

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

**Evolução da estrutura do solo em cana-de-açúcar sob sistema de preparo
por canteirização**

Daniel Carmignani Grisotto

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

**Piracicaba
2018**

Daniel Carmignani Grisotto
Engenheiro Agrônomo

Evolução da estrutura do solo em cana-de-açúcar sob sistema de preparo por canteirização

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MIGUEL COOPER**

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

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Grisotto, Daniel Carmignani

Evolução da estrutura do solo em cana-de-açúcar sob sistema de preparo por canteirização / Daniel Carmignani Grisotto - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

92 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Micromorfologia 2. Preparo de solo 3. Canteirização 4. Cana-de-açúcar I. Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela possibilidade desse desafio e a realização do presente trabalho,

A todos da Pós-Graduação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ-USP pela oportunidade concedida,

Ao meu orientador Dr. Miguel Cooper, por todo o suporte, ensinamentos, amizade e confiança no meu trabalho durante todo esse período,

A toda a minha família, que me acompanhou e me incentivou durante todo o tempo, me ajudando nos momentos difíceis com todo o amor possível e que sem a sua presença não seria possível a realização deste,

À minha noiva Olivia, minha maior companheira, que sempre acreditou nas minhas escolhas e sempre esteve ao meu lado em todas as situações, que se alegrou e se entristeceu comigo e acompanhou de perto a minha jornada,

À Dra. Isabella Clerici de Maria, por me dar a possibilidade da realização do trabalho e por toda ajuda quando necessitei,

À Dra. Laura Fernanda Simões da Silva, por todos os ensinamentos, ajudas e discussões nesse período,

À Camila Cassante de Lima, por todas as dúvidas, atenção e disposição em ajudar,

À Dra. Raffaella Rossetto, que sempre me ajudou nas questões relacionadas a área experimental e dúvidas referentes à mesma,

À toda a equipe do professor Miguel, orientados e funcionários. Especialmente ao Hudson Carlos Lissoni Leonardo, na ajuda essencial nas coletas e ao José Luiz Vicente (Chiquinho) e a Sônia Aparecida Moraes, no preparo das amostras.

À empresa Raízen, nas pessoas do Fernando Benvenuti e Alex Paulino que permitiram e incentivaram a realização da pós-graduação e a Franciele Romagnoli, que sempre pude contar quando houve necessidade.

“TODO HOMEM ENCONTRA-SE, DURANTE SUA VIDA, EM RELAÇÃO À VERDADE, NA POSIÇÃO DE UM VIAJANTE QUE CAMINHA PELA ESCURIDÃO AO CLARÃO DE UMA LANTERNA CUJA LUZ ELE PROJETA A SUA FRENTE; NÃO VÊ O QUE A LANTERNA AINDA NÃO ILUMINA; NÃO VÊ SEQUER A ESTRADA PERCORRIDA E QUE JÁ RECAIU NA ESCURIDÃO; MAS, EM QUALQUER LUGAR QUE SE ENCONTRE, VÊ O QUE ESTÁ SENDO ILUMINADO PELA LANTERNA, E É SEMPRE LIVRE PARA ESCOLHER UM OU OUTRO LADO DA ESTRADA.”

Liev Tolstói

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. DESENVOLVIMENTO.....	15
2.1. CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR	15
2.2. MECANIZAÇÃO DO MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	16
2.3. MECANIZAÇÃO E ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DO SOLO.....	17
2.4. PREPARO DO SOLO EM CANA-DE-AÇÚCAR	18
2.5. MICROMORFOMETRIA.....	20
2.6. HIPÓTESES	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.2. HISTÓRICO.....	24
3.3. VARIEDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	24
3.4. TRATAMENTOS	25
3.4.1. Preparo Profundo Canteirizado (PPC)	25
3.4.2. Preparo convencional (PC)	25
3.5. AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS	26
3.5.1. Coleta de amostras indeformadas para micromorfometria.....	26
3.5.2. Preparo das amostras de micromorfometria.....	28
3.5.3. Análise das amostras de micromorfometria	30
3.6. AMOSTRAS PARA DENSIDADE DO SOLO.....	32
3.6.1. Preparo e análise das amostras de densidade do solo.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1. ANÁLISE MICROMORFOMÉTRICA	35
4.1.1. Primeira coleta	35
4.1.2. Segunda coleta	49
4.2. COMPARATIVO ENTRE AS DUAS COLETAS NOS DIFERENTES TRATAMENTOS.....	72
4.2.1. Região de passagem do rodado	72
4.2.2. Região central dos canteiros	73
4.3. COMPARATIVO DAS REGIÕES ABAIXO DA PLANTA E INTERMEDIÁRIA ENTRE OS TRATAMENTOS	75

4.4. DENSIDADE DO SOLO	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
REFERÊNCIAS.....	83
ANEXOS.....	87

RESUMO

Evolução da estrutura do solo em cana-de-açúcar sob sistema de preparo por canteirização

Estudos sobre de métodos de preparo de solo são essenciais pela necessidade em se reduzir os impactos nos solos, decorrentes da intensificação da mecanização agrícola na cultura da cana-de-açúcar e pela busca de modelos que visem proporcionar uma maior qualidade para o solo e, conseqüentemente, a obtenção de melhores desenvolvimentos vegetativos e maiores produtividades. O presente trabalho teve como principal objetivo, a avaliação por meio de análises micromorfométricas, das alterações na estrutura do solo decorrentes de métodos distintos de preparo de solo. Foram avaliados o preparo convencional, a partir da mobilização do solo em área total, e o preparo profundo canteirizado, com a utilização de um modelo de implemento que permite realizar uma série de operações de preparo de solo de forma simultânea, que não mobiliza a região de passagem do rodado dos maquinários e delimita um canteiro preparado para o desenvolvimento das plantas. O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico latossólico, de textura muito argilosa e foram abertas trincheiras nos tratamentos em momentos distintos do ciclo comercial da cultura, a fim de serem observadas as modificações de forma temporal. Nestas, foram coletadas amostras para análises de densidade do solo e amostras indeformadas de solo para a realização de análises micromorfométricas, para a quantificação e caracterização da área ocupada por poros, tanto na região de desenvolvimento da cultura (canteiro) quanto na área de passagem do rodado. Foi possível observar uma maior área ocupada por poros no canteiro do tratamento de preparo profundo canteirizado na primeira coleta, proporcionado pelo implemento, em relação ao preparo convencional, assim como uma maior participação de poros grandes complexos frente a poros de menor tamanho e arredondados. Porém, notou-se nas áreas sem influência do sistema radicular da planta, como na região de passagem do rodado e centro do canteiro, uma redução da área ocupada por poros entre uma coleta e outra, tanto por conta do tráfego agrícola quanto pela acomodação do solo desestruturado no preparo profundo canteirizado, podendo vir a acarretar em menores desenvolvimentos radiculares horizontalmente e deixando a área mais propícia a menores taxas de infiltração de água no solo, reduzindo o fluxo hídrico internamente e, conseqüentemente, aumentando os riscos da ocorrência de processos erosivos. Já no preparo convencional, os resultados indicaram uma manutenção da estrutura proporcionada pelo tipo de preparo entre as coletas, com poros menores e arredondados.

Palavras-chave: Micromorfologia; Preparo de solo; Canteirização; Cana-de-açúcar

ABSTRACT

Soil structure evolution in sugarcane under soil bedding system

Studies about soil tillage methods are essential due to the necessity of reducing impact in soils caused by the intensification of mechanic agricultural operations in sugarcane. These studies are also important by the pursuit of models that enables a better quality to the soil and, as a consequence, obtaining better vegetative development and productivity. This study had as its main objective the evaluation of soil structural changes caused by different methods of soil tillage by micromorphometric analysis. Two soil tillage systems were evaluated, the conventional soil tillage, which mobilizes the soil in the whole area, and the deep bedding tillage, which is done by an agricultural implement that allows a series of operations simultaneously and does not mobilizes the soil in the wheel's path, delimiting a bed for the plant development. The soil of the experimental area is classified as a Eutric Nitisol with a high clay texture. Pitches were opened in the treatments in different timings during the commercial cycle of the culture aiming the observation of temporal modifications in the soil. Samples were collected for density analysis and undisturbed samples were collected for micromorphometric analysis, for quantification and characterization of the pore area in either the root development area (bed) or the wheel's path. It was possible to observe a largest pore area in the deep bedding tillage system on the first collection due to the implement when compared to the conventional, as well as a largest occurrence of complex pores against smaller rounded pores. However, it was observed in the areas without the direct influence of the root system, as in the wheel's path and bed center, a reduction of the pore area between the two collections because of agricultural machinery traffic and accommodation of the unstructured soil in the deep bedding tillage system. This occurrence might incur in lowering root development horizontally and letting the area prone to lower water infiltration, which reduces the water flow internally and increases the risk of erosive processes. As regards the conventional tillage system, the results indicated a structural maintenance enabled by the tillage method between the collections, presenting smaller rounded pores.

Keywords: Micromorphology; Soil tillage; Bedding system; Sugarcane

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participações Estaduais na Produção de cana-de-açúcar (%) (CONAB, 2017a).	15
Figura 2. Evolução do aumento da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil (CONAB, 2017b).	16
Figura 3. Croqui com a localização da área experimental. PC = Área com a realização do preparo convencional; PPC = Área com a realização do preparo profundo canteirizado; Bambuzal = área testemunha.	23
Figura 4. Implemento Penta, utilizado para a realização do Preparo Profundo Canteirizado (PPC)	25
Figura 5. Implementos utilizados para o preparo convencional do solo.	26
Figura 6. Locais de amostragem nos perfis da primeira coleta de amostras indeformadas para análises micromorfométricas	26
Figura 7. Locais de amostragem nos perfis da segunda coleta de amostras indeformadas para análises micromorfométricas.	27
Figura 8. Exemplo da retirada de amostra indeformadas para análises micromorfométricas.	28
Figura 9. Processo de impregnação e secagem das amostras indeformadas.	29
Figura 10. Exemplo dos blocos retirados das amostras indeformadas após secagem e corte.	29
Figura 11. Delimitação das áreas para coleta de imagens.	30
Figura 12. Processo de aquisição de imagens para processamento com a utilização de lupa objetiva de 10 aumentos e luz ultravioleta.	31
Figura 13. Locais de amostragem nos perfis de anéis volumétricos para determinação da densidade do solo.	32
Figura 14. Exemplo de perfil após a retirada dos anéis volumétricos para determinação da densidade do solo.	33
Figura 15. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da área Testemunha, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.	35
Figura 16. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes do perfil da Testemunha (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.	37
Analisando a primeira coleta da área onde foi realizado o preparo convencional nota-se, tanto na região do canteiro quando na rua, aumentos na área total ocupada por poros de forma praticamente constante no perfil da superfície às camadas mais profundas (Figura 17).	
37	
Figura 17. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da primeira coleta da área do Preparo Convencional, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.	38
Figura 18. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Convencional na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.	40
Figura 19. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do rodado do perfil do Preparo Convencional na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.	42
Figura 20. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da primeira coleta da área do Preparo Profundo Canteirizado, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.	44
Figura 21. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.	46
Figura 22. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central da rua do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.	48

- Figura 23.** Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região central do canteiro, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 51
- Figura 24.** Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 52
- Figura 25.** Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região central da rua, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 53
- Figura 26.** Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central da rua do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 54
- Figura 27.** Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região intermediária, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 56
- Figura 28.** Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região intermediária do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 57
- Figura 29.** Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região abaixo da planta, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 59
- Figura 30.** Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região abaixo da planta do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 60
- Figura 31.** Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Profundo Canteirizado na região central do canteiro, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 62
- Figura 32.** Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 63
- Figura 33.** Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Profundo Canteirizado na região central da rua, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 65
- Figura 34.** Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central da rua do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 66
- Figura 35.** Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região intermediária, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 68
- Figura 36.** Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região intermediária do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 69

Figura 37. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região abaixo da planta, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho. 70

Figura 38. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região abaixo da planta do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm. 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização granulométrica dos solos da área experimental.	23
Tabela 2. Definição das classes de forma dos poróides.....	31
Tabela 3. Densidades do solo médias nas diferentes profundidades do perfil do Preparo Convencional. Letras minúsculas (G1) comparam amostras de uma mesma região amostral. Letras maiúsculas (G2) comparam diferentes regiões amostrais para uma mesma camada do solo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	77
Tabela 4. Densidades do solo médias nas diferentes profundidades do perfil do Preparo Profundo Canteirizado. Letras minúsculas (G1) comparam amostras de uma mesma região amostral. Letras maiúsculas (G2) comparam diferentes regiões amostrais para uma mesma camada do solo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	78
Tabela 5. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região central da rua dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G ₁) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G ₂) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.	79
Tabela 6. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região intermediária dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G ₁) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G ₂) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.	79
Tabela 7. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região abaixo da planta dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G ₁) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G ₂) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.	80
Tabela 8. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região central do canteiro dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G ₁) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G ₂) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.	80
Tabela 9. Valores encontrados na segunda coleta do perfil do Preparo Convencional. ATP ¹ = área total ocupada por poros; ATP ² = área total ocupada por poros por classe de forma.	89
Tabela 10. Valores encontrados na segunda coleta do perfil do Preparo Profundo Canteirizado. ATP ¹ = área total ocupada por poros; ATP ² = área total ocupada por poros por classe de forma.	90
Tabela 11. Tabela de comparativo entre os valores encontrados de área total ocupada por poros (ATP) entre a primeira e segunda coleta do Preparo Convencional nas profundidades correspondentes. ATP ¹ = área total ocupada por poros; ATP ² = área total ocupada por poros por classe de forma.	91
Tabela 12. Tabela do comparativo entre os valores encontrados de área total ocupada por poros (ATP) entre a primeira e segunda coleta do Preparo Profundo Canteirizado nas profundidades correspondentes. ATP ¹ = área total ocupada por poros; ATP ² = área total ocupada por poros por classe de forma.	92

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola de grande importância para o Brasil, com aproximadamente 9 milhões de hectares plantados (CONAB, 2017a), colocando-o como país destaque nas primeiras posições como produtor mundial nos diversos produtos obtidos através do seu cultivo, além da sua importância no desenvolvimento social brasileiro e como alternativa renovável à matriz energética dependente de combustíveis fósseis. Para tanto, é muito importante o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao seu processo produtivo em geral, visando a sustentabilidade produtiva, econômica, ambiental e social da cultura.

