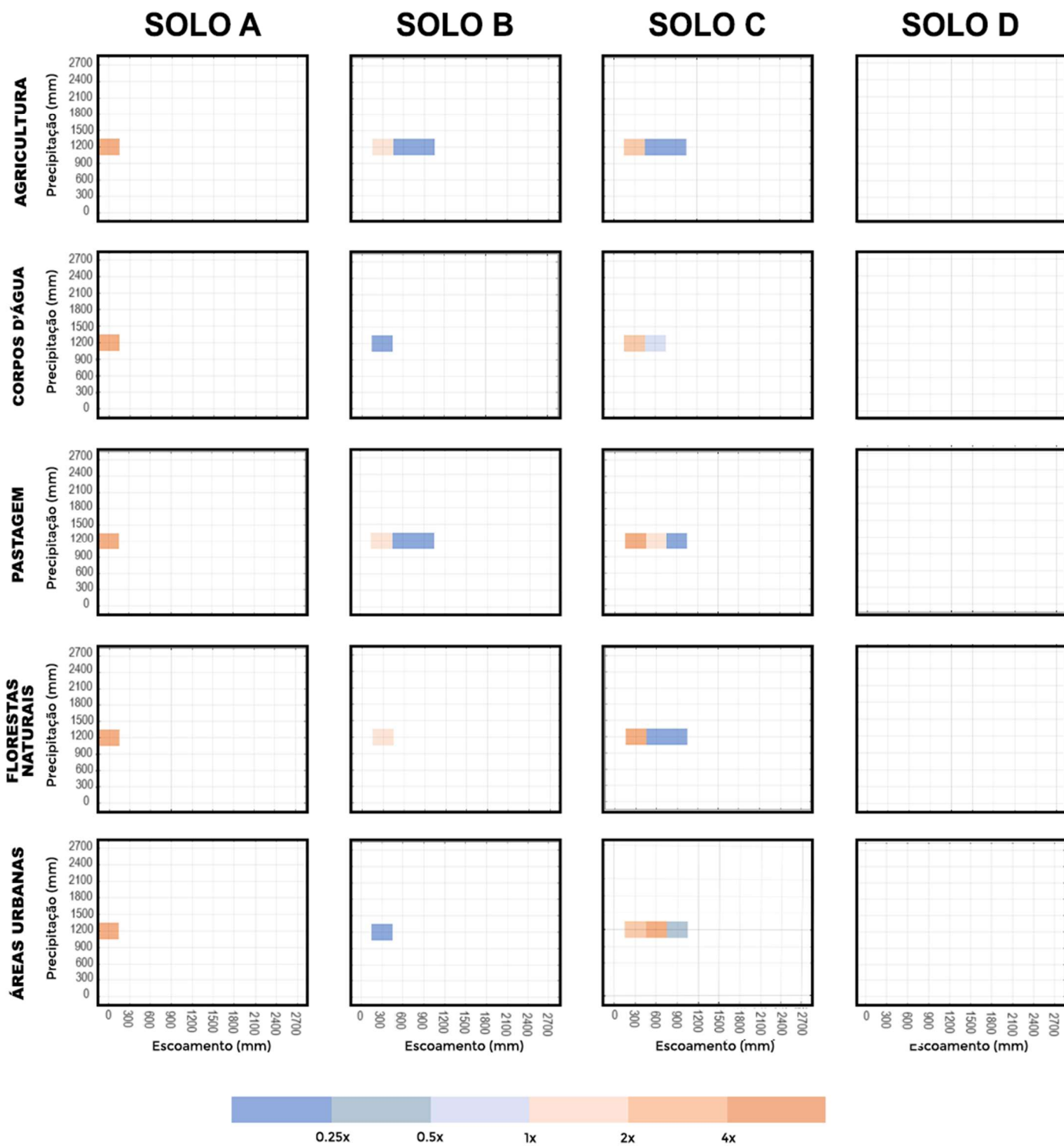
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2002



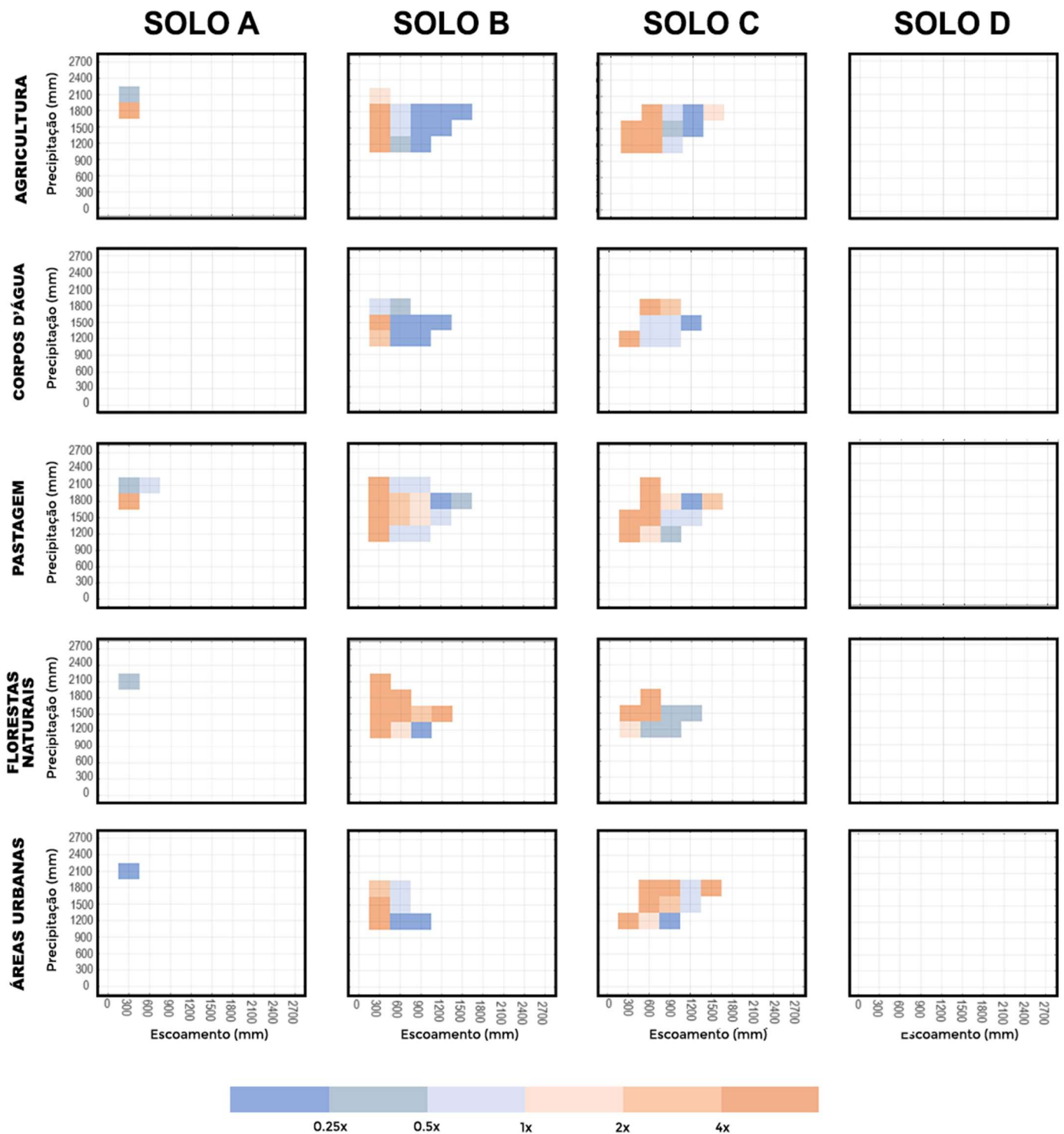
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2003



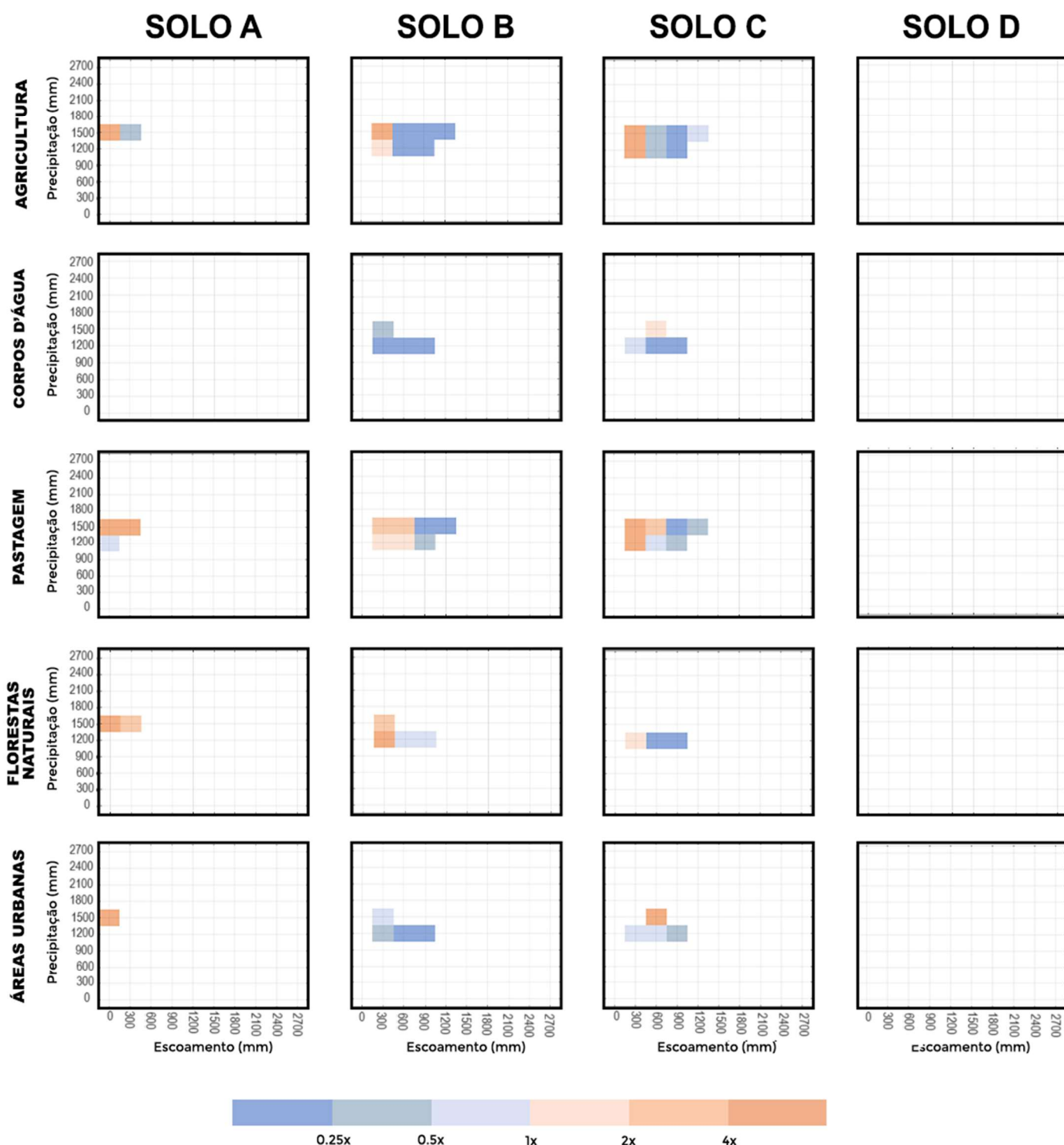
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2004



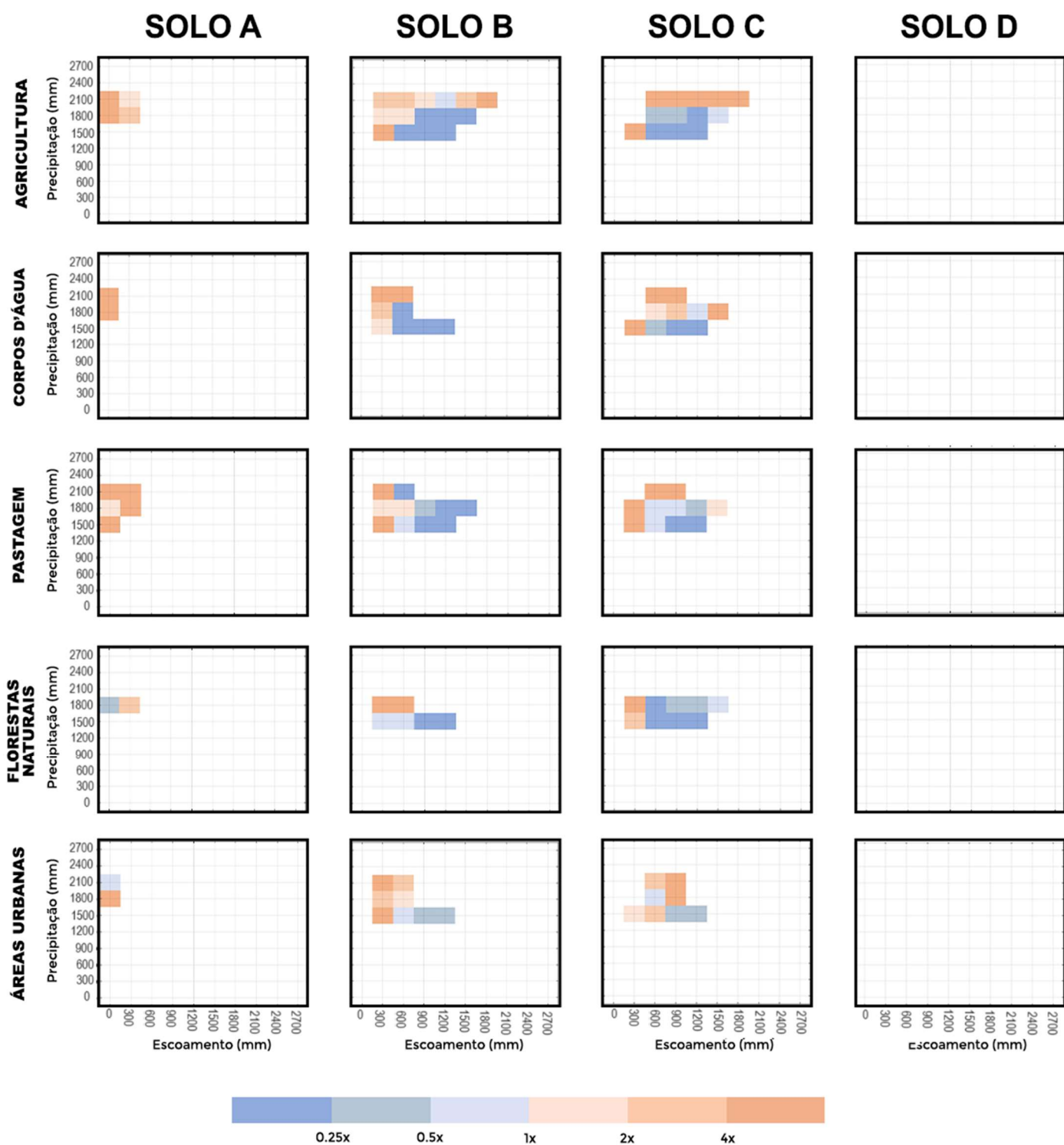
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2005



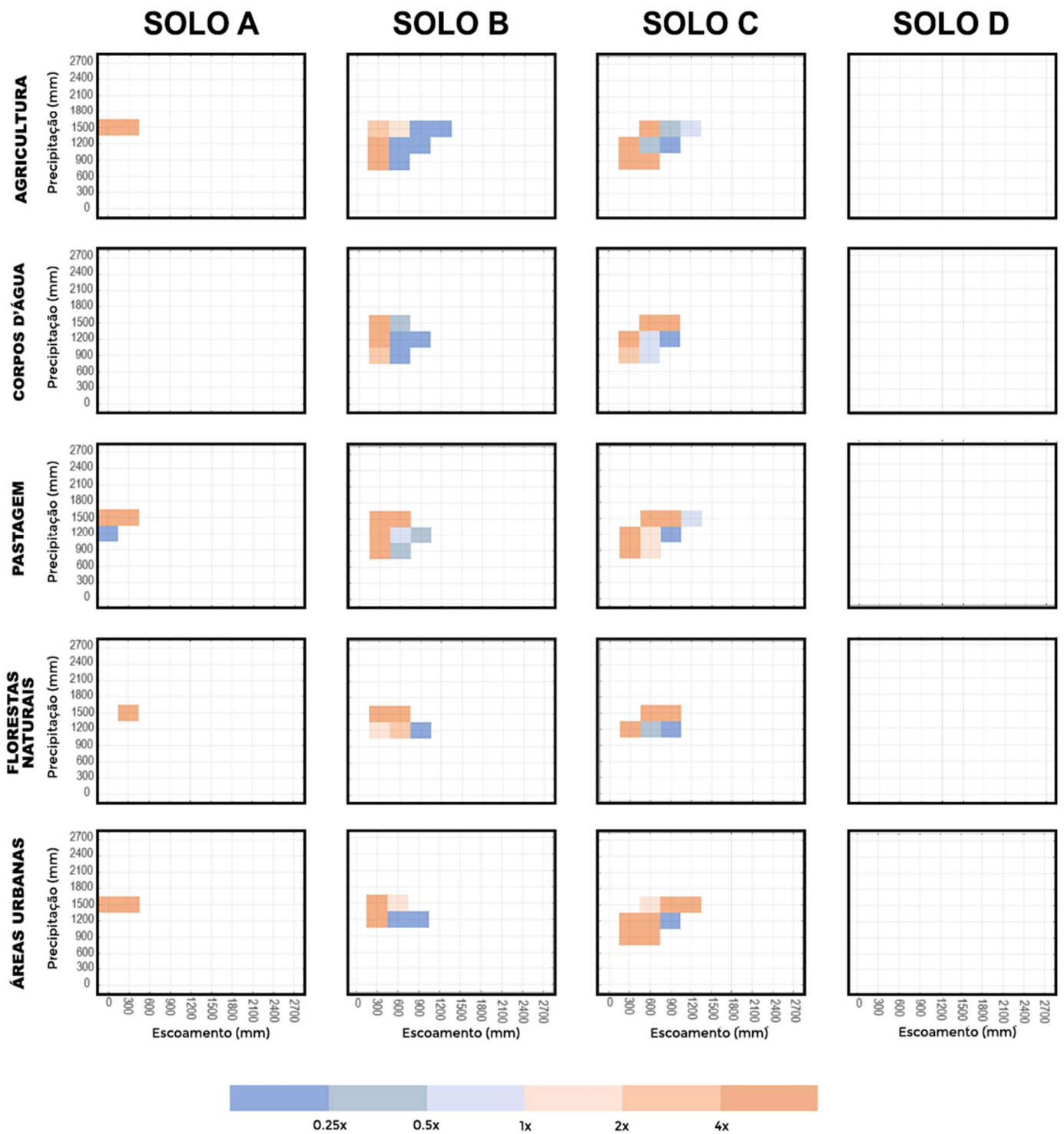
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2006