O uso de máquinas e implementos no cultivo da cana-de-açúcar teve seu uso intensificado nos últimos anos em decorrência de fatores ambientais, econômicos, sociais e de legislação. Este uso intenso, pode modificar os atributos do solo em relação ao seu estado natural, devido ao tráfego agrícola de maquinário pesado e a atuação de implementos no solo para operações de plantio. A compactação pode ser um efeito dessas modificações, onde a infiltração de água no solo e a difusão de gases é reduzida e a absorção de nutrientes pelas plantas através das raízes é afetada. Esta, resulta no rearranjo e, conseqüente, redução dos poros no solo, podendo ocasionar problemas ambientais e agrônômicos, como erosões, inundações, lixiviação de nutrientes e pesticidas para o lençol freático, diminuição do crescimento das raízes, desenvolvimento da planta e menores produtividades.

O preparo do solo e o plantio são de suma importância na longevidade e produtividade da cultura da cana-de-açúcar, pois sendo uma cultura semi-perene, essas operações serão realizadas novamente apenas após sucessivas colheitas no seu ciclo comercial. Porém, métodos convencionais de preparo de solo envolvem uma grande quantidade de máquinas e equipamentos agrícolas, em operações com grades pesadas, subsoladores, grades niveladoras, entre outros, a fim de proporcionar condições de solo adequadas ao desenvolvimento da planta. Entretanto, estas podem intensificar as alterações deletérias na qualidade do solo, entre elas a sua estrutura. Com isso, têm-se uma tendência na maior adoção de práticas como plantio direto, controle de tráfego, uso de canteiros permanentes, preparo profundo do solo e planejamentos conservacionistas holísticos.

A canteirização em particular, é um sistema que visa delimitações de áreas para o desenvolvimento vegetal e de linhas permanentes para tráfego agrícola, com o intuito de proporcionar um solo de melhor qualidade e reduzir a ocorrência de tráfego sobre as plantas, através de um preparo de solo localizado, com redução na quantidade de operações diferentes realizadas. Porém, mesmo implementos com esse viés ainda mobilizam e modificam de forma intensa a estrutura do solo da área, sendo necessária a realização de análises para a avaliação dessas modificações.

A estrutura do solo pode ser interpretada a partir do sistema poroso resultante da organização das partículas sólidas do solo e está diretamente relacionado ao formato, tamanho e seu arranjo espacial. O conhecimento sobre o formato dos poros, sua conectividade e alinhamento ao longo da amostra, em conjunção com a distribuição dos mesmos são essenciais para definir, com precisão, a estrutura e os atributos físicos do solo, sendo possível a realização de inferências a respeito do seu comportamento. Para tanto, estes não podem ser tratados e quantificados apenas como números, mas sim em relação à sua capacidade de realizar funções no solo.

Com isso, têm-se na micromorfometria, a partir da análise de imagens de amostras indeformadas de solos, uma importante técnica para o entendimento das modificações realizadas na estrutura e porosidade do solo, tanto em

superfície quando em subsuperfície. Essa é uma técnica que vem sendo utilizada por diversos pesquisadores, para estudos de processos pedogenéticos, classificação de solos, influência de tipos de manejo, entre outros fins.

No presente trabalho, serão avaliadas alterações em características físicas do solo através de análises micromorfométricas e de densidade do solo, em áreas com preparos de solo realizados com a utilização de um modelo de implemento (Penta) que permite a construção de canteiros, com a execução de diversas operações simultaneamente, em relação ao preparo convencional. Esse implemento permite realizar simultaneamente a subsolagem em profundidade, aplicação de fertilizantes e corretivos e o destorroamento do solo com o uso de enxada rotativa, portanto, mobilizando de forma intensa a área em que atua.

Ainda, foi possível a realização das análises em momentos distintos no ciclo comercial da cultura, com coletas realizadas de amostras indeformadas feita após a realização de uma colheita da cana-de-açúcar e outra coleta realizada após a terceira colheita. Essas coletas em diferentes momentos são importantes, por possibilitar a realização de avaliações de mudanças na estrutura do solo provocadas diretamente pelos implementos e o comportamento deste ao longo do tempo. Portanto, esse trabalho buscou compreender as alterações da estrutura do solo provocadas no preparo e verificar a manutenção destas ou possíveis novas alterações no ciclo comercial da cana-de-açúcar.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Cultura da cana-de-açúcar

De acordo com a (CONAB, 2017a) o Brasil possui aproximadamente 9 milhões de hectares cultivados com cana-de-açúcar, com uma produção anual de aproximadamente 660 milhões de toneladas e produtividade média de 72,6 toneladas/hectare, sendo o maior produtor mundial da cultura (CHERUBIN, 2016). O estado de São Paulo abrange 52% do total dessa área cultivada e a produção estadual corresponde a 56% do total do país (Figura 1), sendo registrada na safra 2016/2017 uma produtividade média de 77,5 toneladas/hectare (CONAB, 2017a).

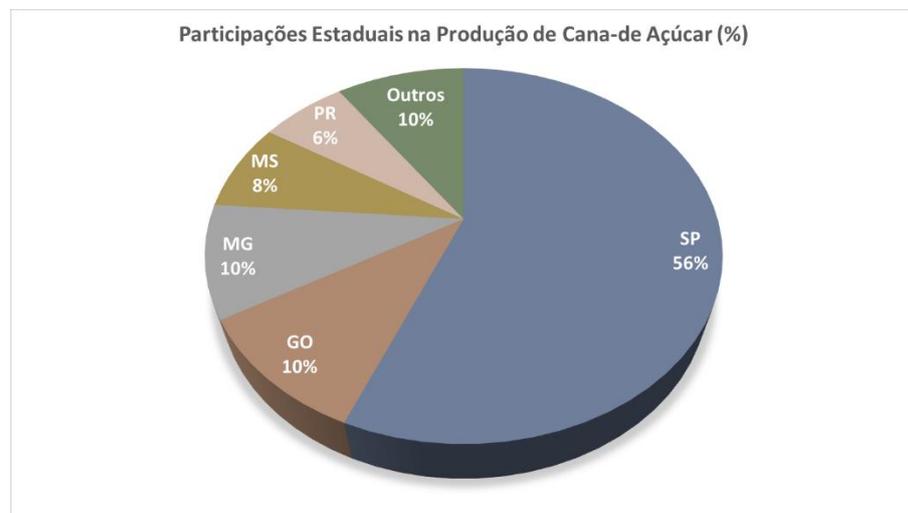


Figura 1. Participações Estaduais na Produção de cana-de-açúcar (%) (CONAB, 2017a).

A área cultivada no Brasil está passando por um processo de significativa expansão nos últimos anos (Figura 2), por conta da crescente demanda por biocombustíveis, decorrente de diretrizes ambientais, econômicas e geopolíticas (LAPOLA et al., 2010). Entretanto, a previsão para a safra 2017/2018 é da área, volume total e produtividade da cana colhida ser menor do que a safra 2016/17, por conta da baixa renovação das lavouras e a devolução de terras arrendadas por parte de algumas unidades de produção em decorrência de dificuldades financeiras das mesmas (CONAB, 2017b).

O que proporcionou esse aumento na produção foi a expansão da área plantada, os investimento em tecnologia e em pesquisa de variedades de cana, o aumento da mecanização da colheita, a melhoria dos sistemas de irrigação e o melhor aproveitamento dos subprodutos da produção sucroenergética (SANTINI; PINTO; QUEIROZ, 2011).

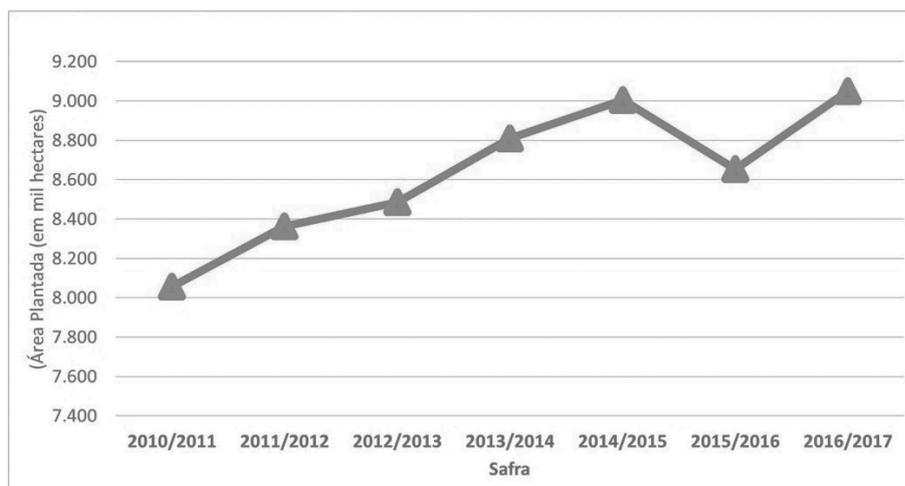


Figura 2. Evolução do aumento da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil (CONAB, 2017b).

O cultivo atual da cultura visa a produção de açúcar, dando destaque ao país como maior produtor e exportador do mercado mundial (USDA, 2017); etanol, sendo o segundo maior produtor mundial (RFA, 2014) e tendo grande importância nacional como alternativa ao uso de combustíveis fósseis; e para a geração de energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar, que de acordo com (TROMBETA; CAIXETA FILHO, 2017) vem aumentando substancialmente a sua participação na matriz energética brasileira.

A cana-de-açúcar é uma Poácea, pertencente ao gênero *Saccharum*. Como permite vários cortes anuais a partir da rebrota, é considerada semi-perene. Do plantio até o primeiro corte recebe o nome de cana-planta e cujo ciclo tem duração entre 12 a 18 meses, dependendo da época de plantio e, também, da região do Brasil em que está sendo cultivada. Após o primeiro corte, a rebrota da cana passa a ter um ciclo normal de 12 meses, sendo denominada cana-soca (BENVENUTI, 2005).

O cultivo da cana-de-açúcar tem contribuído de forma imprescindível para o desenvolvimento social e econômico brasileiro, principalmente pelo fato da geração de energia renovável de modo eficiente e as possibilidades de alteração na composição da matriz energética e a produção de bioenergia (OKUNO, 2016). Porém, apesar das grandes áreas destinadas à produção de cana-de-açúcar, há ainda necessidade de investimentos e pesquisas que irão melhorar ainda mais o setor sucroenergético e o potencial produtivo da cultura da cana-de-açúcar, assim como a sustentabilidade econômica, social e ambiental (SANTINI; PINTO; QUEIROZ, 2011).

2.2. Mecanização do manejo da cana-de-açúcar

Por conta das consequências negativas ambientais e para a sociedade da queima da cana-de-açúcar, que é utilizada para maior rendimento da colheita manual (SAIANI et al., 2016), foi aprovada em 2002 a lei estadual nº 11.241, dispondo sobre a eliminação gradativa dessa ação, com os procedimentos relativos a essa suspensão definidas na resolução SMA-35, de 2010.

Em razão da adequação à essa legislação, no período de 2006 a 2011, ocorreu um crescimento de 182% da área com colheita mecanizada no estado, aumentando consideravelmente a participação desse tipo de colheita na

área total colhida (SAIANI et al., 2016). Por conta desse aumento e das grandes extensões de terra ocupadas com cana-de-açúcar, o setor sucroenergético passou a requerer uma mecanização agrícola altamente tecnificada, do plantio à colheita, com máquinas modernas e versáteis que possam realizar as suas funções com baixos custos e máxima eficiência, para fornecer matérias primas e produtos de qualidade ao agricultor e à agroindústria (SOUZA et al., 2012)

Atualmente, a maioria das operações agrícolas empregadas na instalação de monoculturas, como a cana-de-açúcar, do preparo do solo à colheita, pode ser mecanizada e apresenta grande eficiência e retorno econômico ao produtor, desde que bem conduzida e empregando tecnologia e maquinário adequado (SANTINI; PINTO; QUEIROZ, 2011). Entretanto, o uso de máquinas e implementos na agricultura pode modificar os atributos do solo, em relação ao seu estado natural, com efeitos deletérios à sua qualidade física, sendo que operações em grandes intensidades e a pressão de rodados impostas por máquinas de grande porte, podem acarretar em uma acentuada desestruturação do solo (USABORISUT; SUKCHAROENVIPHARAT, 2011).

A qualidade do solo é função de alguns atributos físicos que afetam o conteúdo de água, ar, atividade biológica, mineralização do carbono e disponibilidade de nutrientes, recursos necessários ao desenvolvimento radicular e da cultura (DE LIMA; DE LEÓN; DA SILVA, 2013; OTTO et al., 2011), e devem estar adequados de forma que as raízes possam explorar um maior volume em camadas mais profundas, evitando restrições relacionadas ao solo ao pleno desenvolvimento da planta (BRAUNACK; ARVIDSSON; HÅKANSSON, 2006; COLLARES et al., 2008; KAISER et al., 2009)

2.3. Mecanização e alterações nos atributos do solo

Apesar da palha deixada na lavoura em áreas colhidas sem a utilização da queima poder reduzir a pressão do pneu do maquinário e amenizar alterações físicas na superfície do solo (CEDDIA et al., 1999), sucessivas operações da colheita mecanizada e transporte realizados por equipamentos pesados podem causar compactação e comprometer a produtividade nos ciclos seguintes (MARASCA et al., 2015). Esta, pode ser definida como sendo um processo pelo qual ocorre o rearranjo dos agregados devido à diminuição dos espaços entre estes, fazendo com que os as partículas fiquem mais próximas (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - 2010).

A ocorrência da compactação, acaba influenciando muitas propriedades, físicas, químicas, biológicas e diferentes processos do solo e podem resultar em problemas ambientais e agronômicos, como erosões, inundações, lixiviação de nutrientes e pesticidas para o lençol freático, diminuição do crescimento das raízes, desenvolvimento da planta, ocasionando menores produtividades (KELLER; LAMANDÉ, 2010). A infiltração de água no solo é reduzida e a absorção de nutrientes pelas plantas através das raízes é afetada. Ainda, é comum a prática de aumentar o suprimento de nutrientes, água (irrigação) e uma maior necessidade de combustível e utilização de maquinário, para compensar os efeitos adversos da compactação do solo sobre a produtividade das culturas, o que resulta num aumento dos custos de produção. (HÅKANSSON; VOORHEES, 1998; VAN DEN AKKER; ARVIDSSON; HORN, 2003)

A compactação pode ser considerada uma das principais causas da degradação da estrutura solo, constituindo-se em um dos mais sérios fatores de restrição ao desenvolvimento das plantas, ocorrendo de maneira

muito frequente em ambientes que utilizam máquinas e implementos ou em áreas onde o pisoteio de animais é intenso (CAMARGO; ALLEONI, 1997; LIMA et al., 2009). Pode-se citar que a compactação no perfil do solo se dá de forma diferenciada, onde a incidência de compactação no horizonte superficial do solo é determinada pela pressão de contato entre o solo e as rodas do maquinário, enquanto que em subsuperfície a carga do eixo torna-se o fator mais importante (HÅKANSSON; VOORHEES, 1998).

Também, mudanças na estrutura do solo podem decorrer do processo de mobilização do solo para o plantio da cultura. Mudanças no uso do solo para fins agrícolas podem vir a alterar o tamanho e a continuidade dos poros (CRISTINA; CASTILHO, 2014), reduzindo a infiltração de água no solo, aumentando do risco da ocorrência de erosões hídricas e prejudicando o fluxo interno de água no solo em relação a vegetação natural

A estrutura do solo corresponde à organização de suas partículas sólidas e está diretamente relacionado ao formato, tamanho e arranjo espacial destas, resultando em uma combinação de diferentes tipos de poros (LAL, 1991; PAGLIAI et al., 1984; PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004) e segundo (SOARES; ESPÍNDOLA; DE CASTRO, 2005), as práticas mecânicas que mais a afetam resultam do tráfego de equipamentos pesados e também do uso intensivo de implementos que modificam o tamanho dos agregados e a porosidade do solo. Consequentemente, estes processos alteram o tamanho dos poros e modificam a forma e a conectividade dos mesmos e esse rearranjo e a redução dos poros no solo em áreas compactadas, resulta em efeitos negativos no desenvolvimento das plantas por conta da deficiência na difusão de gases e água junto ao seu sistema radicular (STEPNIEWSKI; GLIŃSKI; BALL, 1994).

Com o excesso de tráfego, principalmente em condições de solo úmido, onde a água atua como agente lubrificante, a força exercida pelas máquinas induz esse rearranjo dos agregados (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), que por outro lado, de acordo com (HORN et al., 1995), se encontrariam em estado de equilíbrio, com a formação de agregados sob influência de processos de expansão, contração e da atividade biológica, dando origem a um sistema poroso complexo e com ampla variedade de tamanhos de poros.

Ainda, a inacurácia dos operadores das máquinas e a falta de paralelismo entre as linhas de plantio podem resultar na passagem no rodado do equipamento sobre as linhas de cana, o que podem reduzir o desenvolvimento radicular, e a produtividade e a longevidade da cana-de-açúcar (BRAUNACK; MCGARRY, 2006). O mesmo autor aponta como uma alternativa para minimização desse problema o uso de sistemas de controle de tráfego, com a adaptação do espaçamento das linhas de plantio à largura do maquinário e com isso delimitando zonas permanentes sem tráfego, mantendo a produtividade de maneira sustentável e concentrando os efeitos da compactação fora dessas zonas. (GAN-MOR; CLARK; UPCHURCH, 2007) também demonstram a minimização do tráfego sobre as linhas de plantio com o uso do piloto automático, oferecendo maior precisão e acurácia no deslocamento do equipamento.

2.4. Preparo do Solo em cana-de-açúcar

O preparo do solo é realizado com o objetivo de homogeneizar e distribuir o solo de maneira uniforme em uma superfície a ser plantada, para propiciar um melhor desenvolvimento radicular e a eliminação e incorporação de plantas daninhas, podendo ser realizado através de diferentes implementos, dependendo das condições do solo a ser trabalhado e das condições exigidas para o plantio (CASTILHO, 2010). Os implementos disponíveis para o

preparo do solo promovem de maneira própria, alterações diferenciadas às propriedades físicas do solo (SILVA JUNIOR et al., 2010) e devem oferecer condições favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento das culturas. No entanto, dependendo do solo, do clima, da cultura e de seu manejo, eles podem promover a degradação da sua qualidade física, com restrições ao crescimento radicular (UNGER; VAN DOREN JR; KLUTE, 1982).

Na cultura da cana-de-açúcar, o preparo de solo é crucial para a longevidade da cultura, sendo que o solo só será preparado novamente após 5 ou 6 colheitas, dependendo da variedade e/ou da produtividade. Com isso, aumenta-se a importância na definição das práticas do preparo de solo por conta também dos efeitos que operações subsequentes na lavoura possam vir a causar no solo alterado previamente (CARVALHO et al., 2011).

Segundo (FILHO; SIQUEIRA; JÚNIOR, 2015) o preparo convencional é atualmente o mais utilizado no setor produtivo de cana-de-açúcar, o qual envolve o uso de uma maior quantidade de máquinas e equipamentos agrícolas, em operações sucessivas com grades pesadas, arados, subsoladores e grades niveladoras. Tendo como finalidade a incorporação de matéria orgânica, fertilizantes e corretivos, objetivando também o rompimento de camadas compactadas e o nivelamento da superfície do terreno para facilitar operações de plantio e posterior colheita da cultura e a eliminação de plantas daninhas, doenças e pragas.

O uso de equipamentos como o arado, a grade e a enxada rotativa, resolve o problema da compactação do solo nas camadas superficiais; porém, pode também em alguns casos dos casos, transferir essa para camadas mais profundas. A utilização dessas máquinas numa área, quase sempre à mesma profundidade de preparo do solo e por diversos anos consecutivos, tem contribuído para o surgimento das camadas subsuperficiais compactadas (vulgarmente conhecida como pé de grade) (LANÇAS, 2015).

A tendência atual no preparo do solo é a adoção crescente de práticas como canteirização permanente, controle de tráfego, preparo mais profundo, plantio direto e o planejamento da conservação do solo levando em conta, além do solo, sua inserção na paisagem, o clima e as práticas indicadas para situações específicas das glebas (MARIA et al., 2016).

A canteirização em particular é uma alternativa para o controle de tráfego na cultura com ou sem uso do piloto automático. Nessa técnica, o preparo do solo é realizado em canteiros, mantendo as entrelinhas imobilizadas, minimizando os efeitos adversos da mecanização agrícola, pois separa as zonas de tráfego daquelas em que há crescimento das plantas e concentra a passagem de pneus em linhas permanentes, com diminuição da área submetida ao tráfego agrícola (MARASCA, 2014; ROQUE et al., 2011).

Adicionalmente, na busca por soluções da compactação causada pelo intenso tráfego agrícola na cultura da cana-de-açúcar e maiores produtividades, aliadas a objetivos de redução de custos no preparo de solo, há a possibilidade da construção dos canteiros simultaneamente a realização de outras operações de preparo. Para tanto, têm-se utilizado implementos que permitem realizar de forma conjunta a subsolagem em profundidade, aplicação de fertilizantes e corretivos e o destorroamento do solo com o uso de enxada rotativa, e por ser um método relativamente novo para o preparo do solo, há o interesse em se entender a influência desse tipo de manejo nas propriedades do solo, tanto na parte intensamente mobilizada pela enxada rotativa e subsolador, e na parte não mobilizada com passagem do rodado, pois por conta de intensos revolvimentos e tráfego, mesmo em práticas mais conservacionistas, ainda atuam diretamente na porosidade e estrutura do solo e sendo grandemente responsáveis por alterações nas propriedades do solo (DRESS et al., 1994).

2.5. Micromorfometria

Conhecimentos sobre a porosidade são importantes para a definição da qualidade do solo, uma vez que são nos poros em que ocorrem os processos associados aos fluxos de água, gases e calor e para tanto, a mesma não pode ser tratada e quantificada apenas como um número, mas deve ser avaliada em relação à sua capacidade de realizar essas funções (MENEZES et al., 2018). Dessa forma, entendimentos sobre o formato destes poros, a conectividade entre eles e o alinhamento ao longo da amostra, em conjunção com a distribuição dos mesmos são essenciais para definir, com precisão, a estrutura do solo e os seus atributos físicos, prevendo o comportamento físico-hídrico transversalmente e em profundidade (PIRES et al., 2017).

Com isso, a análise micromorfométrica de imagens de seções delgadas ou blocos de solo, a partir de amostras indeformadas e impregnadas, dentre outros métodos, se apresenta como uma técnica para entendimento da porosidade e estrutura do solo (PAGLIAI; LA MARCA; LUCAMANTE, 1983), se diferenciando das demais por permitir o levantamento sobre a continuidade e conectividade dos poros, presença de bioporos e outras características que podem auxiliar no entendimento na dinâmica e comportamento do solo, com o intuito de maior compreensão acerca de como práticas de manejo influenciam na qualidade física do solo (CASTRO et al., 2003).

A micromorfometria, combinada com outras análises de propriedades físico-químicas do solo ajudam na integração e síntese dos processos do solo, abrangendo diversos níveis hierárquicos desde a paisagem até as microestruturas do solo. Esta, é uma técnica muito útil no estudo da gênese do solo e na avaliação e no monitoramento de diversas práticas agrícolas (CASTRO et al., 2003) e de acordo com (CASTILHO, 2010) parece ser o melhor método para entender as modificações realizadas na estrutura e porosidade do solo, por conta das amostras serem retiradas indeformadas e a partir dos blocos impregnados ser possível realizar uma avaliação da porosidade e estrutura das amostras tanto em superfície quanto em subsuperfície.

Diversos autores vêm utilizando a técnica de análises micromorfométricas a partir de imagens, a fim de determinarem com exatidão a morfologia e tamanho dos poros do solo, além de possibilitar a visualização das alterações estruturais causadas pela compactação e adensamento. Análises micromorfológicas foram utilizadas ao longo do tempo em trabalhos de classificação do solo e entendimentos de processos pedogenéticos e hidrológicos como (COOPER; VIDAL-TORRADO, 2005; CRISTINA; CASTILHO, 2014; DEUCHARS et al., 1999; GARGIULO; MELE; TERRIBILE, 2013; JUHÁSZ et al., 2007), e também em estudos voltados ao uso da análise de imagens para observações de alterações no espaço poroso sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo, como (BOTTINELLI et al., 2013; PAGLIAI et al., 1984; RASA et al., 2012; RASA; HORN, 2013; SILVA, 2011)

Para (KAPUR; STOOPS; MERMUT, 2008) a quantificação do sistema poroso consiste na classificação, caracterização morfológica e na estimativa da distribuição dos diferentes tamanhos de poros e a ampla compreensão das funções e características hidrológicas do solo são essenciais para a formulação de princípios sustentáveis de manejo do solo, produção agrícola e proteção ambiental e essas funções são fortemente dependentes do sistema poroso do solo (KAPUR; STOOPS; MERMUT, 2008). O presente trabalho teve por objetivo principal avaliar as alterações na estrutura do solo, a partir da análise de imagens de blocos coletados em amostras indeformadas, observando modificações no sistema poroso em diferentes ciclos da cultura da cana-de-açúcar, submetidos a preparos de solos distintos.

2.6. Hipóteses

- O uso do sistema de preparo profundo canteirizado gera um aumento na área total ocupada por poros no solo quando comparado ao sistema convencional nos anos iniciais do ciclo comercial da cana-de-açúcar;
- O preparo profundo canteirizado induz a uma redução na área total ocupada por poros ao longo do ciclo comercial da cultura;
- O preparo profundo canteirizado diminui a conectividade entre os poros e a sua heterogeneidade ao longo do ciclo comercial da cultura.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O presente trabalho foi realizado no município de Piracicaba, na fazenda experimental da Agência Paulista de Tecnologia Agrícola (APTA), situada entre as coordenadas 22°41'04" S e 47°38'52" O a 550 m de altitude (Figura 3).



Figura 3. Croqui com a localização da área experimental. PC = Área com a realização do preparo convencional; PPC = Área com a realização do preparo profundo canteirizado; Bambuzal = área testemunha.

O clima da região é o mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, Cwa de acordo com a metodologia de Köppen, com temperatura e pluviosidade média anual de 24 °C e 1.270 mm, respectivamente. Os verões são quentes e úmidos e invernos são de temperaturas amenas e com baixa pluviosidade.

O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico latossólico, A moderado, textura muito argilosa. Na Tabela 1 encontra-se a caracterização granulométrica do solo da área experimental.

Tabela 1. Caracterização granulométrica dos solos da área experimental.

Camadas (cm)	Frações Granulométricas (g/kg)					
	Areia			Silte	Argila	Textura
	Grossa	Fina	Total			
0 - 20	164	284	448	127	425	Argilosa
20 - 40	104	217	321	102	577	Argilosa
40 - 60	88	202	290	89	621	Muito argilosa
60 - 80	97	188	285	95	620	Muito argilosa
80 - 100	95	210	305	97	598	Argilosa

Os Nitossolos são solos profundos, bem drenados, homogêneos no perfil, constituídos por material mineral, com horizonte B nítico. Estes, apresentam argilas de atividade baixa, textura argilosa/muito argilosa, estrutura e blocos angulares ou subangulares ou prismática moderada ou forte que apresentam superfícies brilhantes que podem ser interpretadas como cerosidade ou superfícies de compressão (EMBRAPA, 2006)

Como processos pedogenéticos, os nitossolos são formados a partir da (1) ferralitização, descrito pela FAO como uma intensa hidrólise de minerais primários combinados com lixiviação de sílica e bases e acúmulo relativo de caulinita e sequióxidos., (2) nitidização, que seria a formação da estrutura em blocos com superfícies brilhantes como resultado de processos de micro contração e expansão de forma alternada e (3) homogeneização pela mesofauna do solo, ocorrendo principalmente nos 100 cm do solo formando estruturas granulares e blocos subangulares (COOPER; VIDAL-TORRADO, 2005).

3.2. Histórico

Como o presente trabalho teve por objetivo a observação das propriedades de qualidade estrutural do solo durante parte do “ciclo comercial” do canavial, avaliando alterações no mesmo ao longo do tempo, faz-se importante realizar explicações sobre o histórico do experimento.