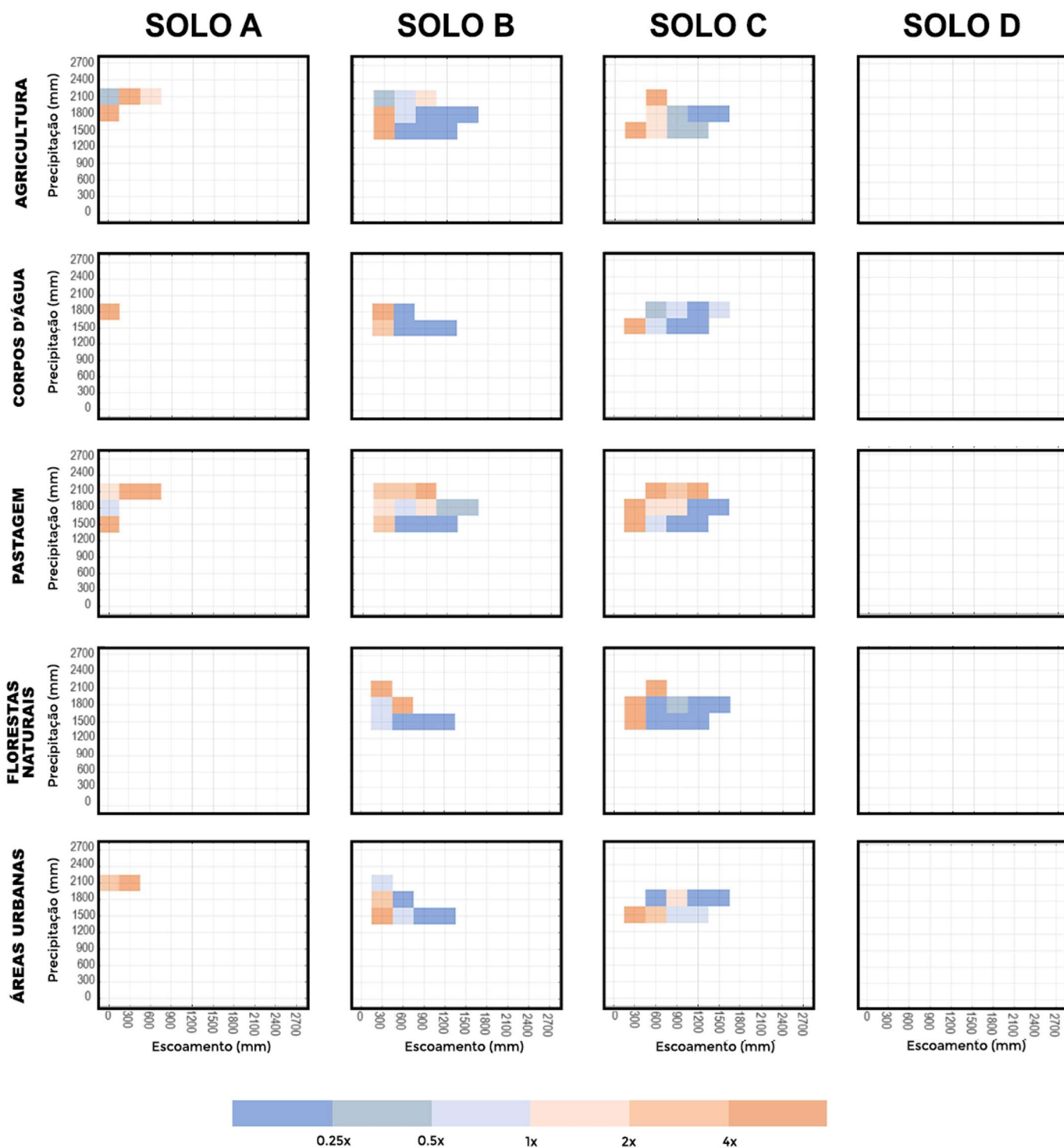
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2007



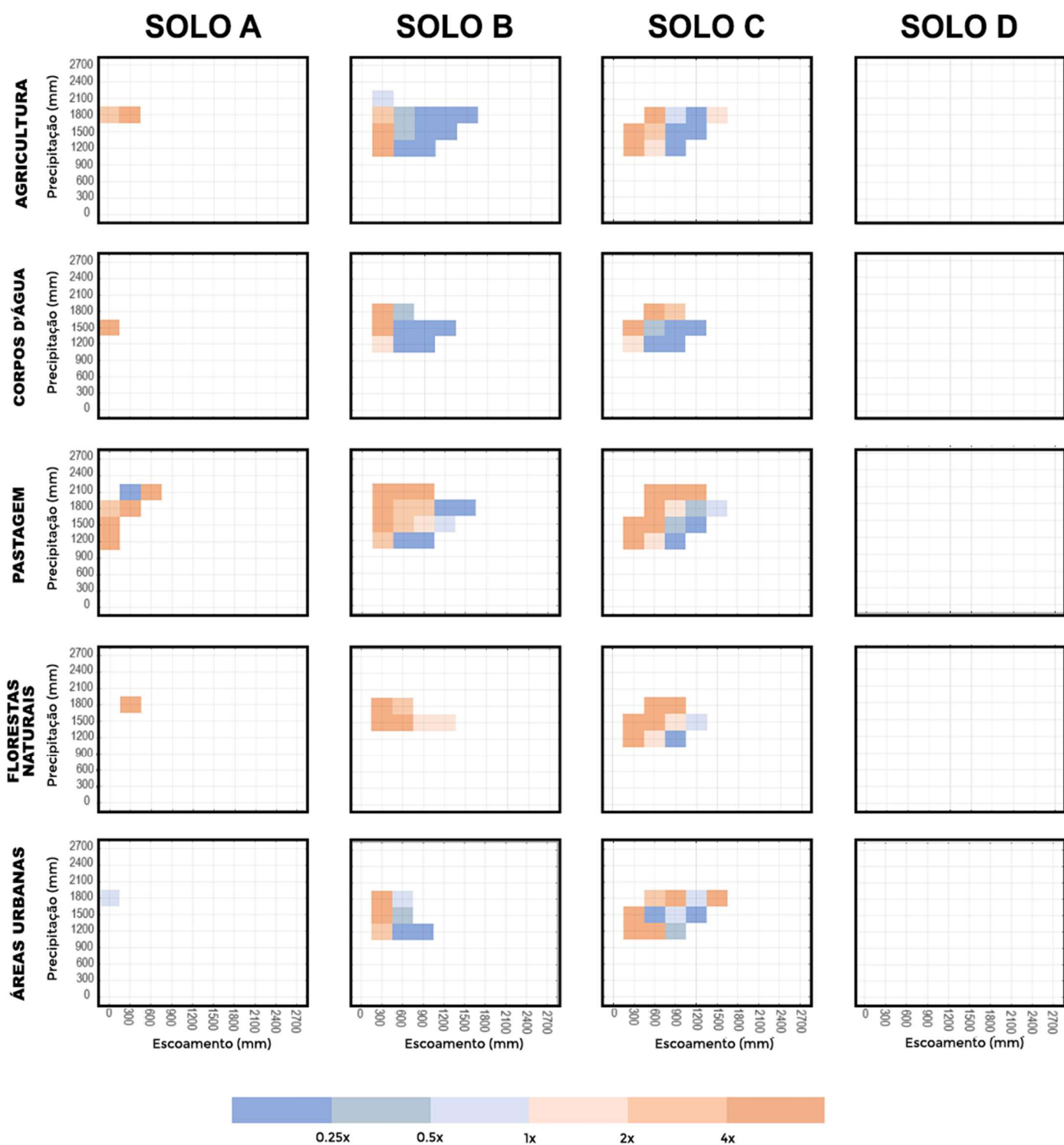
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2008



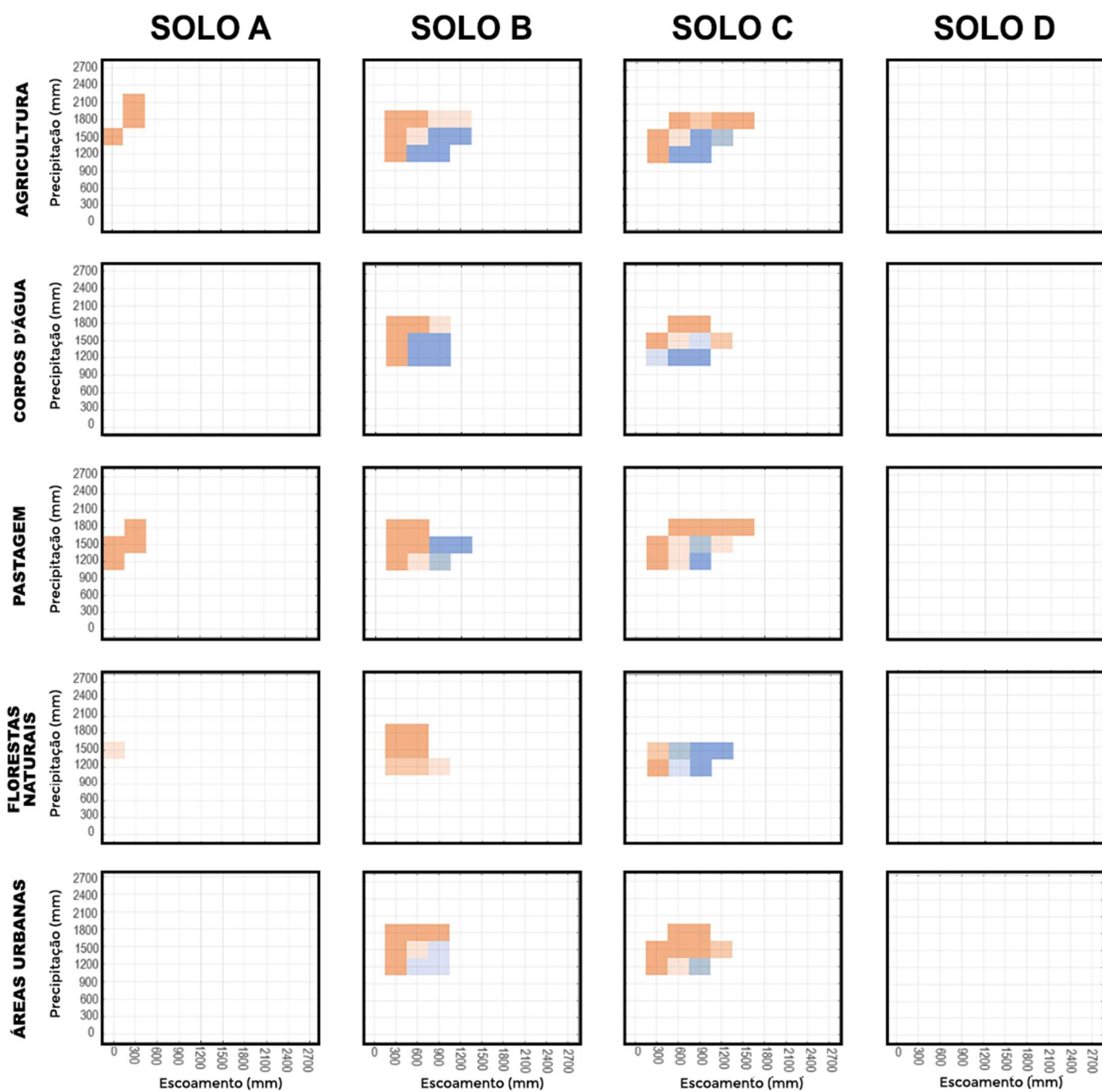
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2009



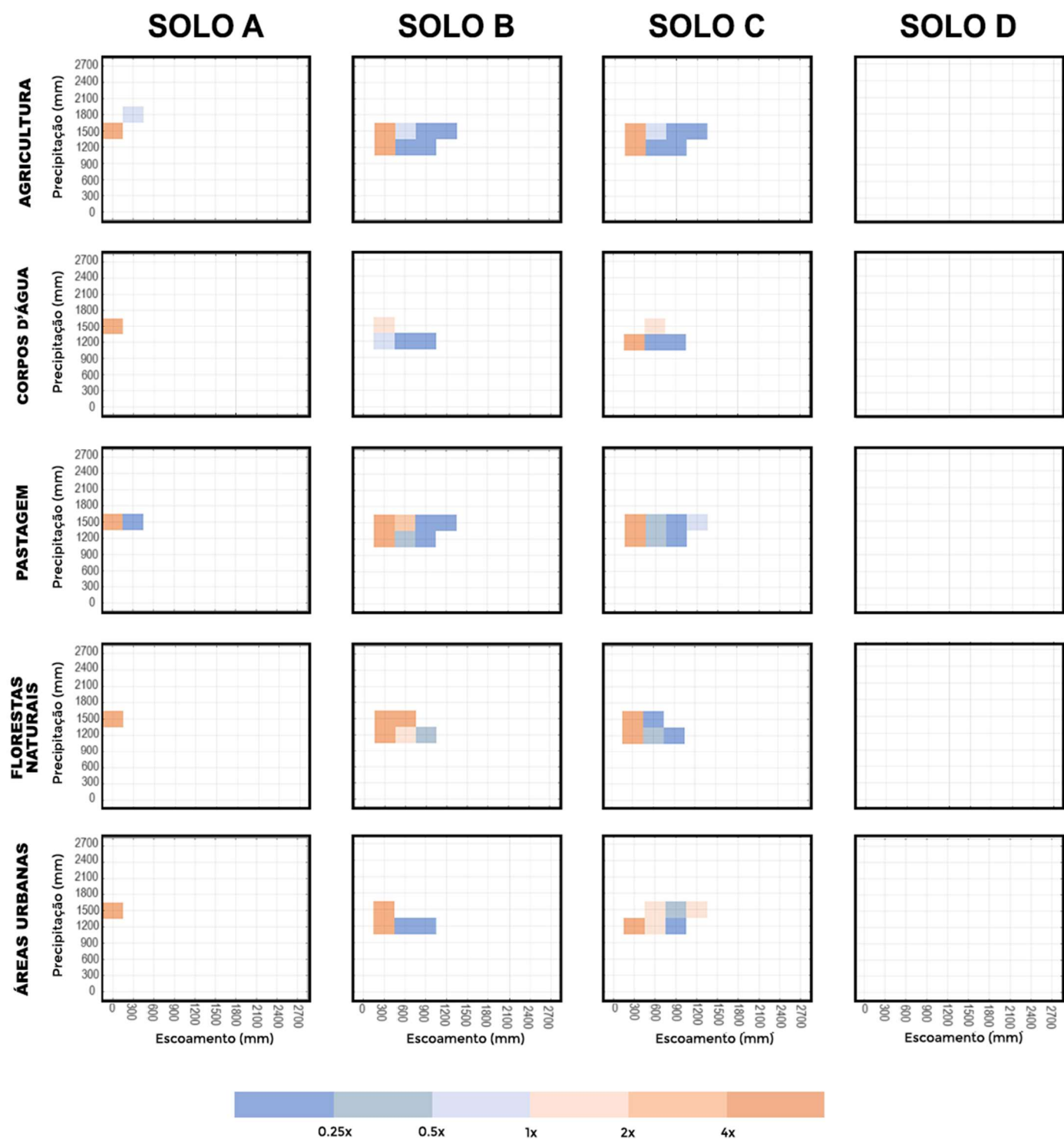
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2010