O plantio da cana-de-açúcar nos tratamentos foi realizado de forma manual em julho de 2013, sendo que para cada tratamento o preparo do solo foi executado diferentemente, como será demonstrado posteriormente. A colheita da cana planta ocorreu em outubro de 2014 e foi realizada uma primeira coleta de amostras de micromorfometria após essa colheita e antes da colheita da cana soca em 2015, a fim de se avaliar a influência inicial da atividade de colheita nas propriedades do solo.

Em outubro de 2016 foi realizado o 3º corte do canavial e com isso, uma segunda coleta de amostras de micromorfometria foram realizadas no primeiro semestre de 2017 (fevereiro-abril). As colheitas da cana-planta e cana soca foram realizadas utilizando uma colhedora Case IH – A8800. Também foram coletadas conjuntamente amostras de densidade do solo, a fim de se conseguir maiores informações para a discussão dos dados de micromorfometria e compreensão do comportamento do solo sob os diferentes tipos de preparo.

Foram realizadas na primeira coleta, amostragens de uma área testemunha para as análises micromorfológicas em uma área de bambuzal próxima a área experimental. Nessa área, não há relatos de atividade antrópica nos últimos 60 anos e essa área foi escolhida por conta da maior proximidade à área experimental em relação aos fragmentos florestais no entorno.

3.3. Variedade da Cana-de-Açúcar

O experimento foi implantado com o plantio da variedade IACSP95-5000, no período de julho a agosto de 2013 em espaçamento duplo de 0,9 m por 1,5 m.

Essa variedade se caracteriza pela alta produtividade agrícola quando cultivada em ambientes favoráveis, de porte muito ereto, possui bom teor de sacarose e ótima brotação da soqueira, com bom perfilhamento e

fechamento, sem ocorrência de tombamento e florescimento, e ainda apresentando resistência as principais doenças. É apta ao plantio e colheita mecanizada, sendo esta, em geral, realizada entre a segunda quinzena de maio e outubro (UDOP, 2014).

3.4. Tratamentos

3.4.1. Preparo Profundo Canteirizado (PPC)

O preparo profundo canteirizado do solo foi realizado em julho de 2013 com o implemento comercialmente chamado de Penta, da empresa Mafes Agromecânica (Figura 4). Os componentes desse equipamento permitem simultaneamente realizar a subsolagem a uma profundidade de 0,8m, quebra dos torrões a partir de uma enxada rotativa a uma profundidade de 0 a 40 cm, enleiramento da palha, aplicação de corretivo e adubos, com opção da profundidade de aplicação (0,4 e 0,8 m). A enxada rotativa possui 16 facas, que trabalham a uma profundidade de 0,3 a 0,4 m e caixa de transmissão centralizada com rotação de 540 rpm na Tomada de Potência (TDP). O trator utilizado para as operações de preparo do solo foi o New Holland T8 com 270 CV de potência no motor.



Figura 4. Implemento Penta, utilizado para a realização do Preparo Profundo Canteirizado (PPC)

3.4.2. Preparo convencional (PC)

O preparo do solo foi realizado em área total em junho de 2013 utilizando uma grade aradora da marca Tatu com 20 discos de 24 polegadas para incorporação do corretivo (calcário) e grade niveladora para quebra dos torrões. Ambas tracionadas por um trator Massey Ferguson 292 traçado (Figura 5). A profundidade de operação variou entre 0,2 e 0,3 m.



Figura 5. Implementos utilizados para o preparo convencional do solo.

3.5. Amostragem e Coleta de Dados

3.5.1. Coleta de amostras indeformadas para micromorfometria

Na coleta realizada no segundo semestre de 2015, foram extraídas amostras indeformadas com o uso de caixas de papel carta de 12 centímetros por 7 centímetros e 5 centímetros de espessura em cinco profundidades distintas, tanto nas linhas de cana-de-açúcar, chamada de região central do canteiro, quanto nas entrelinhas, chamadas de rua em ambos os tratamentos e na área testemunha. Para a realização da coleta, foram abertas uma trincheira para cada tratamento e testemunha.

As profundidades foram de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 e com isso teve-se um total de 25 amostras conforme esquema abaixo (Figura 6):

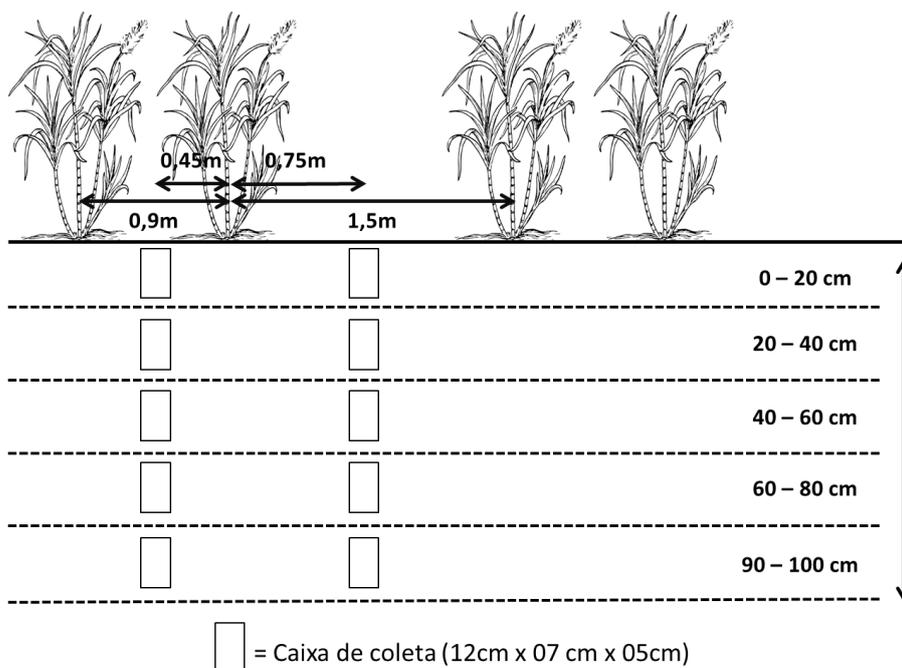


Figura 6. Locais de amostragem nos perfis da primeira coleta de amostras indeformadas para análises micromorfométricas

Nas coletas de março a abril de 2017, a amostragem foi realizada de forma mais detalhada, afim de se compreender melhor a influência dos diferentes tipos de preparo de solo com o passar do tempo (Figura 7). Foram abertas novas trincheiras nos tratamentos e foram coletadas 32 caixas de micromorfometria por tratamento (Figura 8), totalizando 64 amostras indeformadas.

Além das coletas serem realizadas na região central do canteiro rua de cana e na região central da rua também foram coletadas duas posições intermediárias, sendo uma abaixo da planta de cana-de-açúcar e outra na região intermediária, entre a região abaixo da cana e o centro da rua, conforme esquema abaixo:

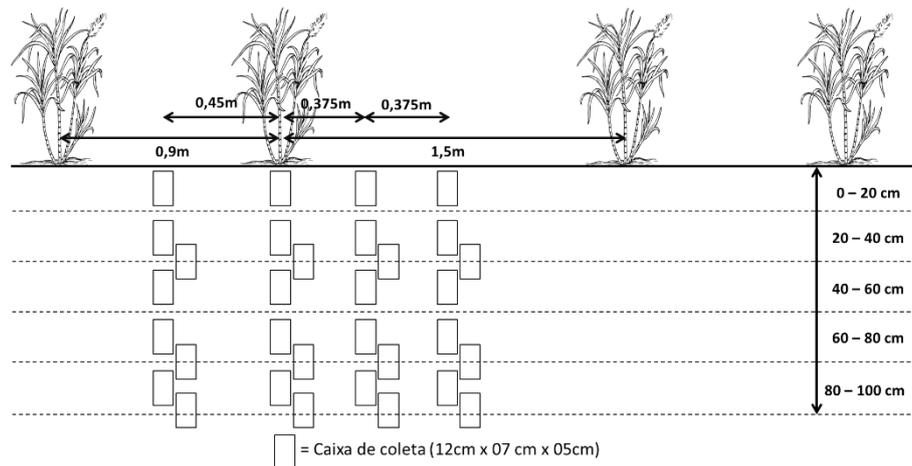


Figura 7. Locais de amostragem nos perfis da segunda coleta de amostras indeformadas para análises micromorfométricas.

Foram respeitadas as profundidades médias da primeira coleta e foram também coletadas caixas intermediárias em profundidades intermediárias, resultando em coletas nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 34-46 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 74-86 cm, 80-100 cm e de 90-102 cm.

Nas amostras, ao serem coletadas, foram realizadas marcações da orientação vertical das mesmas, para posterior identificação e correta análise das informações de interesse.



Figura 8. Exemplo da retirada de amostra indeformadas para análises micromorfométricas.

3.5.2. Preparo das amostras de micromorfometria

As amostras indeformadas foram desembaladas, identificadas e colocadas para secar em potes destampados por quinze dias ao “ar livre”. Após essa secagem inicial, as mesmas foram colocadas em uma estufa a 40°C por um período de 48 horas.

Estas, foram impregnadas com uma resina poliéster não-saturada (Crystic SR 17449), misturada com monômero de estireno, para redução da viscosidade da resina e facilitar a penetração da solução na amostra (CASTRO et al., 2003), e misturada com pigmento fluorescente Tinopal OB (BASF®), na proporção de 5g por litro que possibilita a distinção dos poros para partículas sólidas do solo, quando iluminados com luz ultravioleta, e um catalisador para endurecimento da solução, conforme metodologia de análise de imagens proposta por (MURPHY, 1986). Após a finalização da impregnação, as amostras voltaram para a estufa para secagem (Figura 9).



Figura 9. Processo de impregnação e secagem das amostras indeformadas.

Após a secagem, as amostras foram cortadas em fatias, com o uso de uma serra de diamante, em aproximadamente um centímetro de espessura (Figura 10) e em casos do aparecimento de falhas de impregnação nas mesmas, foi realizada a re-impregnação localizada.

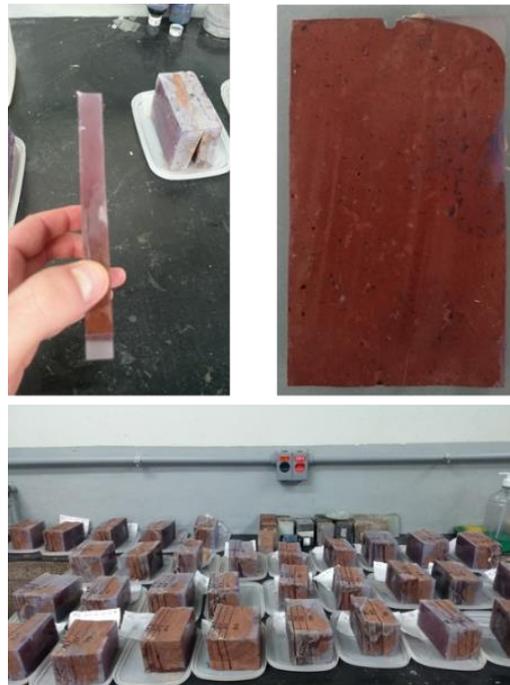


Figura 10. Exemplo dos blocos retirados das amostras indeformadas após secagem e corte.

3.5.3. Análise das amostras de micromorfometria

Com as fatias prontas, foram delimitadas áreas de 1,12 cm² (Figura 11), correspondendo a aproximadamente 18 subamostras por bloco.



Figura 11. Delimitação das áreas para coleta de imagens.

Com o uso do software *Visilog*, foi adquirida uma imagem por área delimitada anteriormente com o uso de uma câmera digital acoplada a uma lupa binocular (Zeiss®) com aumento de 10 vezes. Nessa etapa, foi utilizada a luz ultravioleta para iluminação da área ocupada por poros na fatia, por conta da mistura com pigmentos fluorescentes adicionados na resina de impregnação (Figura 12).

As imagens foram digitalizadas em 984 x 728 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, sendo que no aumento definido, um pixel corresponde a 156,25 μm². Estas foram processadas com algoritmos próprios do software para distinção dos agregados do solo e dos poros, eliminação de ruídos nas imagens, e individualização e análises morfológicas dos poros.

O processo de classificação e quantificação da porosidade total foi realizado segundo os critérios definidos por (COOPER; VIDAL-TORRADO; CHAPLOT, 2005) e (COOPER et al., 2016), sendo otimizada por macros desenvolvidas em linguagem Visual Basic no Microsoft® Excel (JUHÁSZ et al., 2007).

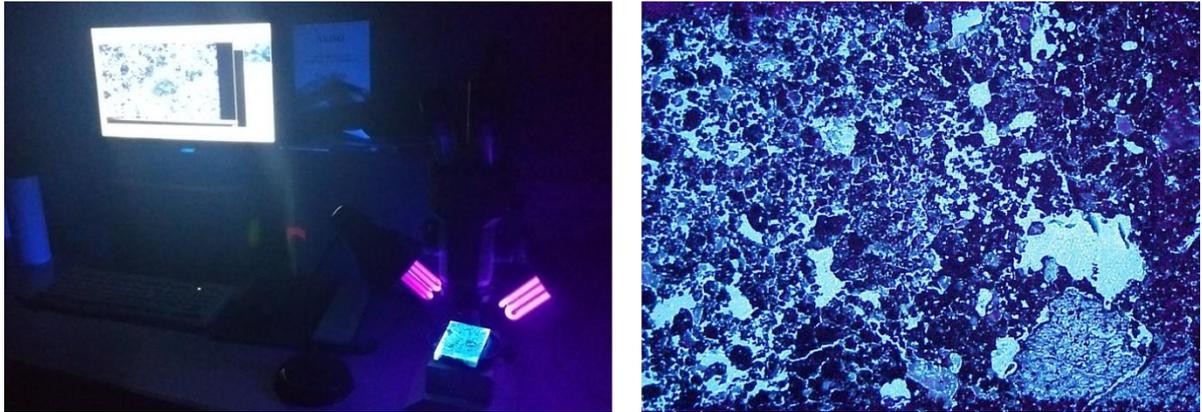


Figura 12. Processo de aquisição de imagens para processamento com a utilização de lupa objetiva de 10 aumentos e luz ultravioleta.

De acordo com esses critérios, os poros foram divididos em três grupos de acordo com sua forma: arredondados (canais e cavidades isoladas), alongados (fissuras) e complexos (empacotamento). Para definição da forma, foram utilizados dois índices:

$$I_1 = \frac{P^2}{4\pi A}$$

Em que P é o perímetro do poro e A sua área, e

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_i (N_i)_i}{\frac{1}{n} \sum_j (D_F)_j}$$

Sendo que N_i é o número de interceptos de um objeto na direção i ($i = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ e 135°), D_F é o diâmetro de Feret de um objeto na direção j ($j = 0^\circ$ e 90°), m é o número de i direções e n é o número de j direções. Este segundo índice é utilizado como complemento ao índice I_1 para obter uma exatidão mais alta na separação entre os grupos de forma. Os critérios para a distinção entre os grupos de forma aparecem na tabela abaixo (Tabela 2):

Tabela 2. Definição das classes de forma dos poróides.

Classe de Forma	Índice de forma	
	I_1	I_2
Arredondados (Arr)	$I_1 \leq 5$	-
Alongados (Alon)	$5 < I_1 \leq 25$	$\leq 2,2$
Complexos (Comp)	$5 < I_1 \leq 25$ ou > 25	$> 2,2$

As classes de tamanho foram divididas em três, sendo elas: poros pequenos, aqueles que ocupam uma área entre $1,56 \times 10^{-4}$ e $1,56 \times 10^{-2}$ mm², poros médios entre $1,56 \times 10^{-2}$ e $1,56 \times 10^{-1}$ mm² e poros grandes, com áreas maiores que $1,56 \times 10^{-1}$ mm² ($156-15600 \mu\text{m}^2$; $15601 \mu\text{m}^2 - 156000 \mu\text{m}^2$; $> 156000 \mu\text{m}^2$).

De acordo com (SOUZA et al., 2006), cavidades isoladas e poros tubulares pertencem a categoria de poros arredondados. Os que resultam da assembleia de agregados ou de partículas elementares e de poros de diversos tipos, interconectados, formando uma rede poral de tamanho grande de formas muito contornadas, pertencem a categoria dos poros complexos. Com I_1 compreendido entre 5 e 25, coexistem poros alongados e poros complexos de tamanho menor. Nesse caso o índice I_2 separa os limites do índice I_1 , permitindo melhor distinção entre estes.

3.6. Amostras para Densidade do Solo

Também em março de 2017, foram coletados anéis de densidade do solo, com a utilização de um amostrador e anéis cilíndricos de aço inoxidável, de dimensões médias de 5,2 cm de altura por 4,9 cm de diâmetro ($22,92 \text{ cm}^3$). Estes foram coletados verticalmente no perfil nas mesmas posições em que foram posicionadas as amostras indeformadas para micromorfometria (Figura 13). Para cada posição, foram coletados 3 anéis de densidade do solo, conforme esquema abaixo:

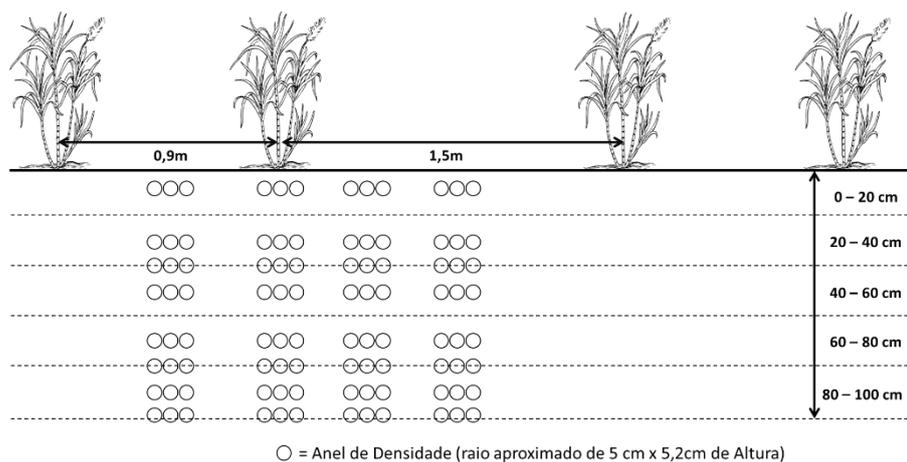


Figura 13. Locais de amostragem nos perfis de anéis volumétricos para determinação da densidade do solo.



Figura 14. Exemplo de perfil após a retirada dos anéis volumétricos para determinação da densidade do solo.

3.6.1. Preparo e análise das amostras de densidade do solo

As amostras coletadas foram postas em uma estufa a 105°C para secagem durante 24 horas. Após esse período, o solo foi retirado dos anéis e alocados em sacos plásticos para posterior pesagem. A densidade do solo foi calculada por meio da relação entre massa do solo seco e o volume da amostra.

Para avaliar estatisticamente, os valores de densidade do solo nas diferentes profundidades dentro de cada região (Rua, Intermediária, Planta e Canteiro) no mesmo tipo de preparo do solo, foi utilizado o teste de Tukey precedido por uma Análise de Variância (ANOVA). A Análise de Tukey também foi utilizada para avaliar, dentro do mesmo tipo de preparo, as diferentes regiões na mesma profundidade. Para comparativo dos valores de densidade do solo entre os dois tipos de preparo do solo, nas mesmas regiões e profundidades, foi utilizado o teste T.

O nível de significância utilizado para os testes estatísticos foi de 5%. Antes de iniciar os testes estatísticos, foram verificadas a normalidade da distribuição dos dados e a homogeneidade de variância, pelo teste de Levene. O processamento das análises foi realizado no software ActionStat.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise micromorfométrica

4.1.1. Primeira coleta

Na primeira coleta realizada para análises micromorfométricas, as amostras do perfil testemunha, indicaram uma diminuição da área total ocupada por poros (ATP) com o aumento da profundidade (Figura 15 e Figura 16), sendo que para a amostra coletada na camada superficial de 0-20 cm a ATP foi de 30,29% e na amostra de maior profundidade, de 80-100 cm, o espaço poroso correspondeu a 14,26% da área da amostra, resultando em um fator de redução de 2,12. Essa diminuição da porosidade se mostrou gradual no perfil, sendo que as áreas totais ocupadas por poros das camadas 20-40 cm e 40-60 cm foram bastante semelhantes, 23,96% e 21,51% respectivamente, e na amostra de 60-80 cm foi de 15,16%, muito próxima a camada inferior a esta.

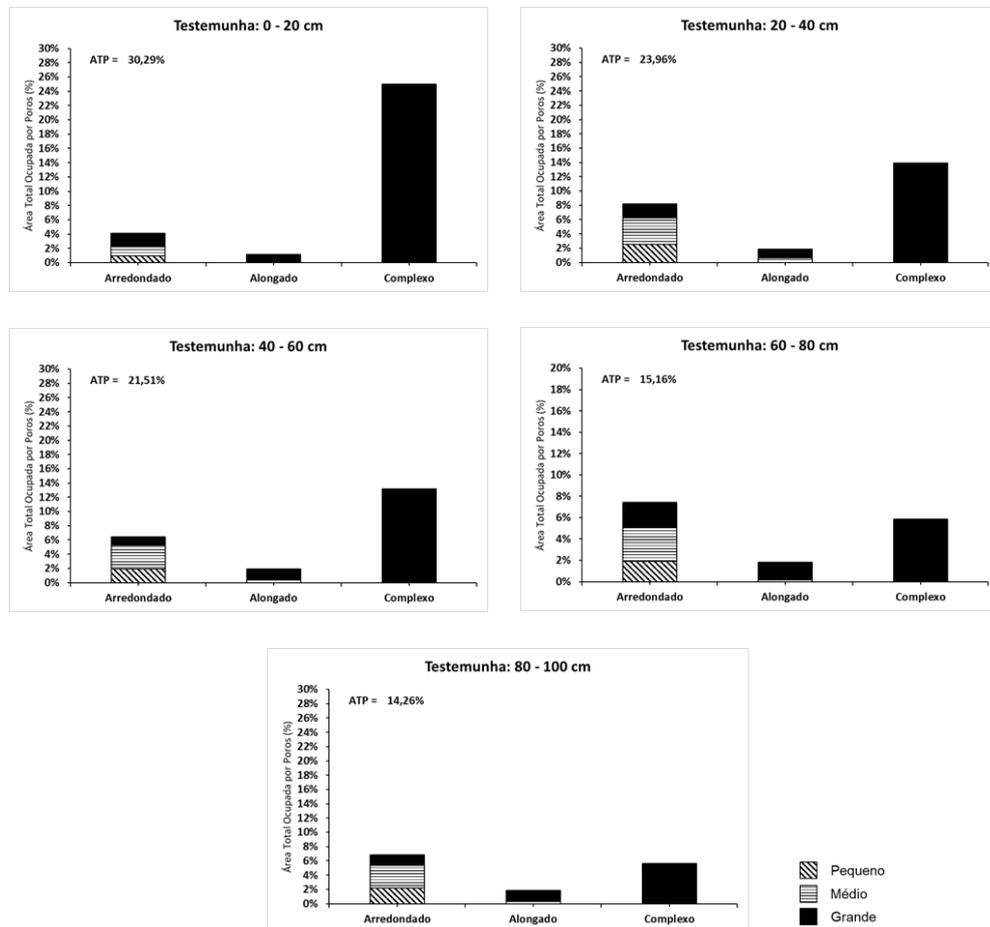


Figura 15. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da área Testemunha, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

Também na testemunha, percebe-se uma diminuição acentuada nos valores da porosidade representada por poros complexos de tamanho grande em profundidade, sendo que na camada superficial esses eram de 25% e na camada mais subsuperficial os valores caíram para 5,58%. Com isso, teve-se também uma redução na participação dessa classe de poro na porosidade total do solo, diminuindo de 83,33% para 39%.

Por outro lado, a porcentagem de poros arredondados permaneceu constante no perfil, variando entre os valores de 4,1% a 8,15%, sendo representada por uma distribuição mais homogênea em relação ao tamanho dos mesmos, com uma pequena predominância de poros de tamanho médio, exceto na camada superficial que teve predominância dos poros de tamanho grande. Podemos analisar um decréscimo maior na participação dos poros complexos nas camadas a partir de 60 cm e mais profundas, sendo que esse fato se deve à menor presença de raízes nessa profundidade e menor atuação de processos de bioturbação.

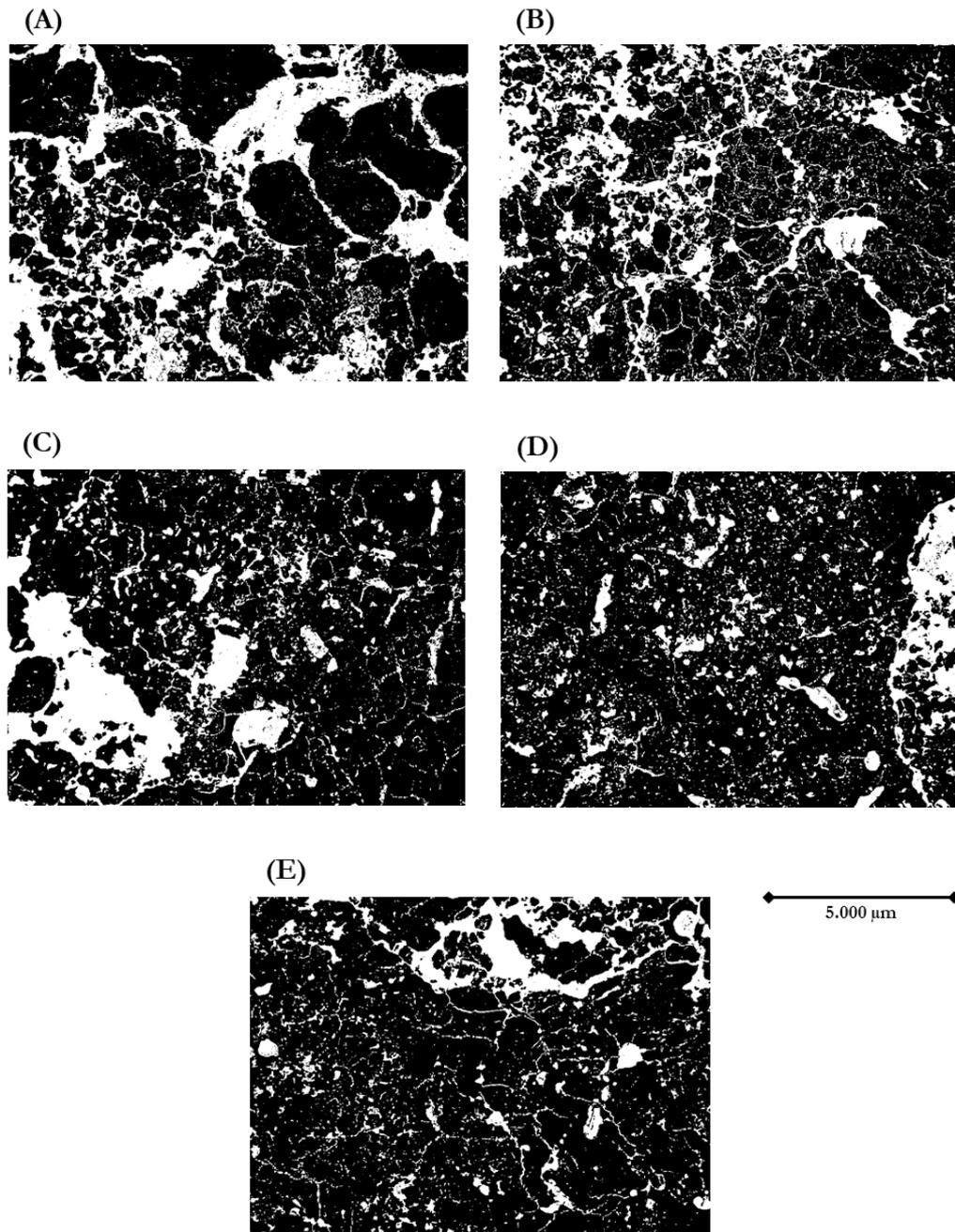


Figura 16. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes do perfil da Testemunha (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.

Analisando a primeira coleta da área onde foi realizado o preparo convencional nota-se, tanto na região do canteiro quando na rua, aumentos na área total ocupada por poros de forma praticamente constante no perfil da superfície às camadas mais profundas (Figura 17).