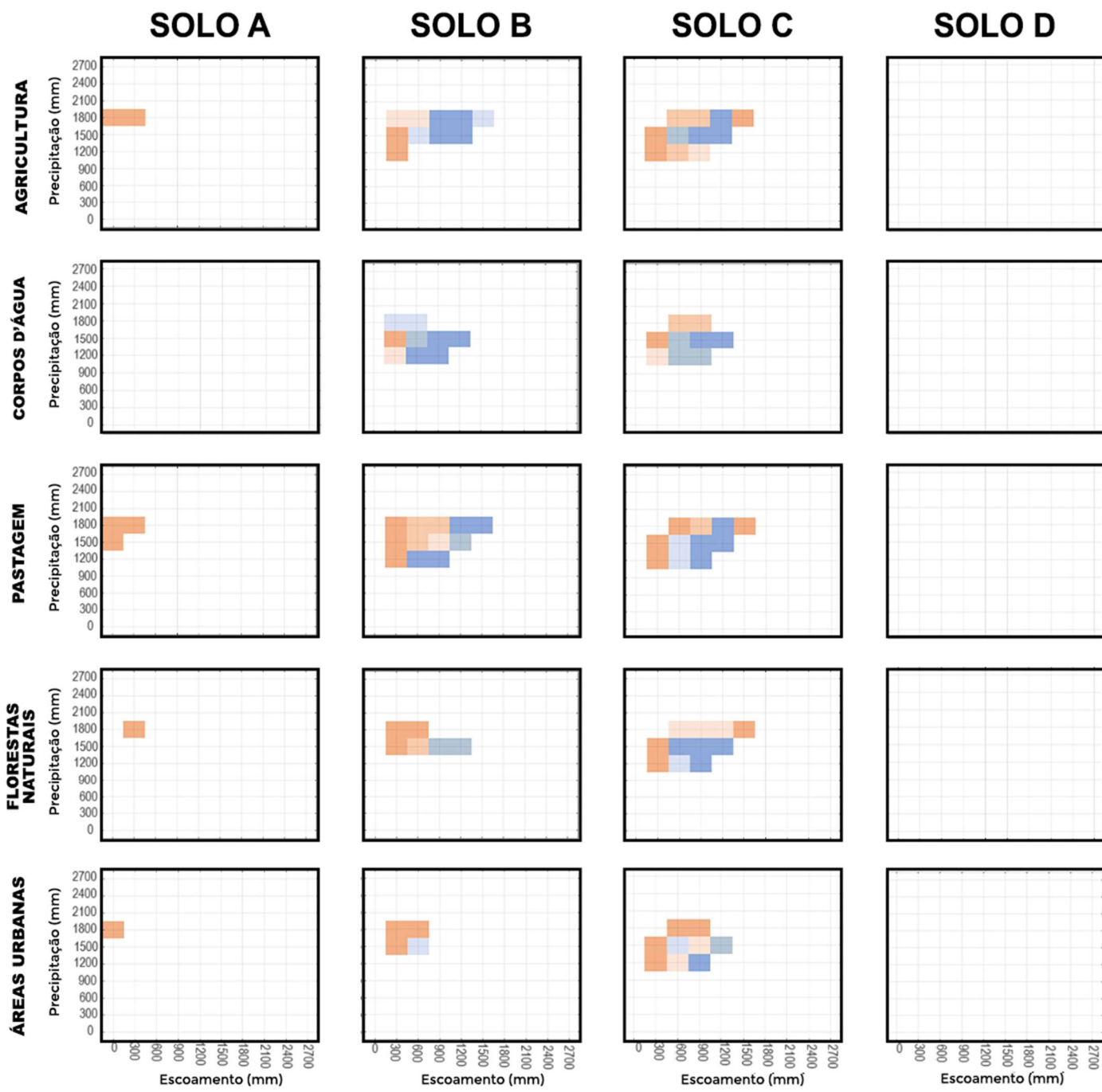
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2011



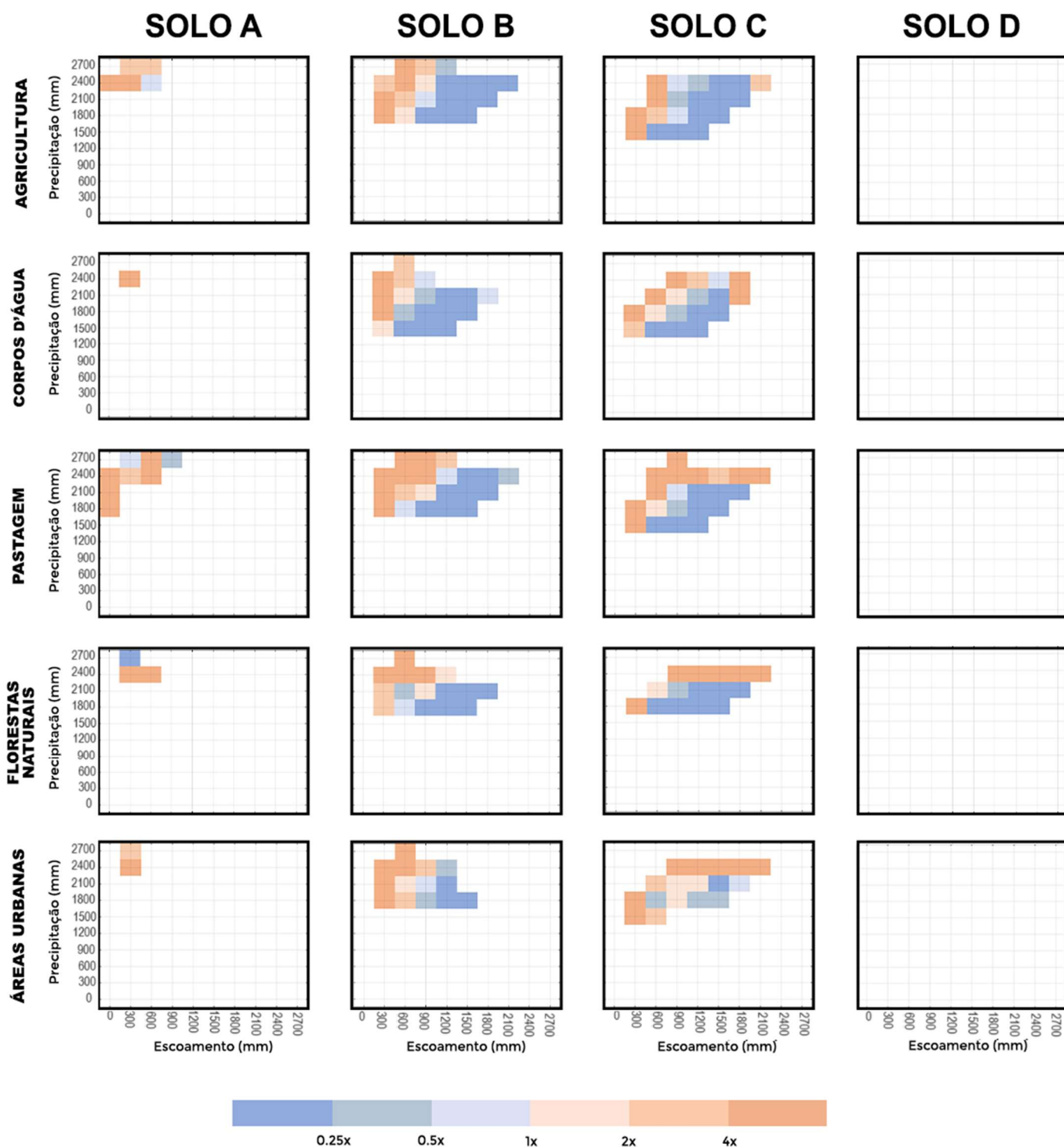
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2012



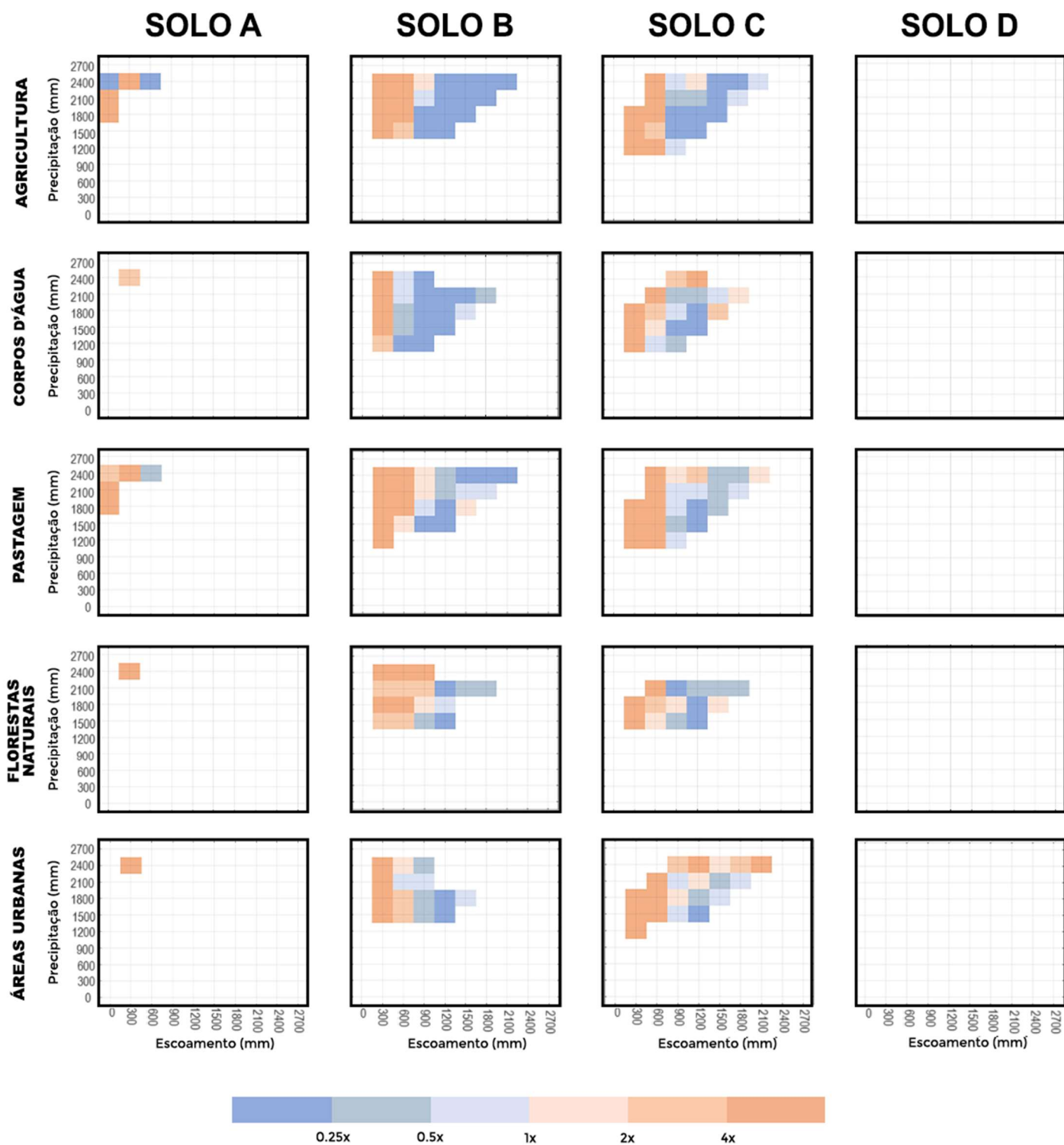
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2013



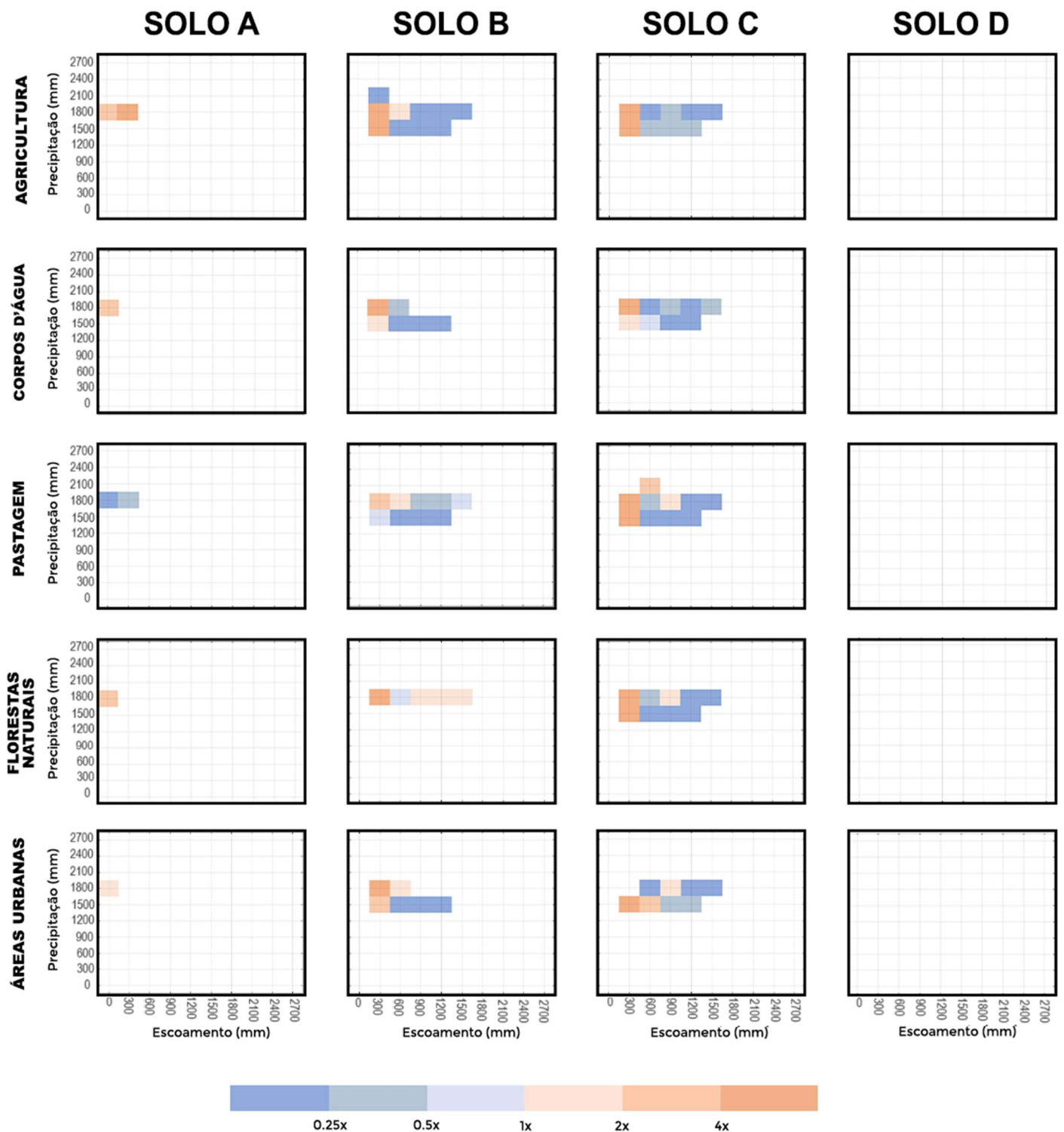
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2014



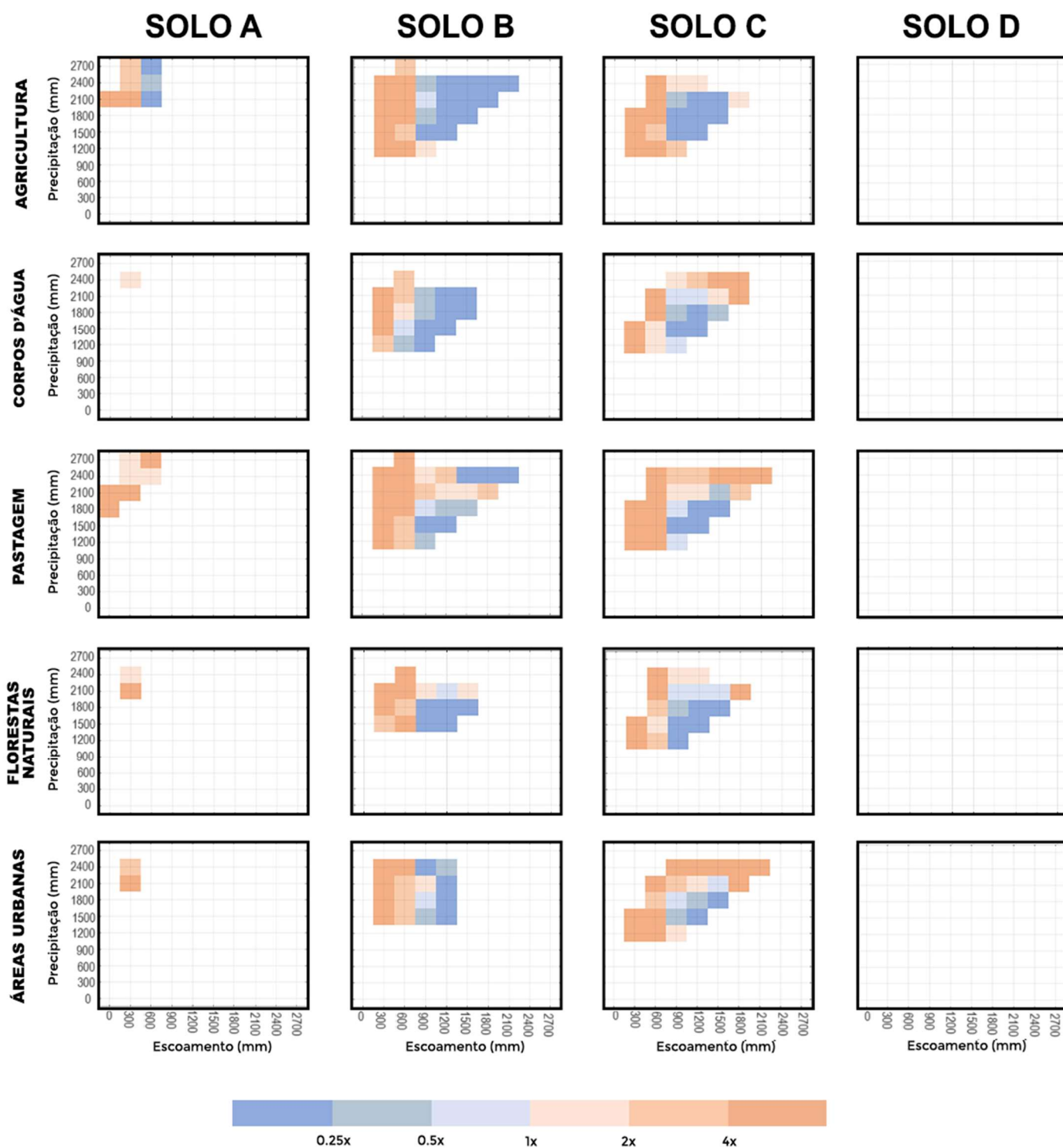
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2015