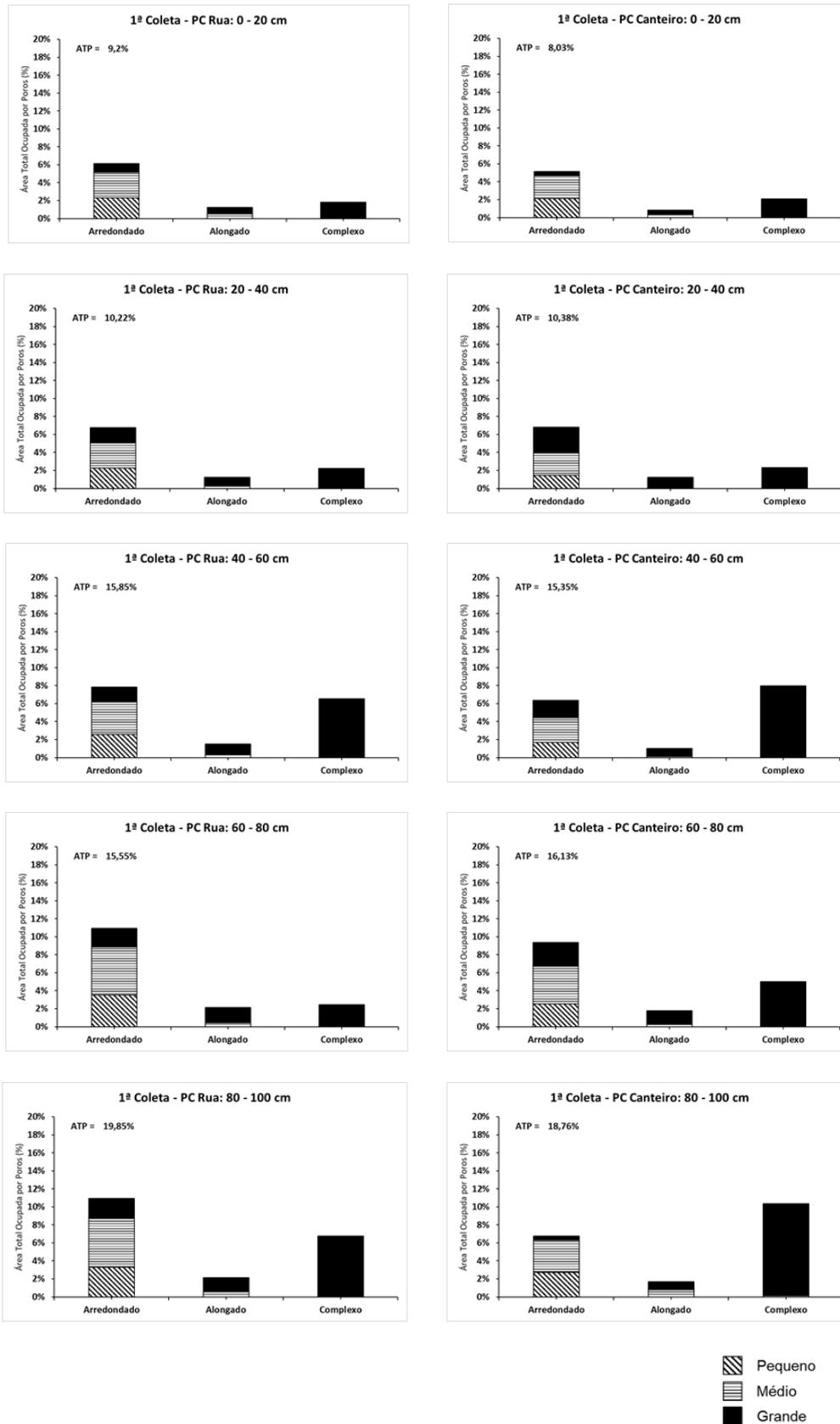


Figura 17. Resultados da análise micromorfológica das amostras da primeira coleta da área do Preparo Convencional, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

No canteiro (Figura 18), a profundidade da camada de 0-20 cm apresentou uma área total ocupada por poros de 8,03% e na camada de 80-100 cm, a área total foi de 18,76%, correspondendo a um fator de aumento nessa região do perfil de 2,33. Nas camadas de 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm do canteiro, as porosidades foram de 10,38%, 15,35% e 16,13%, respectivamente. Nesse caso, nota-se que o canteiro apresentou porosidades significativamente menores nas camadas de 0-60 cm em relação à testemunha. Porém, a partir de 60 cm, não é mais observado o efeito do preparo do solo e tráfego de máquinas, com a porosidade voltando a níveis similares a área não alterada.

Conforme sugerido por (LIMA, 2016), o aumento gradual da porosidade em profundidade, deve-se, provavelmente ao intenso tráfego agrícola na área causando o preenchimento dos poros maiores pelas partículas finas de solo e, conseqüentemente, tendendo a maior compactação nas camadas superficiais. Tal evidência se reforça ao se comparar as áreas com realização de preparo de solo e à área testemunha, que de forma contrária apresentou uma diminuição da ATP em profundidade.

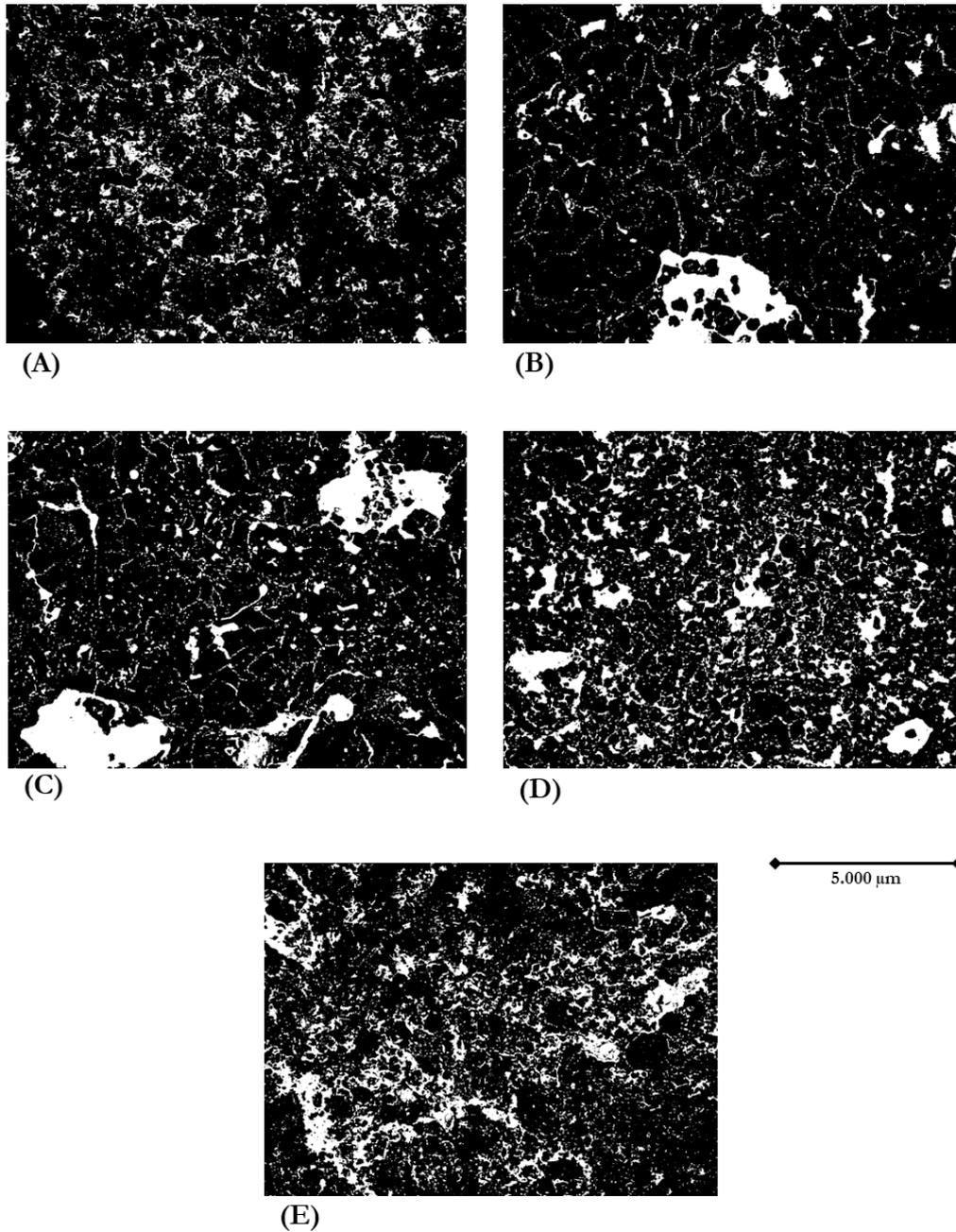


Figura 18. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Convencional na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.

Na região analisada da rua do preparo convencional (Figura 19), a área total ocupada por poros nas diferentes camadas foi bastante similar às camadas do perfil do canteiro, sendo de 9,20% na camada de 0-20 cm e de 19,85% na camada de 80-100 cm, com um aumento praticamente constante no perfil. Entretanto, nota-se que mesmo com áreas totais de poros semelhantes, as participações nas classes de forma de poros apresentaram reduções nas quantidades dos complexos e um aumento nas participações de poros arredondados e alongados na região da rua.

Na camada de 0-20 cm da rua, a porcentagem de poros complexos corresponde a 19,7% da área total ocupada por poros e na mesma profundidade do canteiro essa classe de forma corresponde a 25,8% da área. Já em relação aos poros arredondados e alongados, na primeira, a participação foi de 80,1% e no canteiro de 75% da área total ocupada por poros.

Nas camadas de 40-60 cm e de 60-80 cm, as diminuições na participação dos poros complexos da rua em relação ao canteiro foram pouco mais significativas. Nessas camadas, na rua, a participação nas áreas totais representadas por poros complexos foi de 41,16% e 15,75% frente ao canteiro, que apresentaram valores de 51,79% e 30,81% respectivamente. Em 80-100 cm, a participação dos poros complexos na ATP foi de 33,8% na rua e 54,4% no canteiro, onde os poros arredondados e alongados tiveram um aumento de 45,6% no canteiro para 66,2% na rua. Já na camada de 20-40 cm, não ocorreram diferenças significativas entre a rua e o canteiro. Nas camadas superiores, essa alteração nos tipos de poros é um indicativo da influência, mesmo não sendo representativa, ao efeito do tráfego agrícola nessa região, reduzindo o tamanho destes.

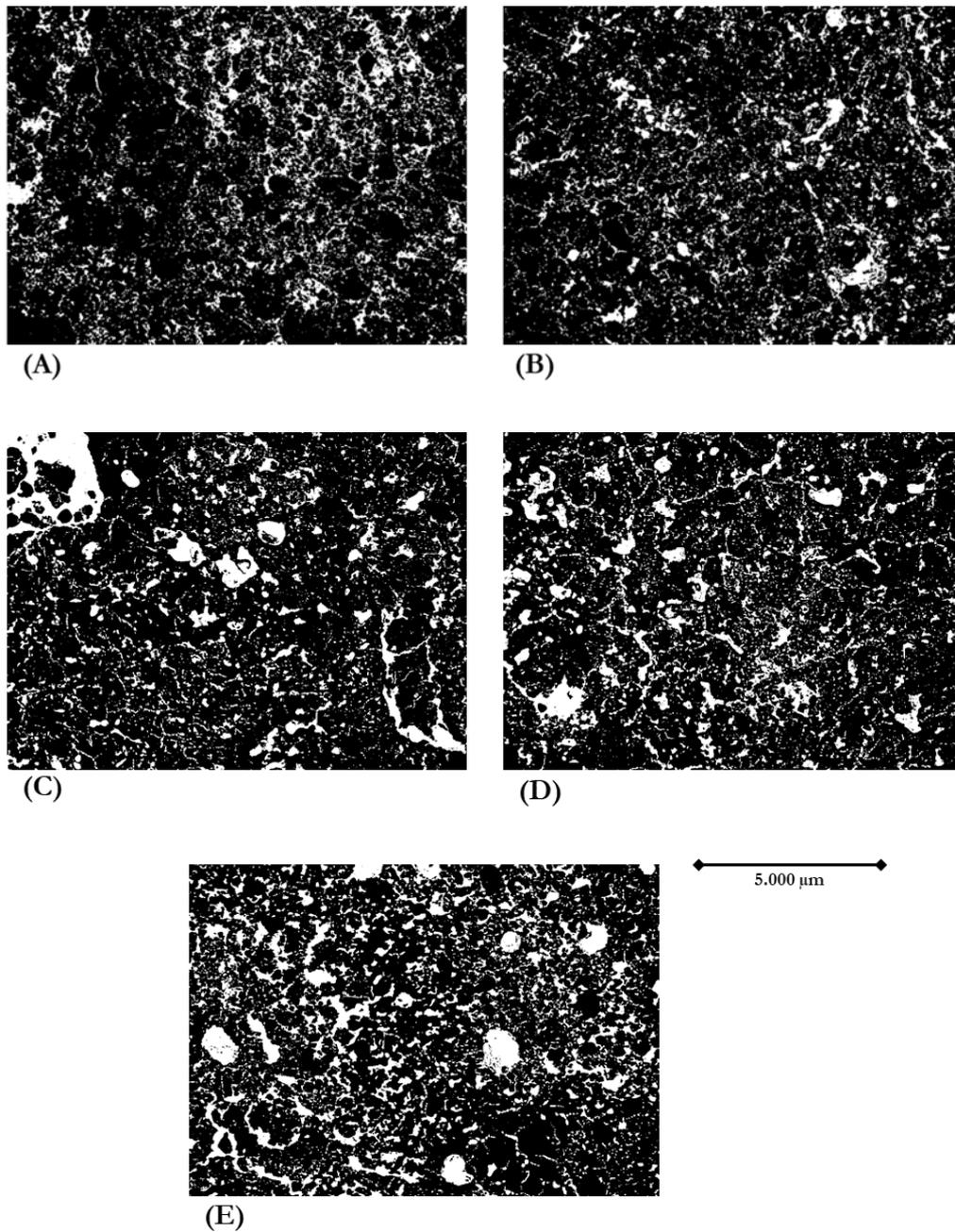


Figura 19. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do rodado do perfil do Preparo Convencional na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.