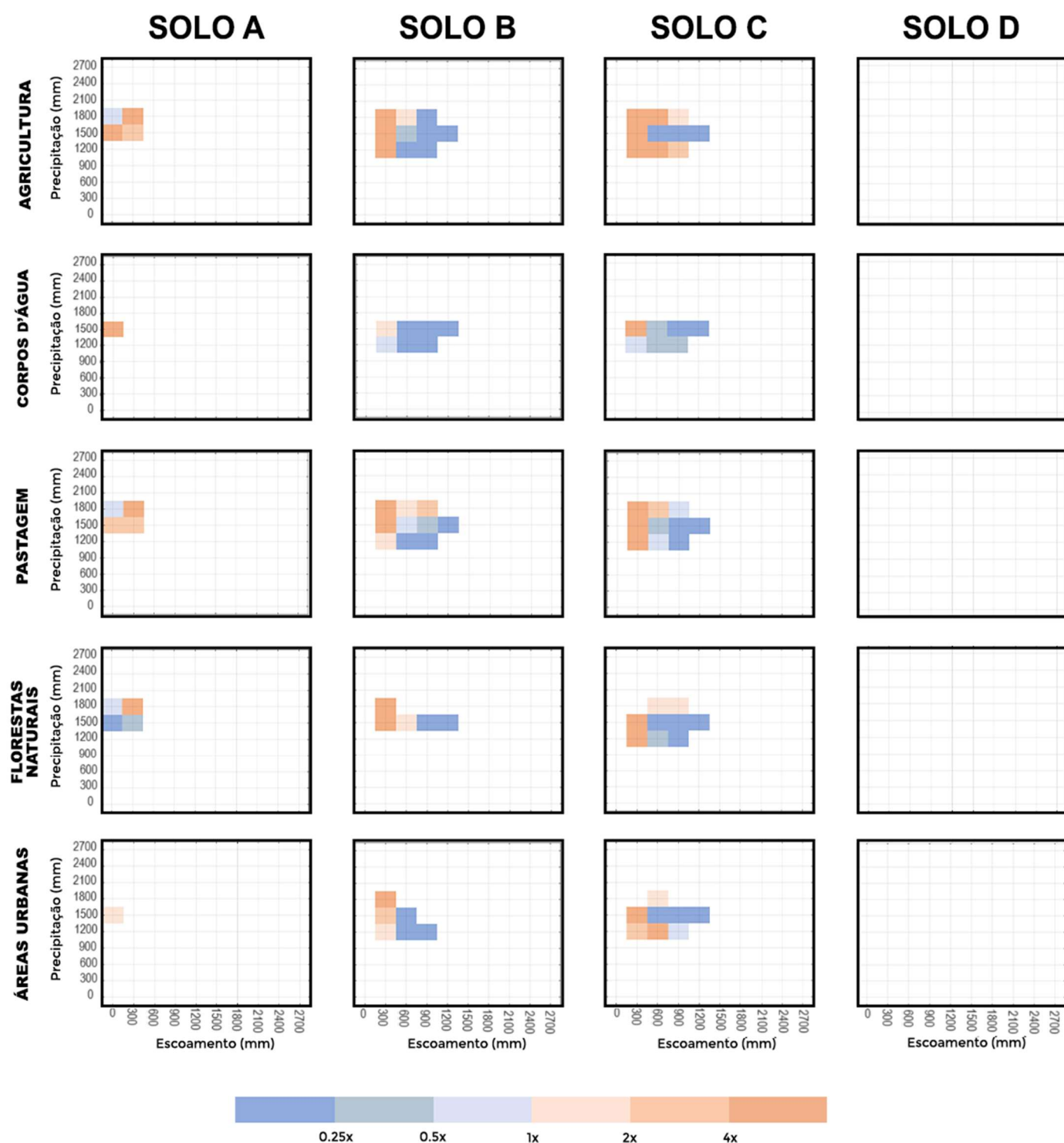
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2016



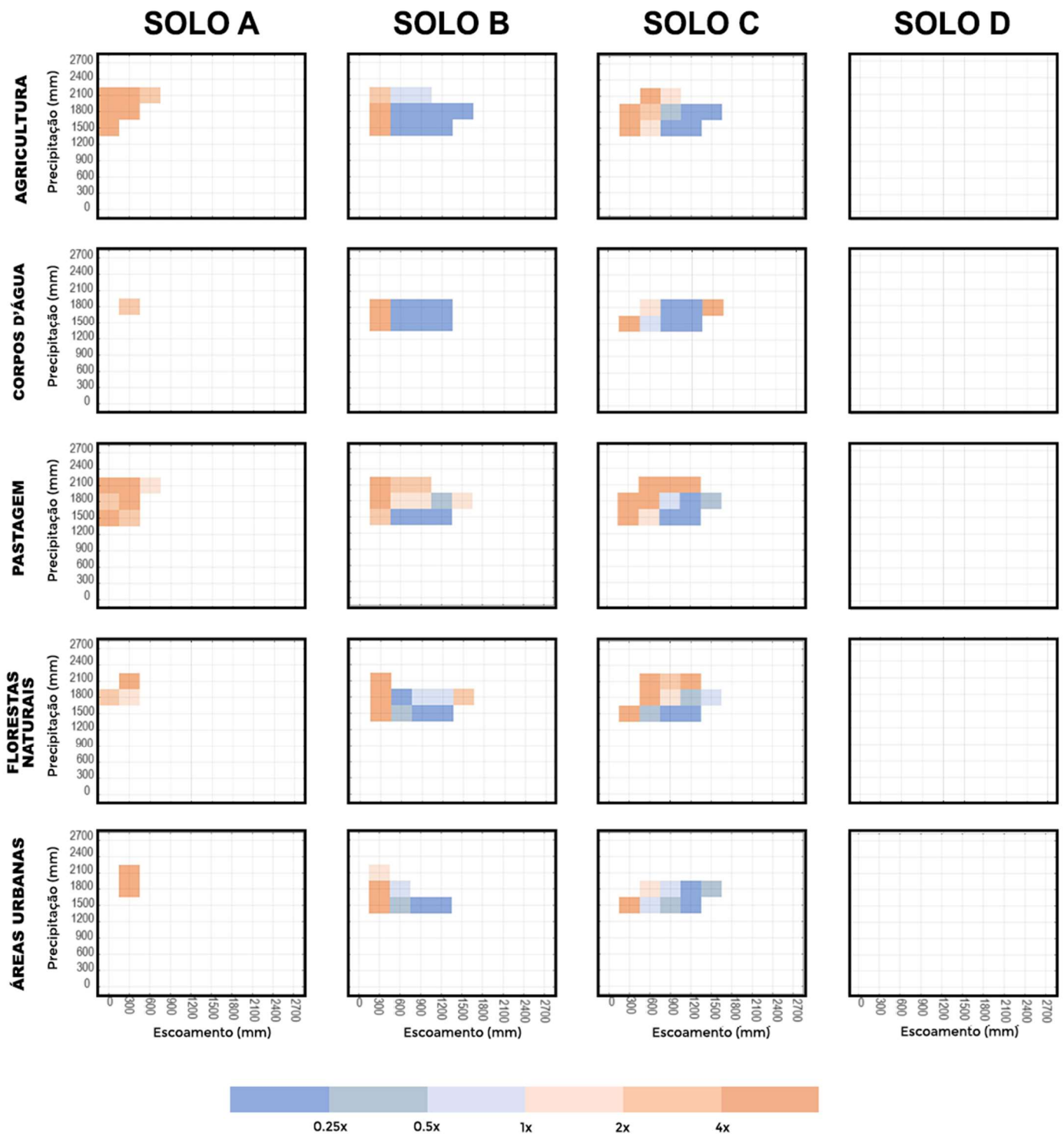
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2017



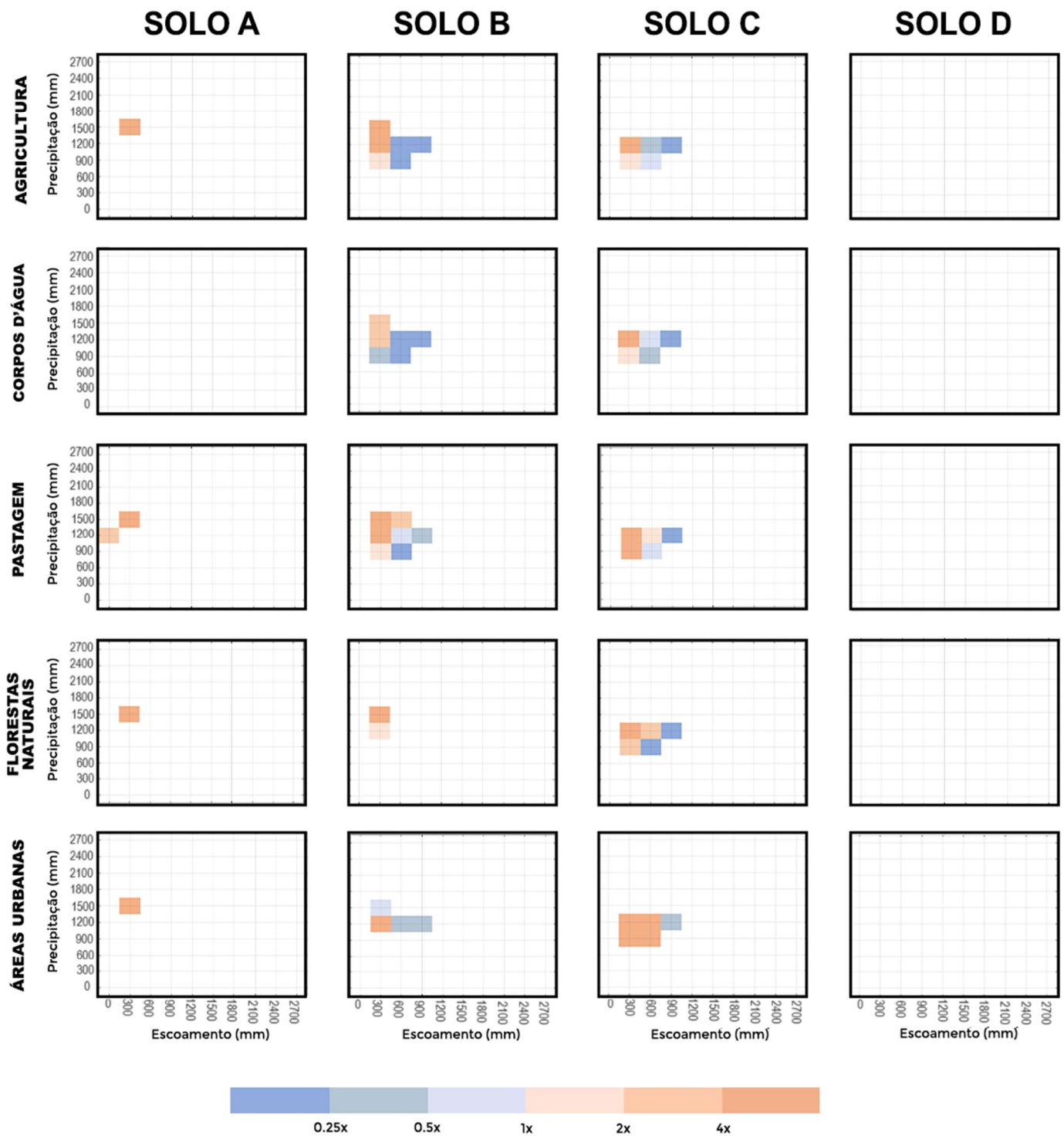
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2018



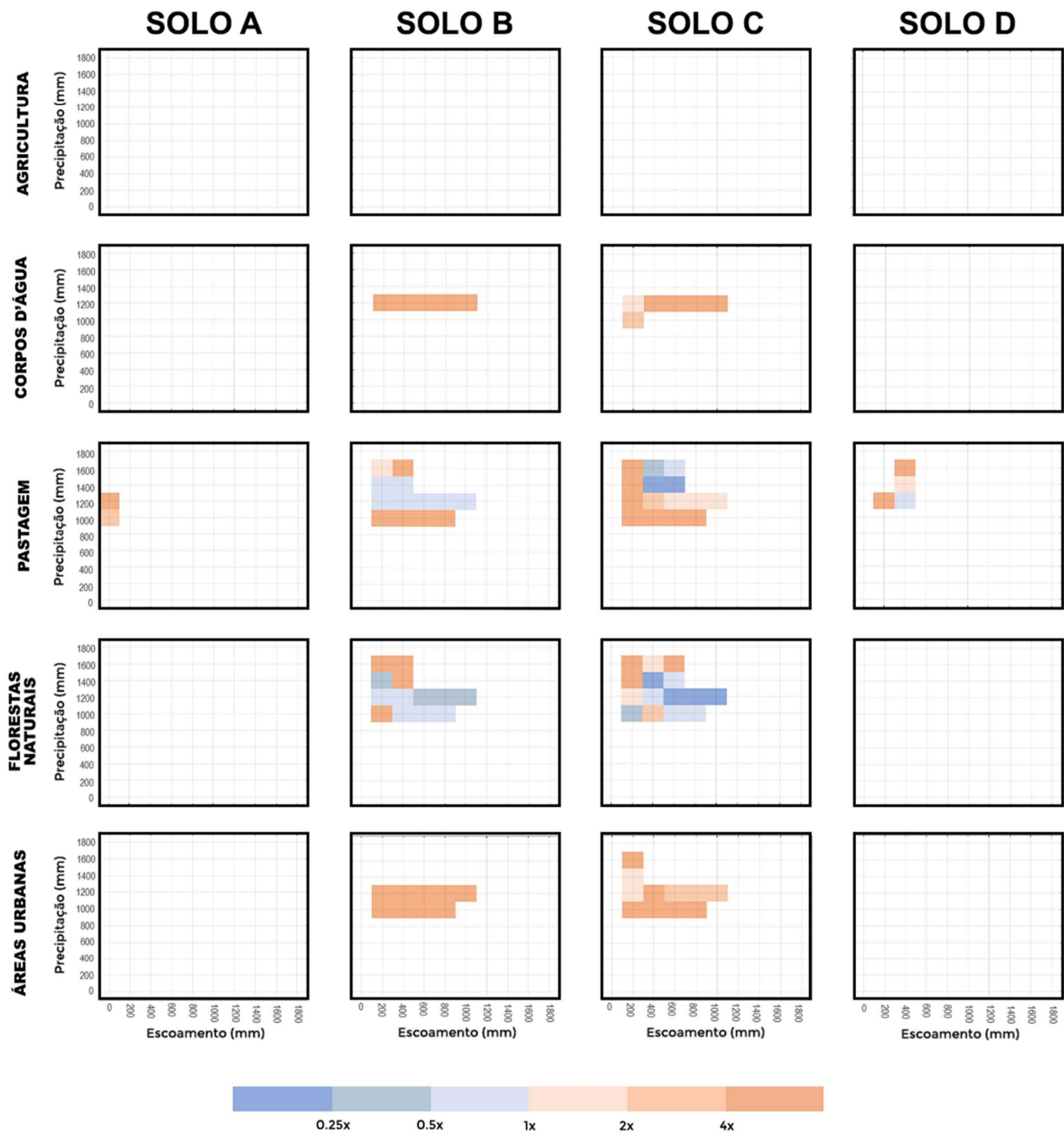
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2019



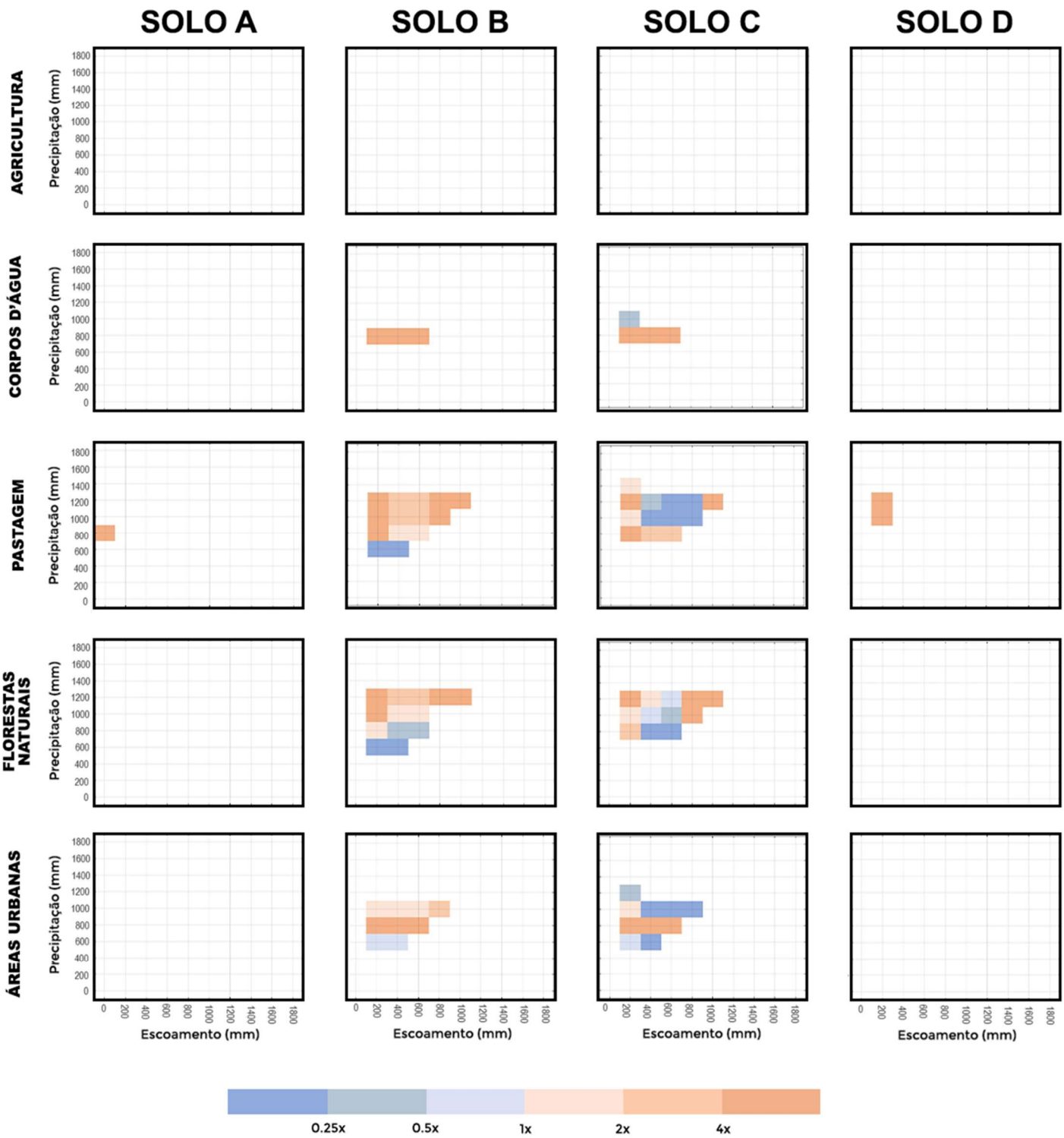
Teste de Fisher - Bioma Pampa 2020



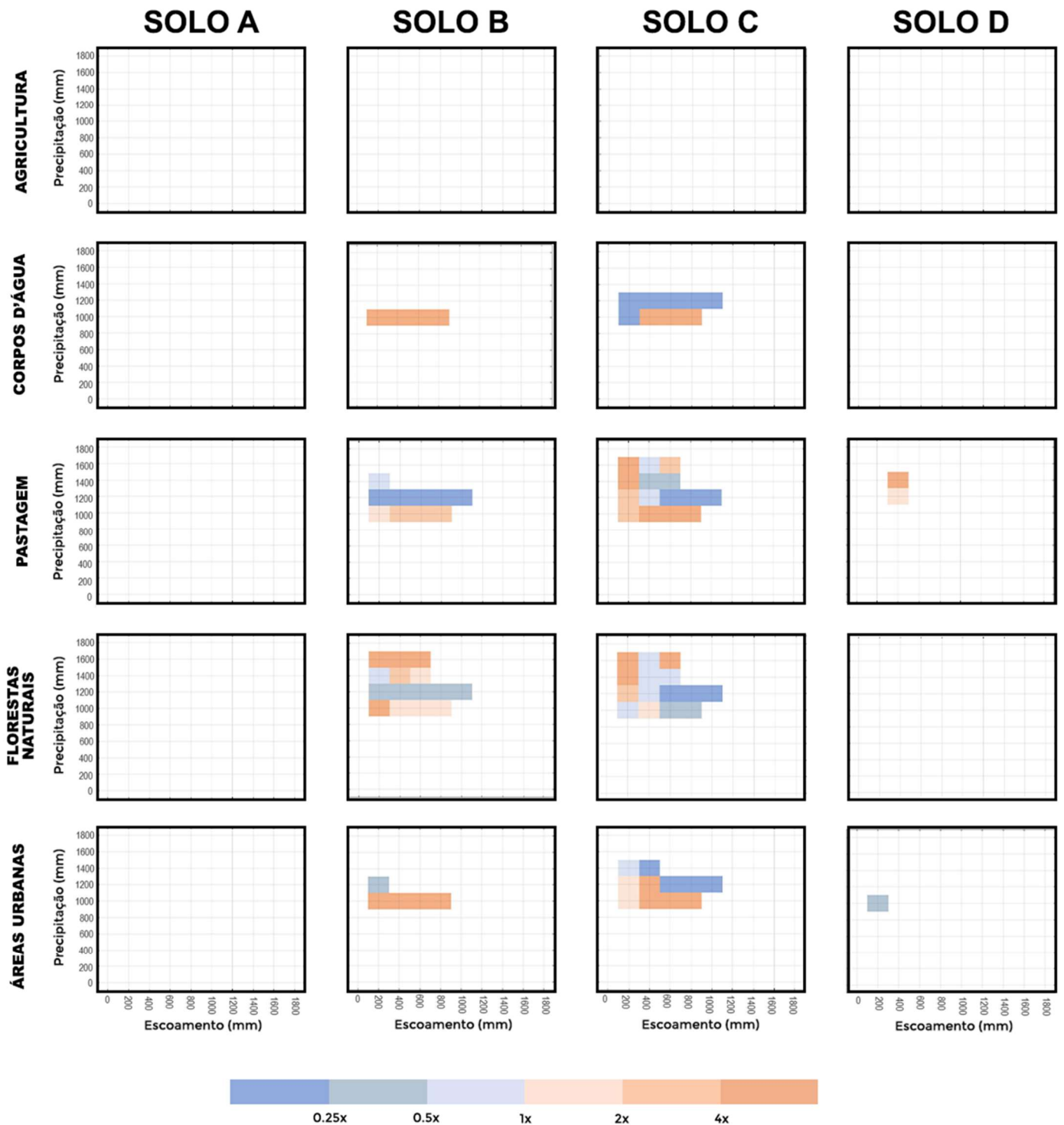
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2001



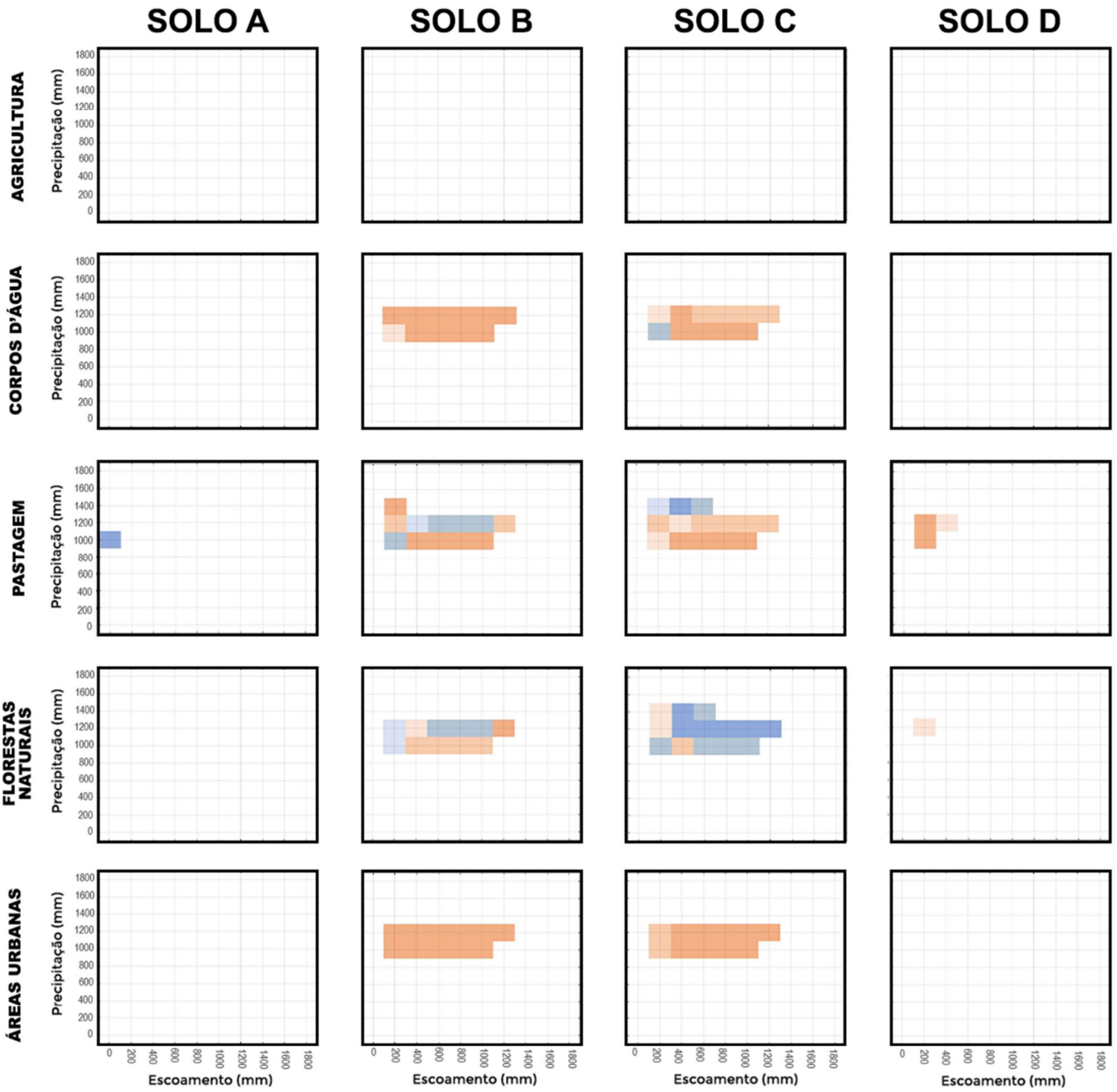
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2002



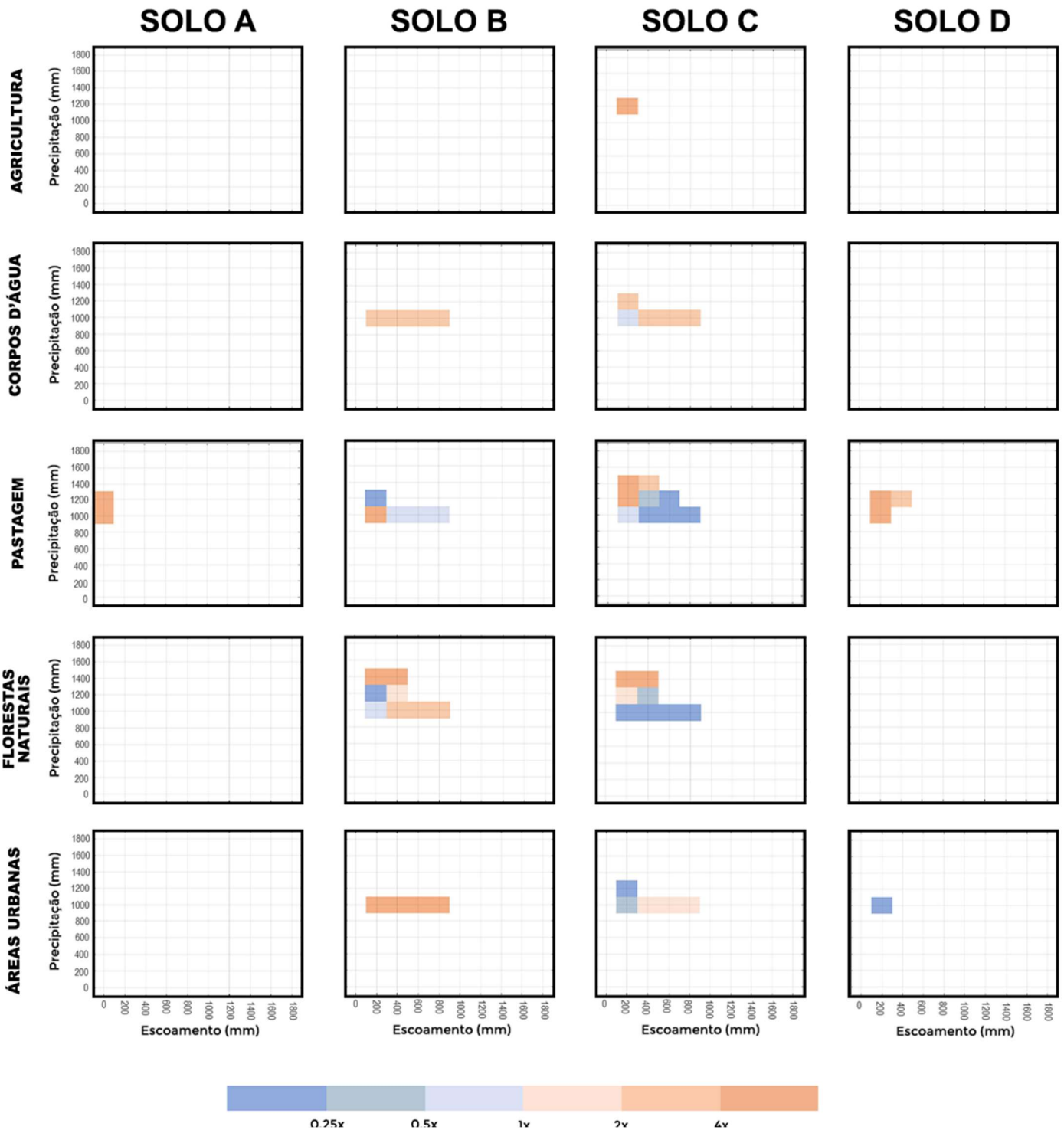
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2003



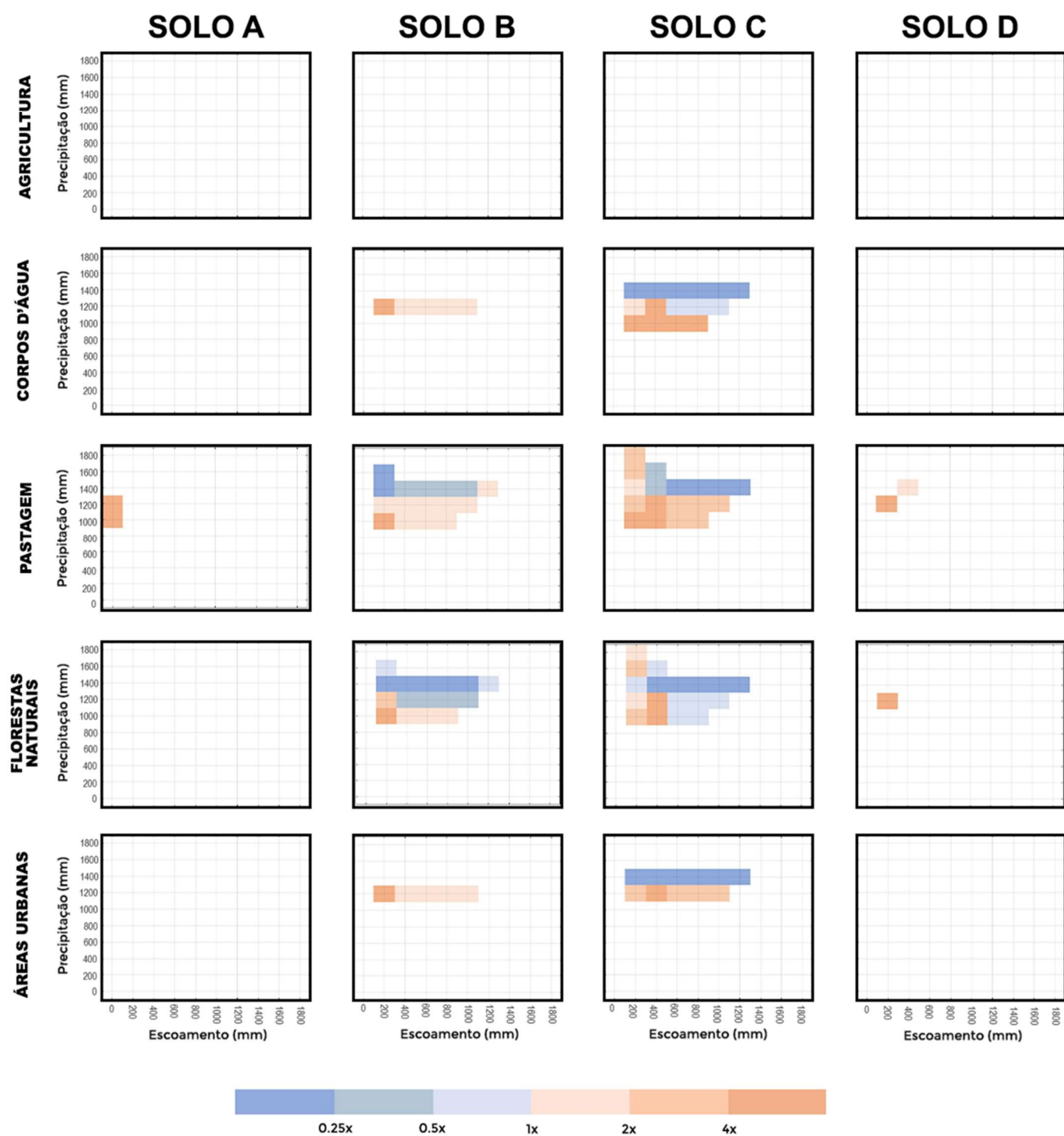
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2004