Em relação à testemunha, a primeira coleta do preparo convencional mostrou tanto no canteiro como na rua, uma redução significativa em relação à área total dos poros, principalmente nas camadas de 0 a 60 cm, sendo que nas camadas mais profundas os valores ficaram até superiores à área não mobilizada. Essa redução se deu principalmente em decorrência da diminuição na quantidade de poros complexos devido ao preparo do solo. Nas camadas de 60 a 100 cm as diferenças das áreas totais dos poros já não são mais significativas, demonstrando que nessas camadas já não há mais grande influência desse tipo de preparo.

Analisando a região central do canteiro do preparo profundo canteirizado (Figura 20 e Figura 21), a área total ocupada por poros se mostrou bastante homogênea nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, representadas por 18,4%, 19,5% e 19,56% respectivamente, corroborando os dados de (MARASCA, 2014) que encontrou menores valores de compactação nessa região sem tráfego em área com utilização do Penta, indicando a maior presença de poros no solo, como consequência da atuação da enxada rotativa e do subsolador em relação ao preparo convencional. Na camada de 60-80 cm, a análise mostrou uma redução na área dos poros em relação as camadas superiores, com um valor de 15,4%, voltando a aumentar na camada de 80-100 cm para um valor de 24,39%.

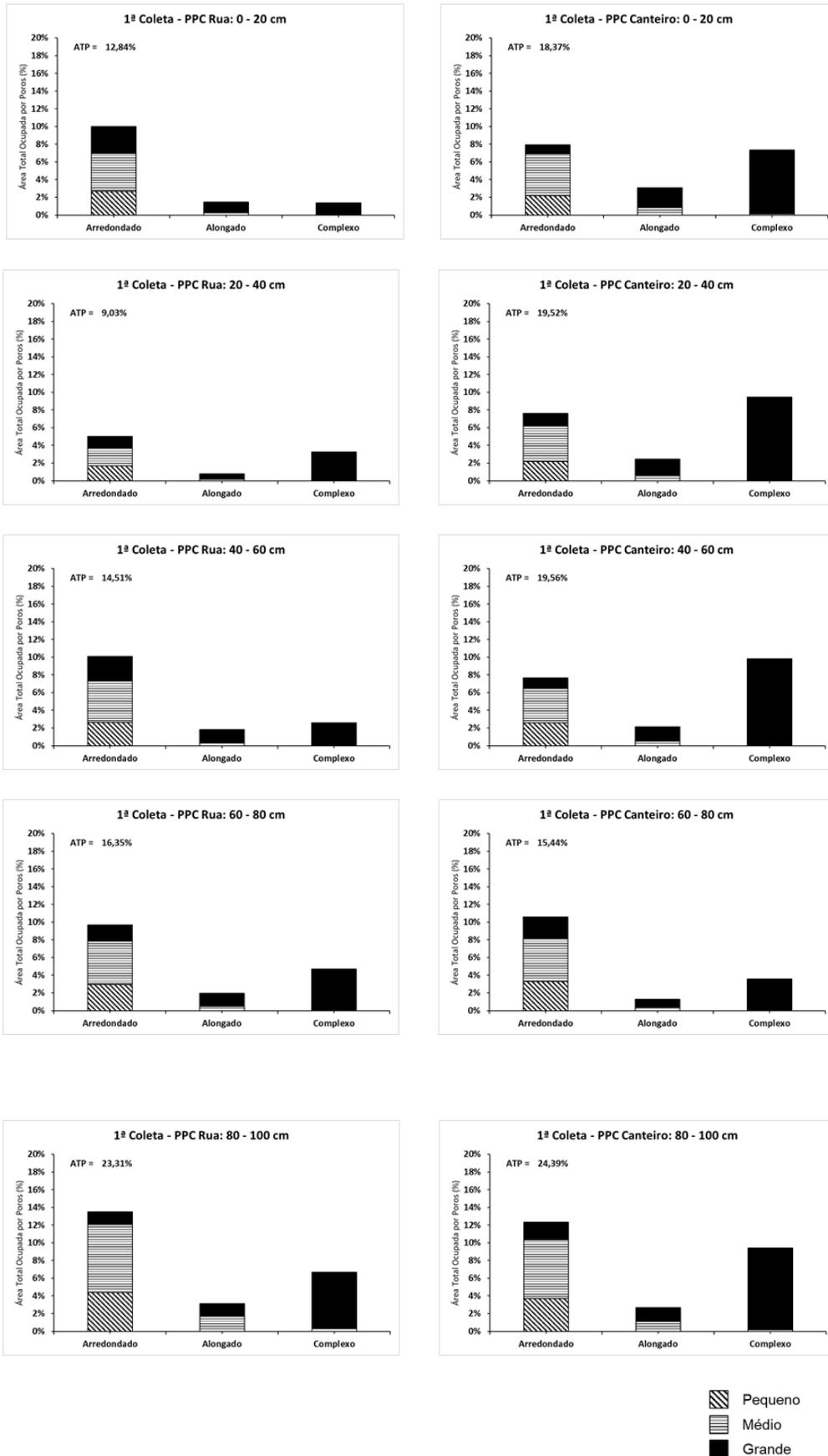


Figura 20. Resultados da análise micromorfológica das amostras da primeira coleta da área do Preparo Profundo Canteirizado, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

Também foi possível analisar que nessas camadas de 0 a 60 cm, no preparo profundo canteirizado, há uma grande participação das diferentes classes de poros, principalmente complexos grandes e poros arredondados. Na camada de 0-20 cm, os poros arredondados corresponderam a 43,2% do total da área ocupada por poros, ou 7,9% da área da imagem e os poros grandes complexos nessa camada, corresponderam a 40,1% da área total ocupada por poros. Nas camadas de 20-40 cm e 40- 60 cm, os poros complexos passaram a ser predominantes na ATP, correspondendo a 48,4% e 49,6%.

Já na camada de 60-80 cm, onde ocorreu um decréscimo da ATP em relação ao restante do perfil, muito se deu por conta da grande redução da presença de poros complexos, caindo para 3,6% da imagem ou 23,2% da participação na ATP. Em contrapartida, ocorre um aumento na participação de poros arredondados, indo para 68,5% da área total ocupada por poros. Vale ressaltar que essa profundidade corresponde à faixa inferior de atuação do subsolador, que no tratamento do preparo profundo canteirizado foi de 80 cm de profundidade, indicando possível compactação ocasionada pela pressão exercida na extremidade do implemento.

Na camada de 80-100 cm, o valor de 24,39% de ATP resulta em um fator de aumento de 1,32 em relação a camada superficial (0 – 20 cm) e possui uma participação de 50,5% relacionada a poros arredondados (principalmente de pequeno e médio tamanho) e 38,5% dos poros do tipo complexo grandes.

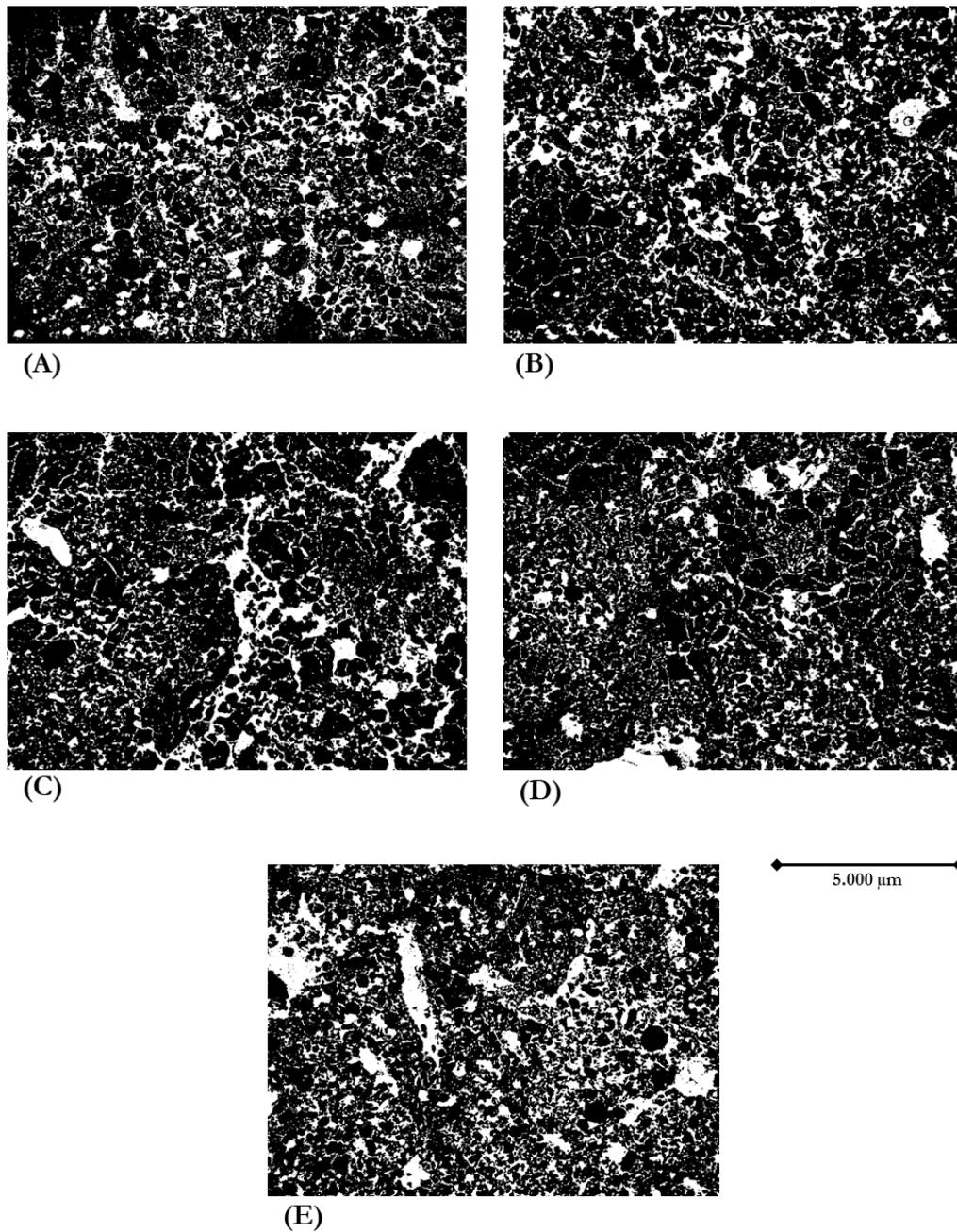


Figura 21. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.

Na rua do preparo profundo canteirizado (Figura 20 e Figura 22), diferentemente do canteiro, as amostras indicaram um aumento da porosidade em profundidade, exceto pela camada de 20-40 cm, resultando em um fator de aumento na ATP de 1,81 da primeira à última camada. Em 0-20 cm, foi encontrada uma ATP de 12,8%, com grande predomínio de poros arredondados (77,9% do total) e baixa participação de poros complexos, com apenas 10,7% do total. Nessa região, não é possível compreender a influência do tipo de preparo no solo, sendo que nesse caso há uma grande correspondência entre a situação encontrada no período inicial da cultura (em relação ao seu ciclo comercial) ao histórico da área, pois na região do rodado do preparo profundo canteirizado não houve a mobilização

do solo e por ser um campo experimental sujeito anteriormente à diferentes manejos e atividades, não foi possível levantar as características específicas desse ponto no momento da implantação do tratamento.

Na amostra coletada de 20-40 cm, a análise mostra uma diminuição na ATP do solo, para 9,03%, sendo essa representada por 55,2% em poros arredondados e 36,1% composta por poros complexos de tamanho grande. Essa diminuição pode ser consequência da compactação decorrente da pressão exercida pelo rodado durante o tráfego agrícola, atuando também na camada logo abaixo da camada superficial na área não mobilizada. A partir da camada de 40-60 cm os valores de ATP passaram a aumentar novamente, sendo que apresentaram os valores de 14,51%, 16,35% e 23,31% para as camadas de 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm respectivamente, com predominância dos poros do tipo arredondados, variando a participação dos mesmos na ATP de 57,8% na camada de 80-100 cm e 69,6% na camada de 40-60 cm.

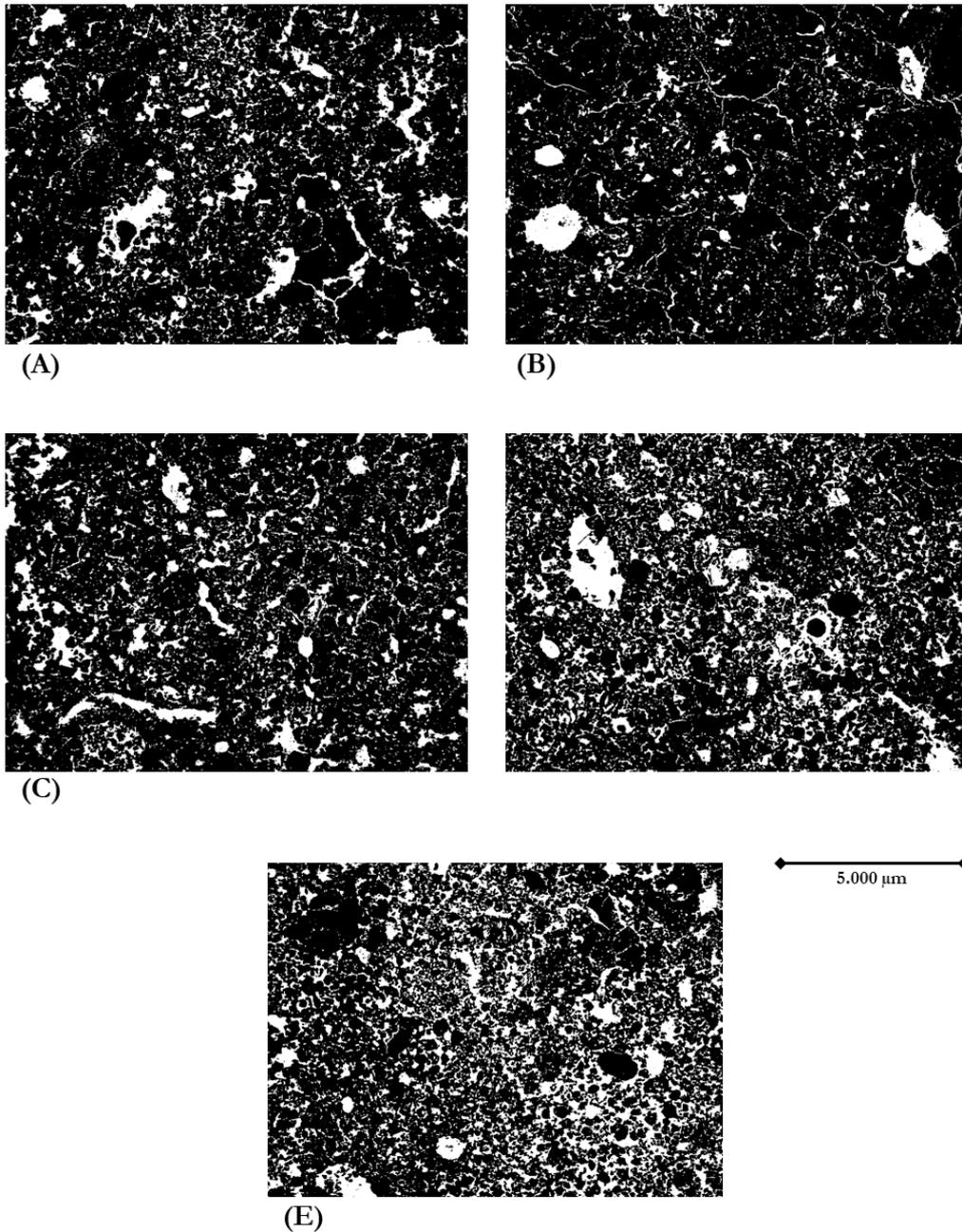


Figura 22. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central da rua do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na primeira coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 40 – 60 cm; D = 60 – 80 cm; E = 80 – 100 cm.