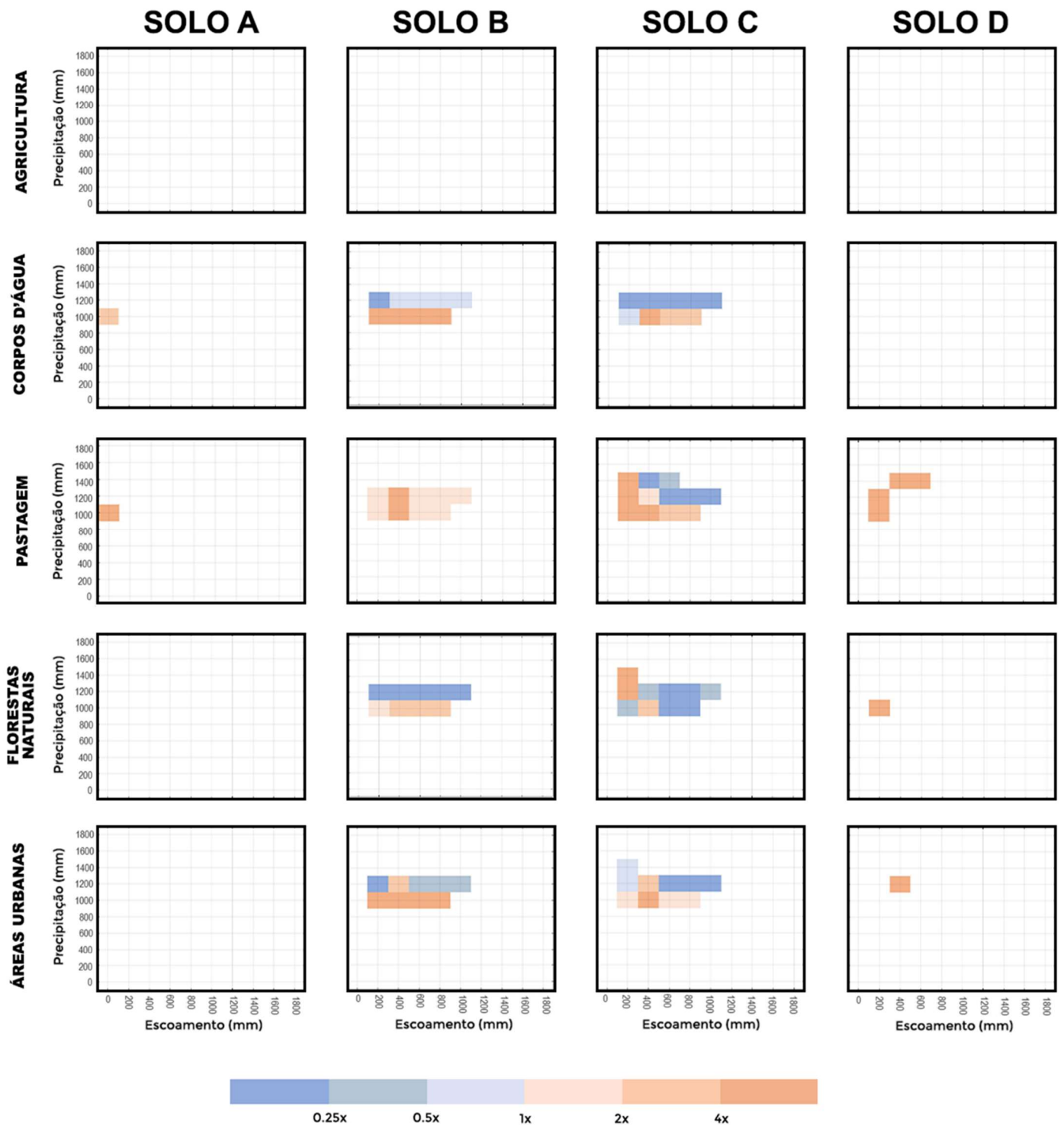


Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2005

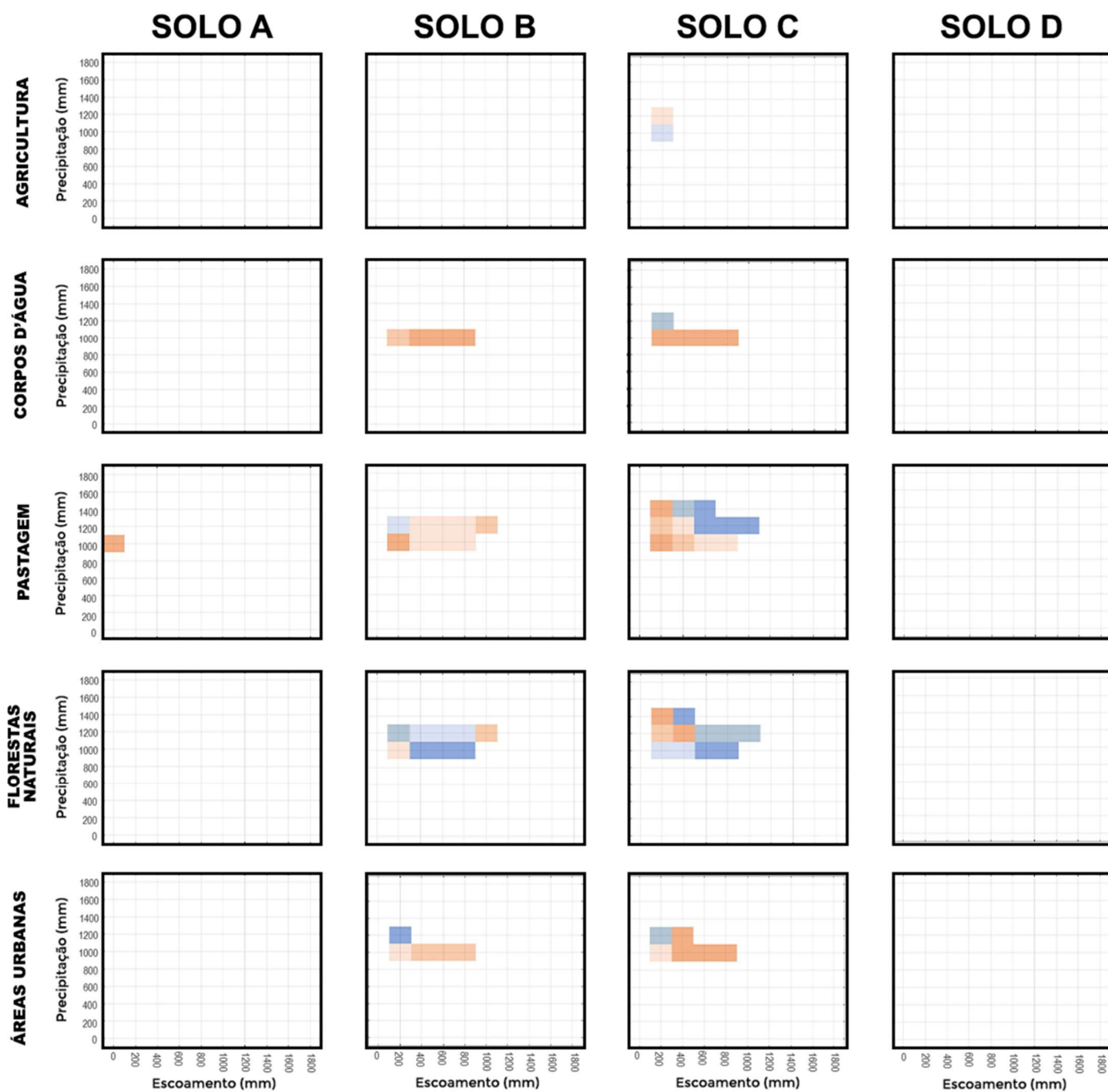


Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2006

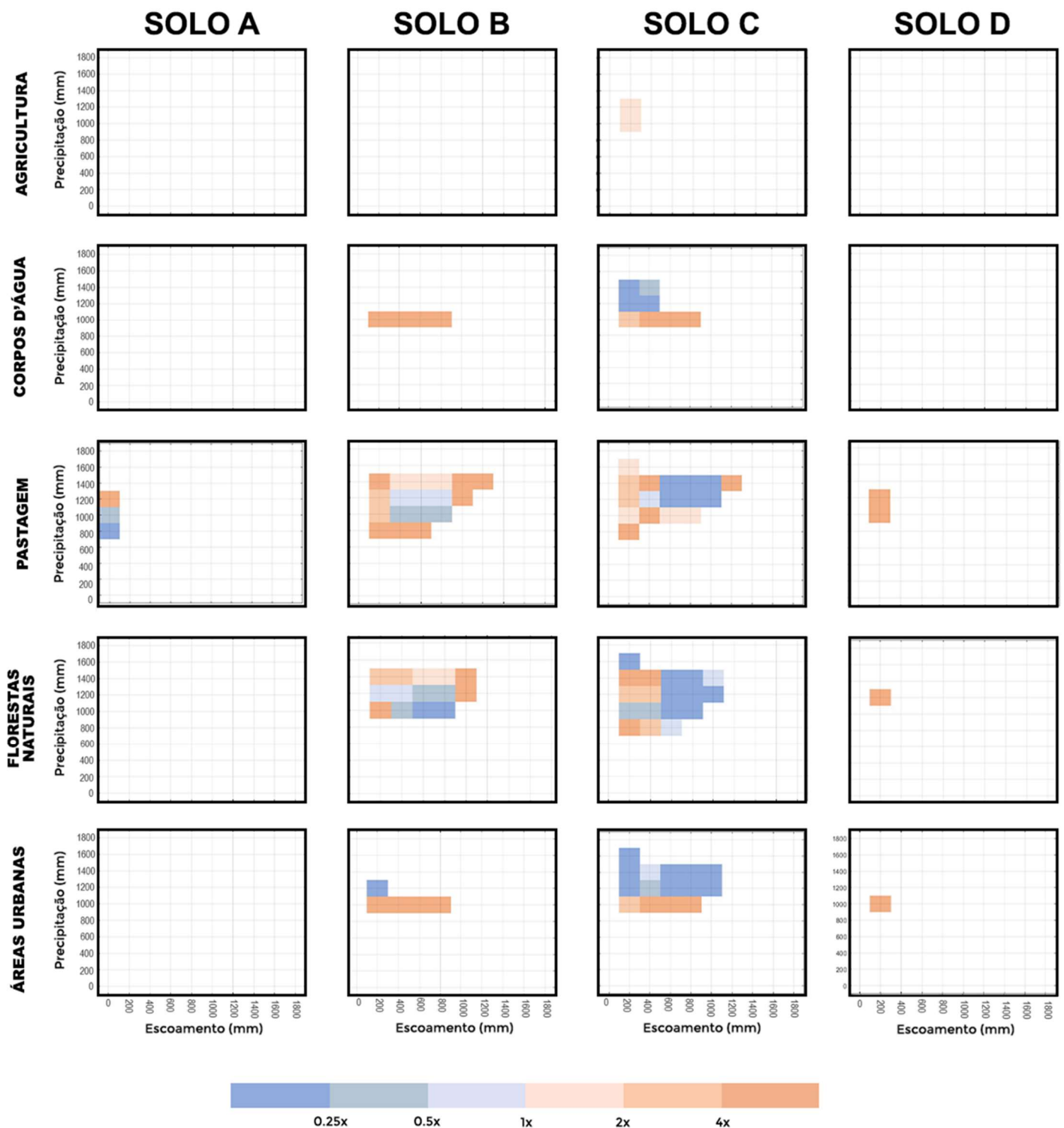




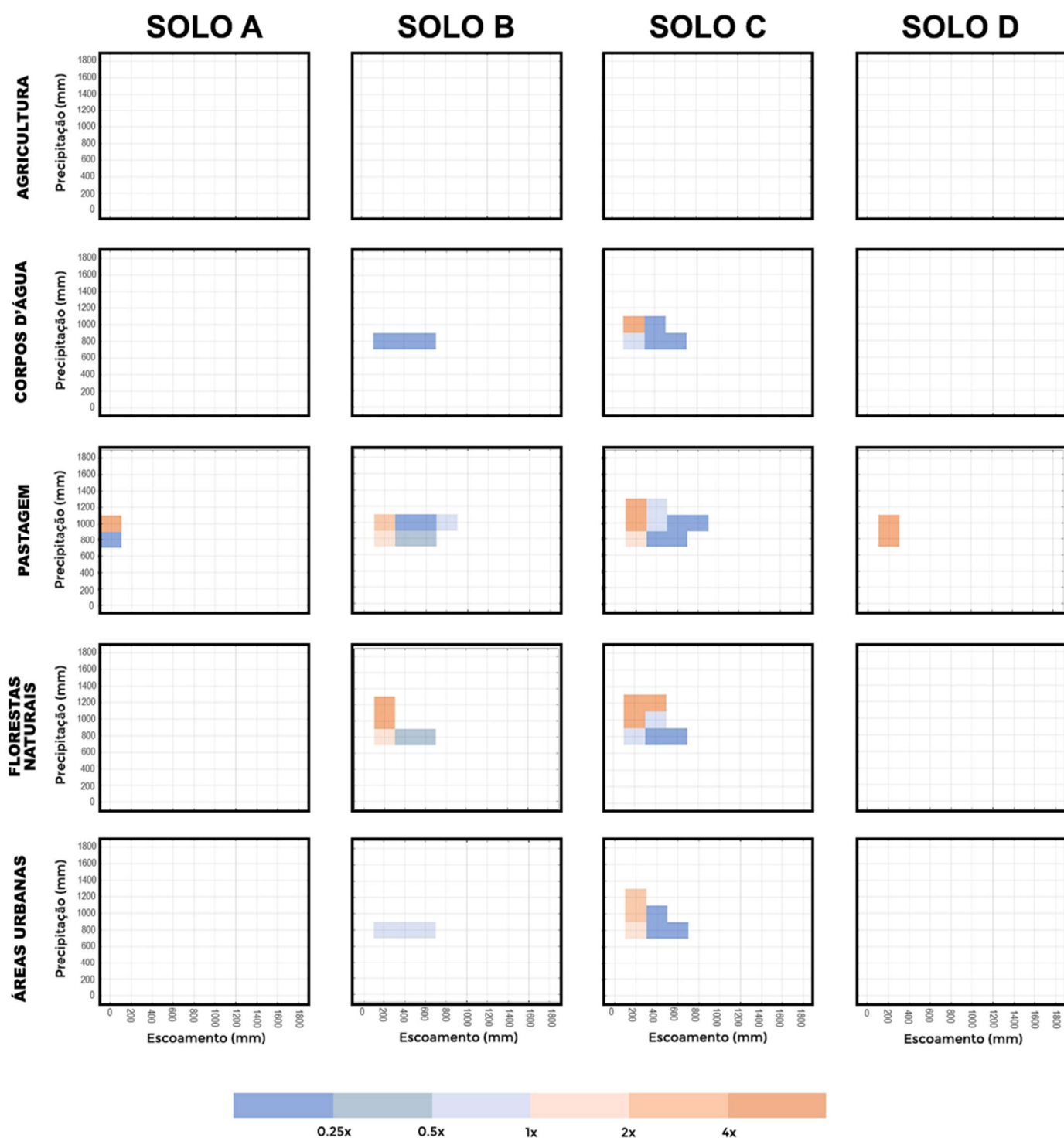
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2008



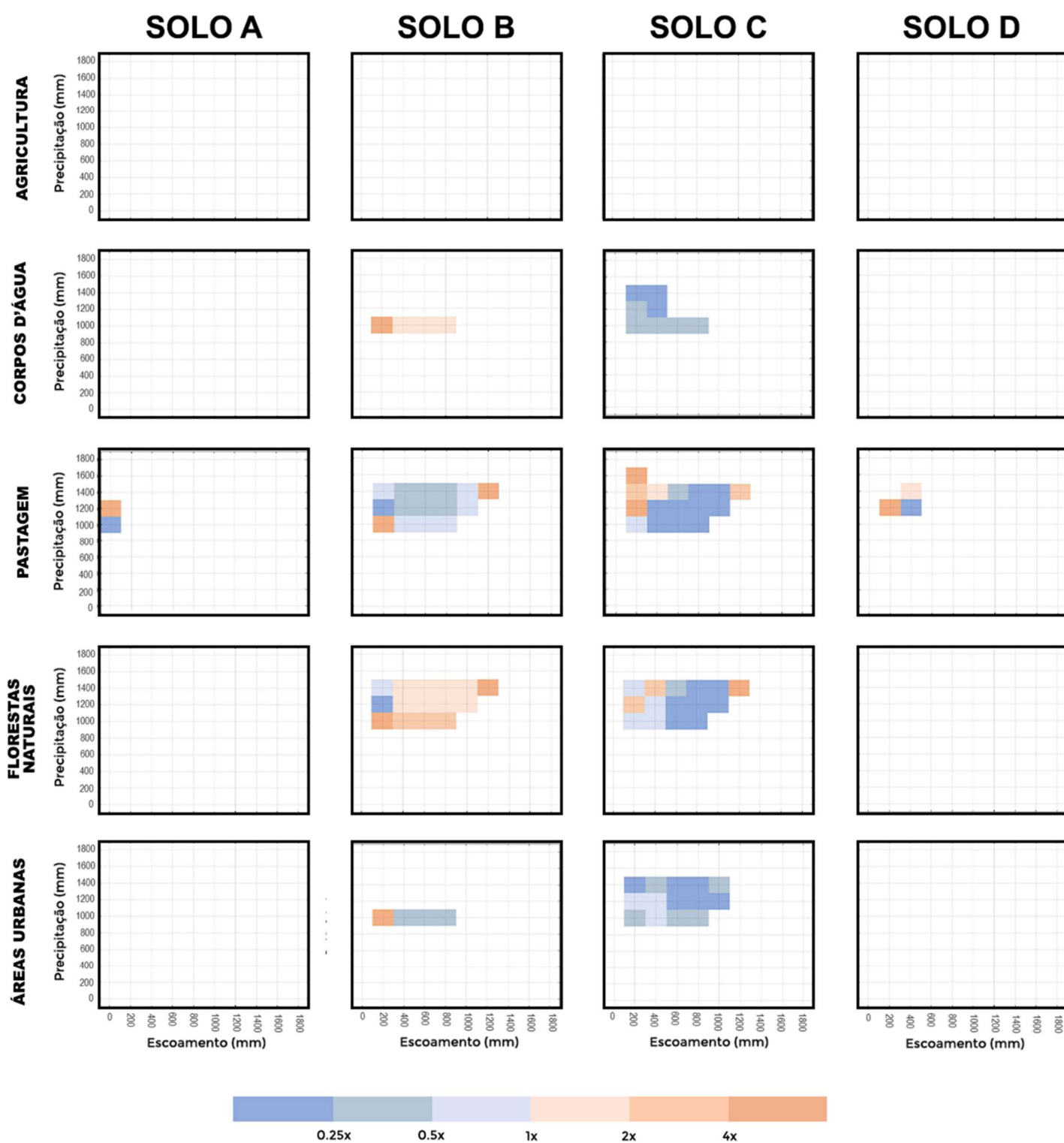
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2009



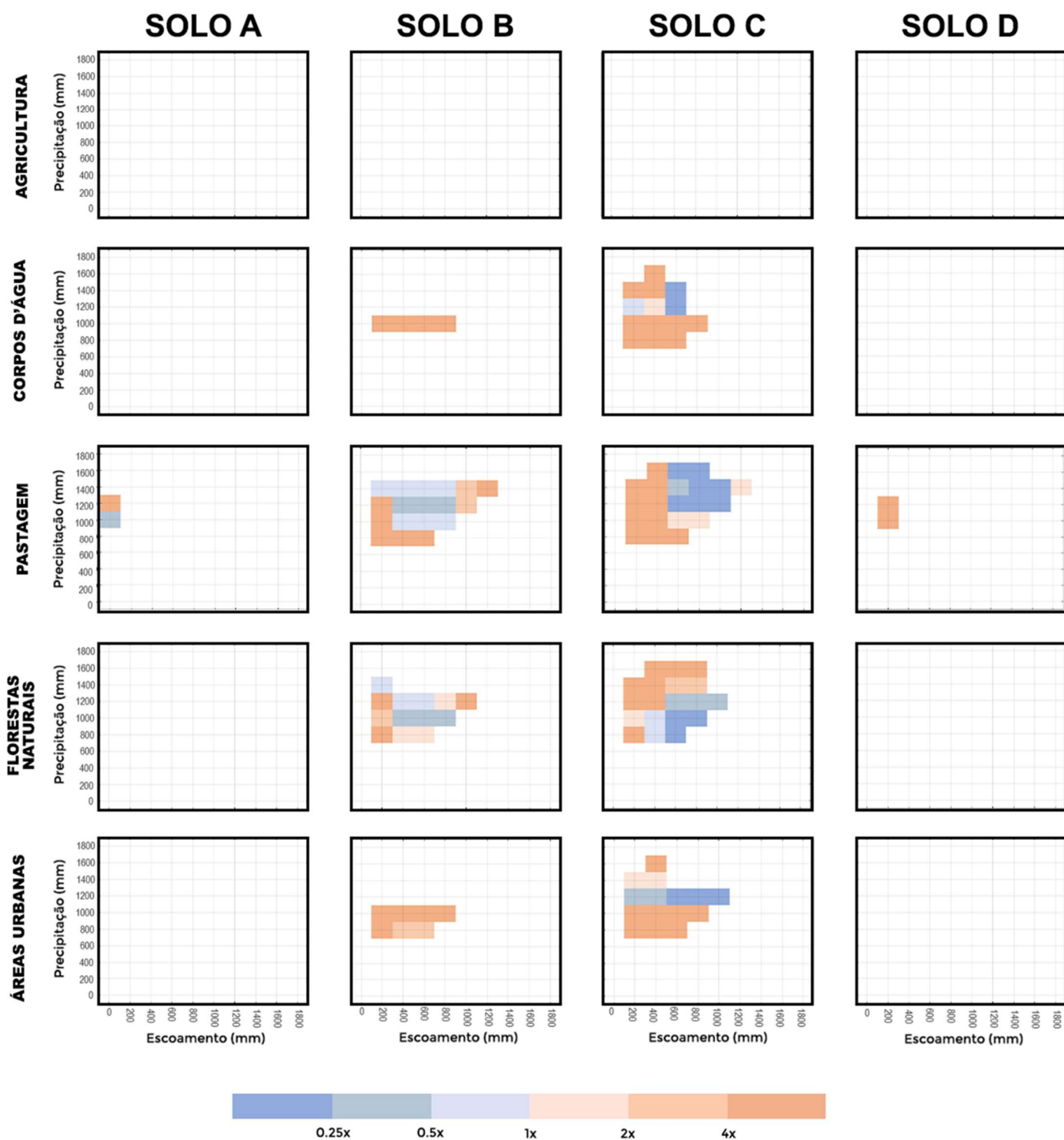
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2010



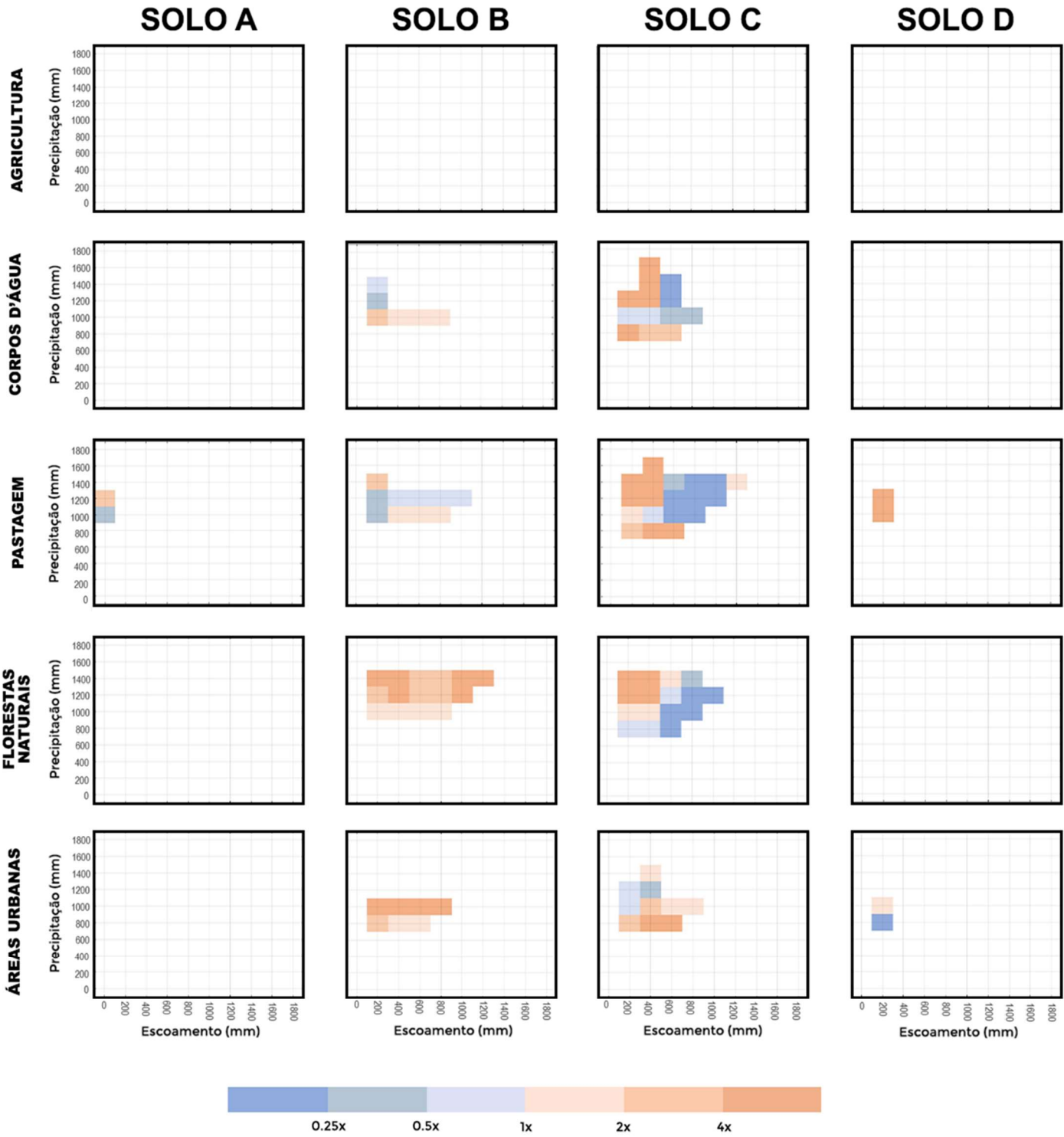
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2011



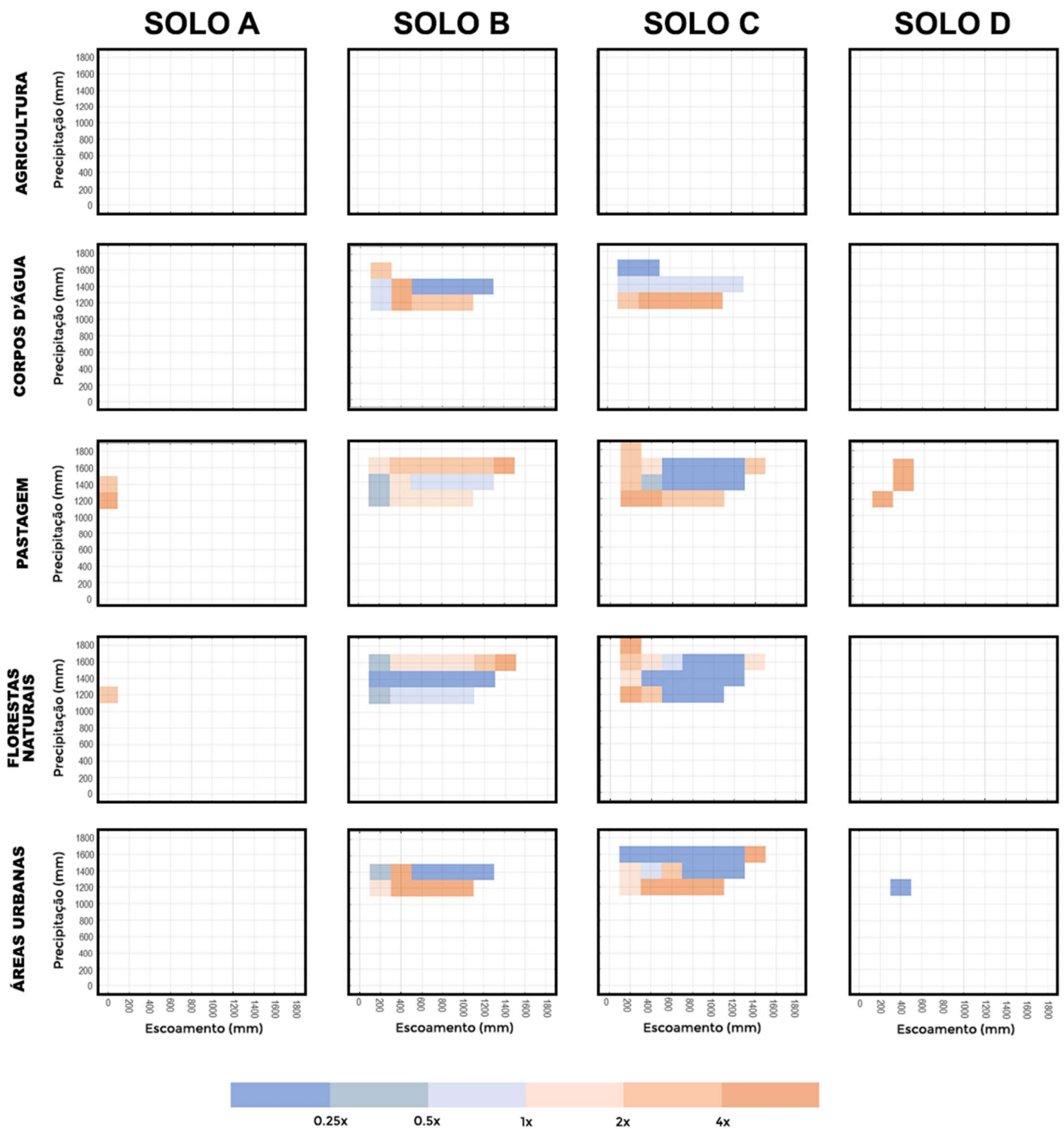
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2012



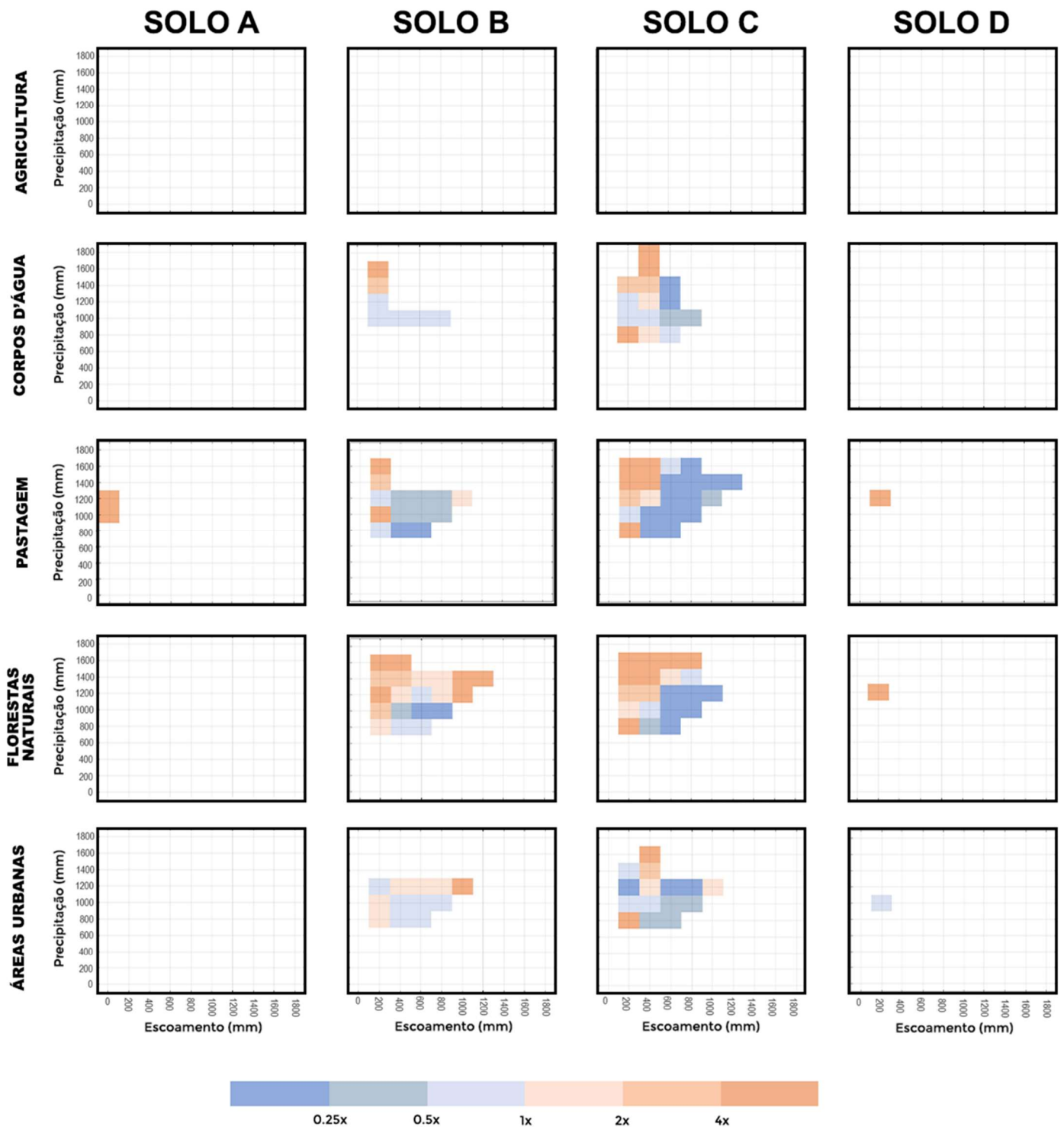
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2013



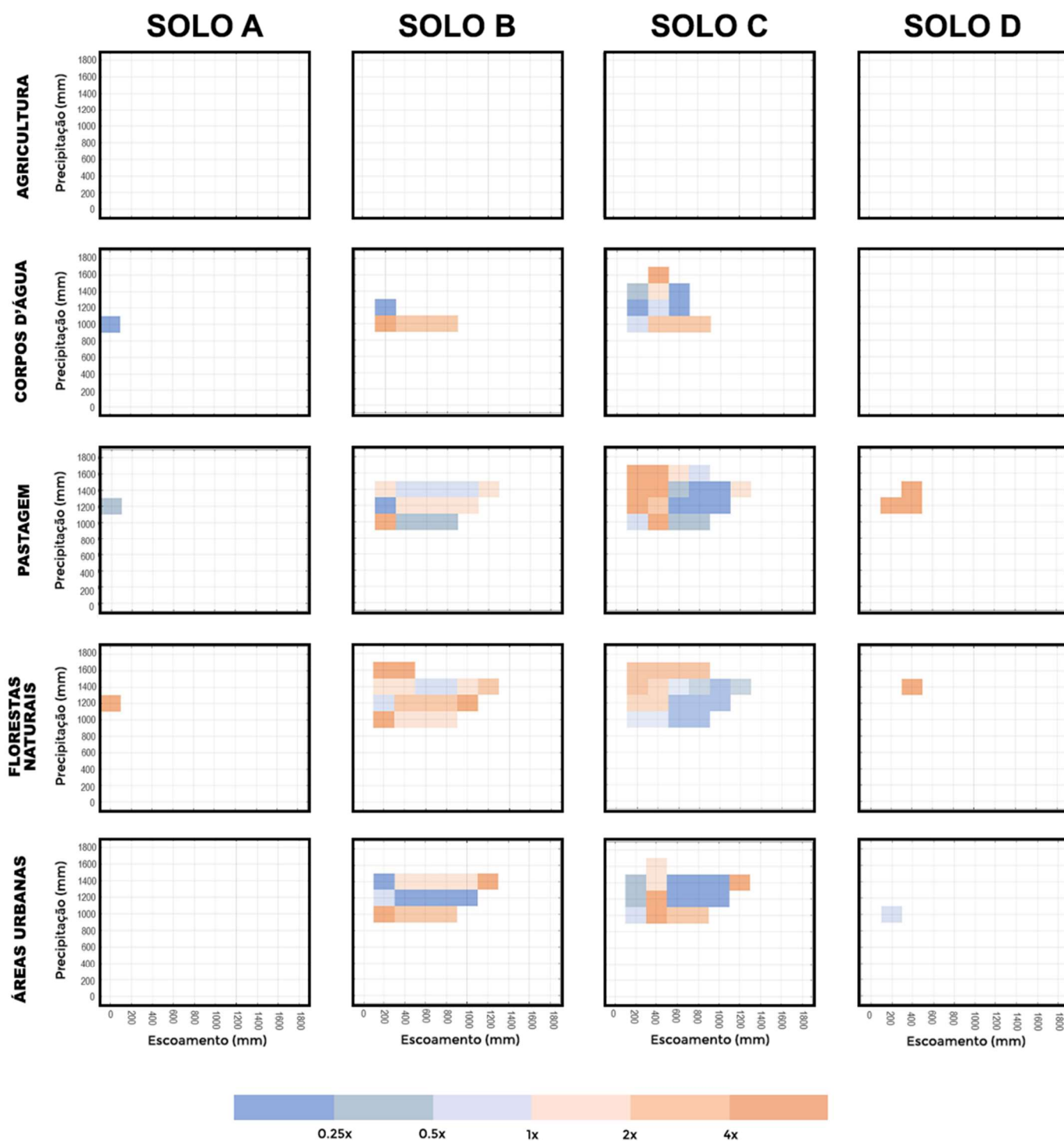
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2014



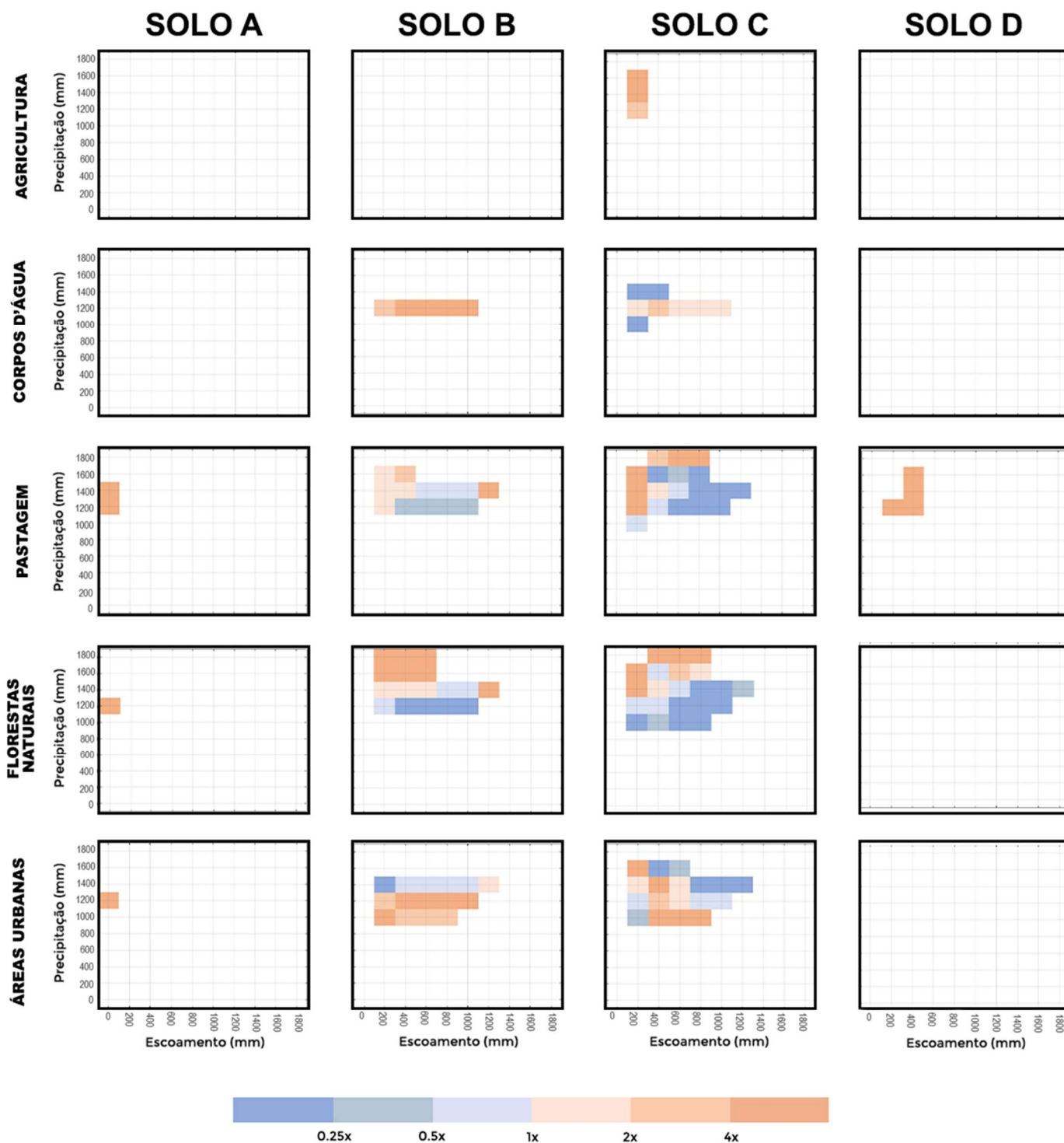
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2015



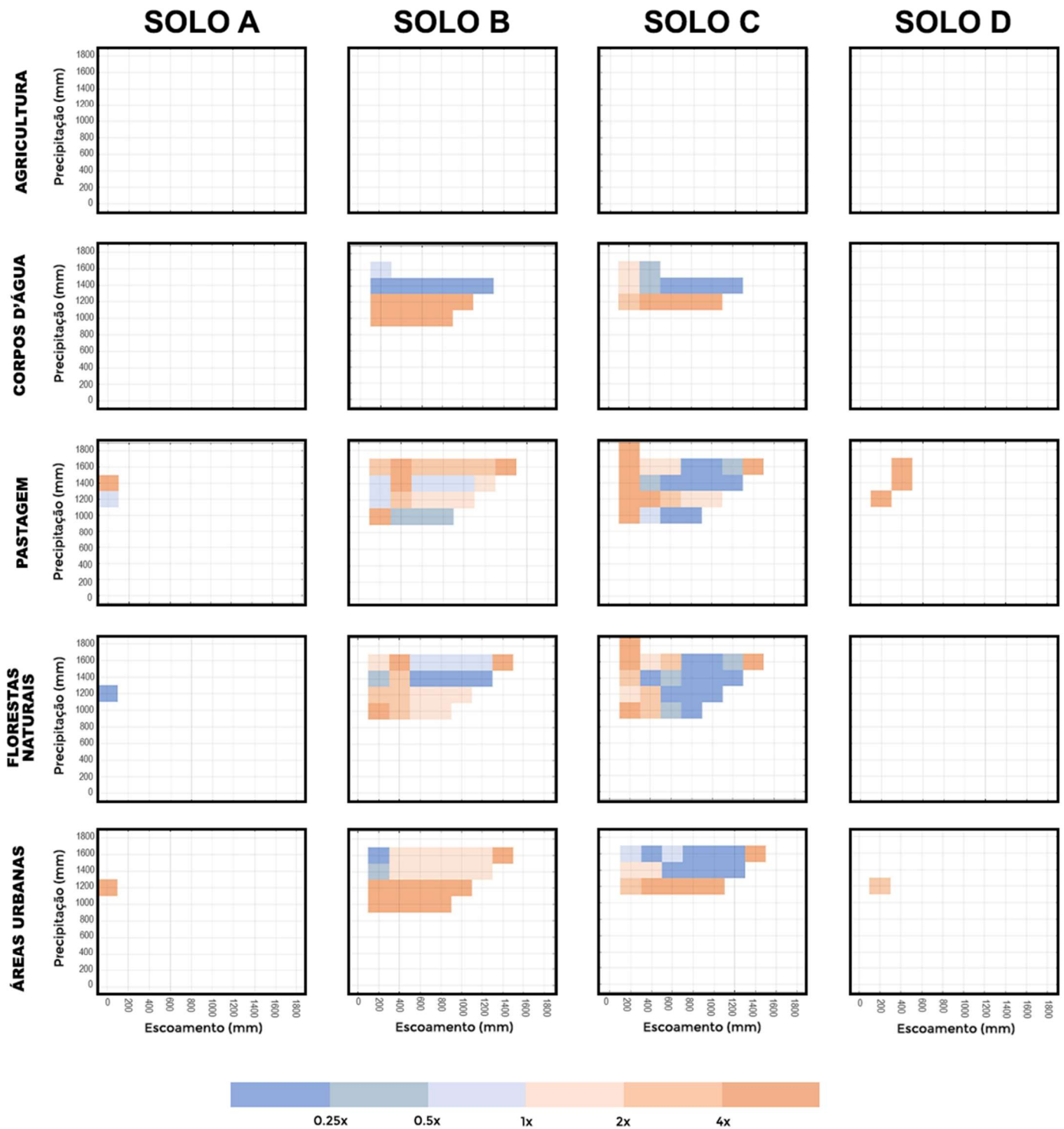
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2016



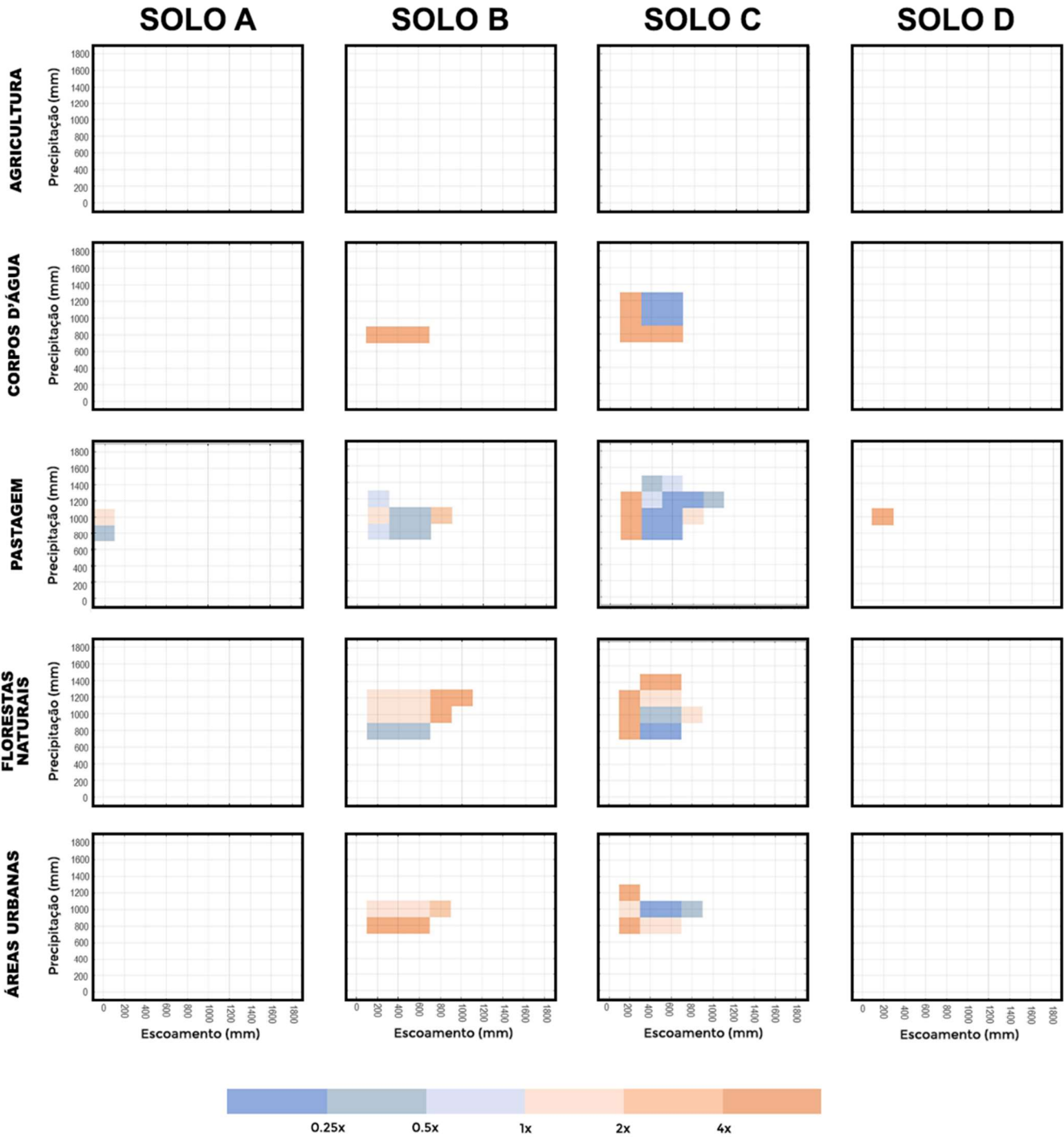
Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2017



Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2018



Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2019



Teste de Fisher - Bioma Pantanal 2020