Comparando o canteiro e a rua da primeira coleta da área do preparo profundo canteirizado, foram identificadas diferenças significativas nas ATPs e na participação dos tipos de poros nas camadas 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm correspondentes. Em 0-20 cm, o tipo de preparo resultou um fator de redução de 1,84 do canteiro para a rua, principalmente devido à grande redução dos espaços ocupados por poros complexos, diminuindo de 7,4% para 1,4% das áreas das imagens e conseqüentemente também aumentando a participação dos poros arredondados na ATP.

Já as amostras das camadas 20-40 cm, apresentaram um fator de redução da ATP do canteiro para a rua de 2,61, de 19,52% para 9,03%. Nessa camada, ocorreram diminuições em todas as classes de poros, porém de forma mais significativa nos poros grandes complexos, alterando de 9,4% para 3,3% das áreas das imagens. Abaixo, nas amostras de 40-60 cm, o fator de redução foi menor em relação à camada superior, resultando em 1,3, também decorrente principalmente da diminuição dos poros complexos, entretanto com aumento da área ocupada por poros arredondados.

A partir da profundidade de 60 cm, já não há mais evidência significativa na diferença de porosidade, apresentando valores bastante homogêneos, tanto na ATP quando na participação das diferentes classes de poros nesta.

Em relação à testemunha, no canteiro do tratamento do preparo profundo canteirizado, há uma redução da ATP nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm (redução de fatores de 1,64 e 1,22), devido a influência do preparo de solo de forma mais intensa nessas camadas. Nas profundidades de 40-60 cm e 60-80 cm, os valores de ATP já aparecem semelhantes ao encontrado na profundidade correspondente na testemunha. Entretanto, na profundidade de 80-100 cm, o valor encontrado é bastante superior ao da testemunha, sendo de 24,4% frente aos 14,25% desta. Esse fato provavelmente se deve provavelmente pela variabilidade natural da estrutura e variação na profundidade do horizonte Bw na área experimental, conforme constatado por (LIMA, 2016).

Na área de passagem do rodado no tratamento do preparo profundo canteirizado, a redução da presença de poros complexos se deu por conta do preparo do solo sem mobilização dessa região e pela primeira passagem da colhedora e transbordo, afetando a distribuição dos mesmos em até 0-60 cm de profundidade.

Analisando de forma comparativa os diferentes tratamentos na primeira coleta, vê-se nos canteiros maiores valores de áreas totais ocupadas por poros nas camadas de 0 a 60 cm na área do preparo profundo canteirizado, de forma mais acentuada nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm, ocasionada por conta da ação desestruturante da enxada rotativa no solo, que promove uma maior porosidade inicial em relação ao preparo convencional. Na camada de 60-80 cm os valores encontrados já são bastante similares na área total ocupada por poros (15,44% no preparo profundo canteirizado e 16,35% no preparo convencional), porém com um valor um maior na presença de poros arredondados no preparo profundo canteirizado (68,5%), frente ao convencional (58%). Já o valor mais elevado da camada 80-100 cm do PPC em comparação ao PC, de 24,4% e 18,76% aumenta a evidência de ser uma característica local do tratamento. Comparando também as ruas dos dois tratamentos, não foi possível identificar alterações significativas nas ATPs nesse primeiro momento.

4.1.2. Segunda coleta

Na segunda coleta da área do preparo convencional (ANEXO B) realizada após a terceira colheita da área, pode-se identificar nas regiões analisadas diferenças marcantes entre as amostras superficiais de 0-40cm ao restante das profundidades do perfil, em relação aos valores de áreas totais ocupadas por poros. No canteiro (Figura 23 e Figura), nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, foram encontrados valores de 7,42% e 7,59% de área total ocupada por poros respectivamente, com participações semelhantes referentes às classes de tipos de poros, sendo que na camada 0-20 cm, há 60,3% de participação na ATP ocupada por poros arredondados (principalmente pequenos e médios),

8,8% por poros alongados e 30,9% constituída por poros grandes e complexos e na camada de 20-40 cm, os valores encontrados foram de 67,7%, 9,6% e 22,9% para cada tipo de poro, respectivamente.

Nas camadas 34-46 cm, 40-60 cm e 60-80 cm, foram encontrados valores significativamente mais elevados que as camadas de 0 – 40 cm, com ATPs totais de 17,41%, 16,64% e 15,50%, respectivamente, porém com um aumento na participação de poros arredondados quanto maior a profundidade e uma diminuição na participação dos poros complexos, os primeiros aumentando de 37,5% para 63,3% e os segundos caindo de 52,4% para 24,2% de participação na ATP.

Outra zona é identificada nas camadas 74-86 cm e 80-100 cm, com ATPs de 19,22% e 23,05% e na profundidade de 90-102 cm, foi constatado uma diminuição nos valores para 15,15%. Porém, esse valor discrepante em relação ao comportamento do perfil ocorre por conta de uma característica pontual do local amostrado.

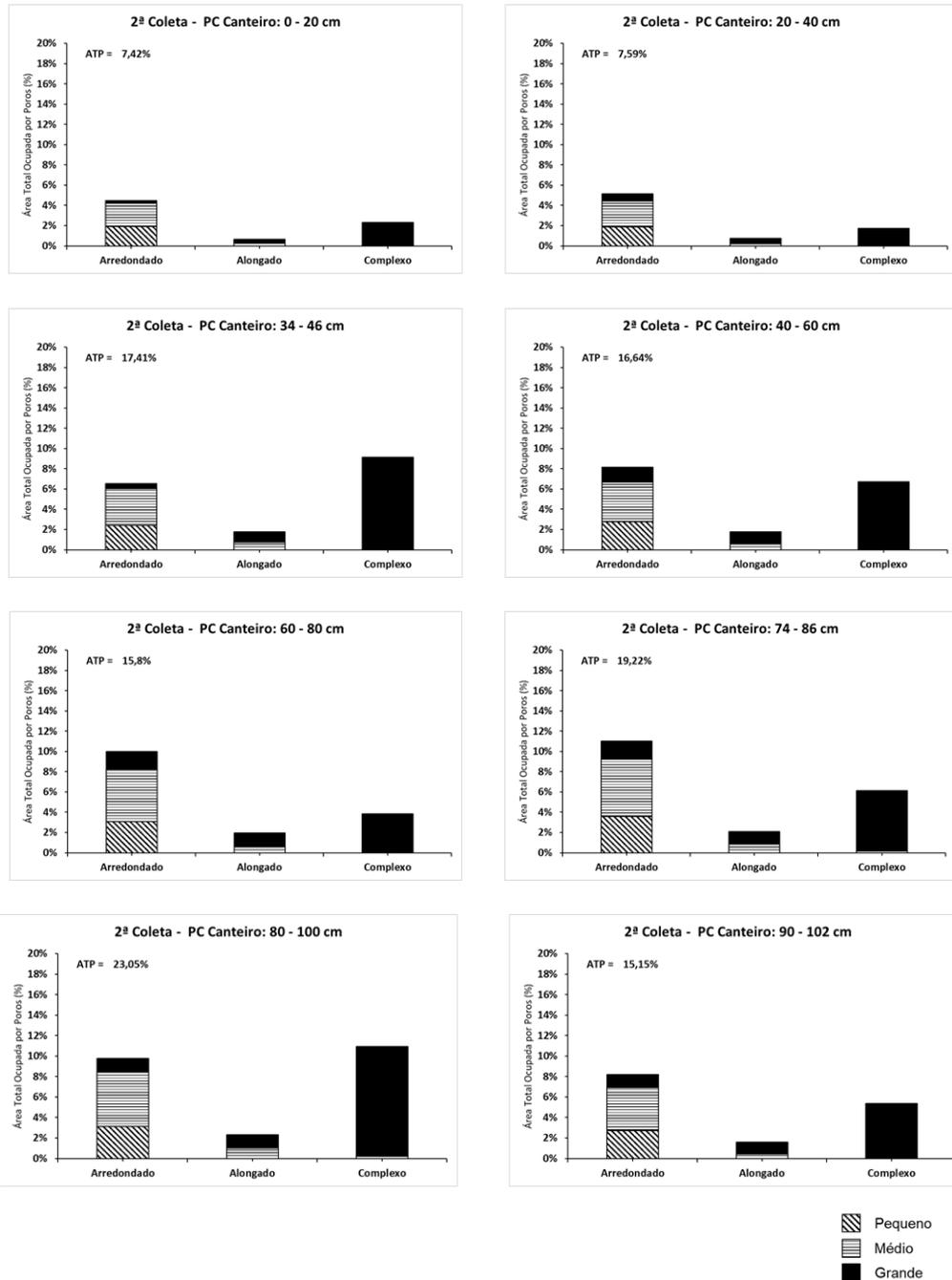


Figura 23. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região central do canteiro, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

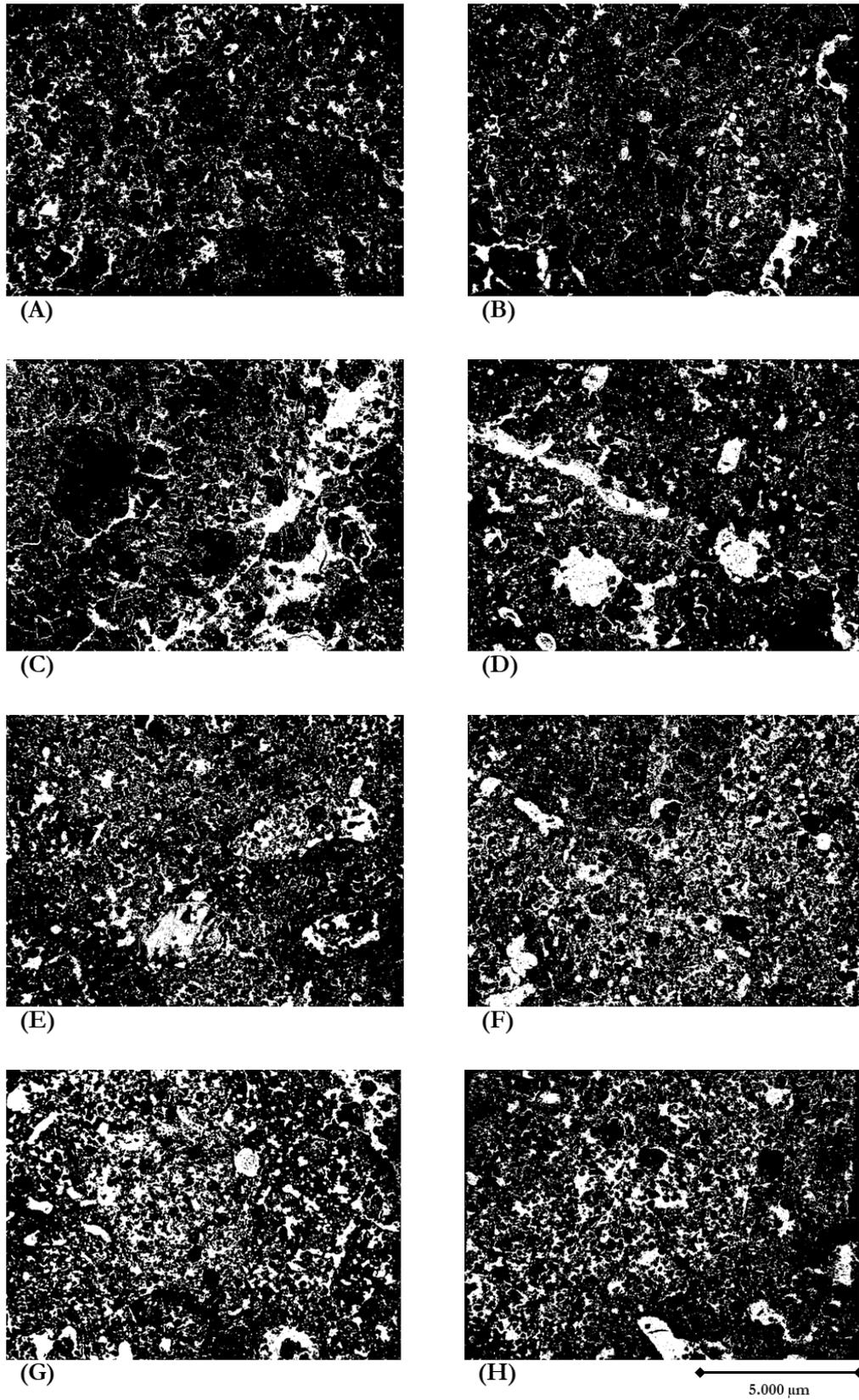


Figura 24. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

Na região da passagem do rodado, os valores encontrados de ATP são bastante similares aos do canteiro (Figura 25 e Figura 26). Nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, as ATPs foram respectivamente de 8,92% e 8,16%, com menor participação dos poros complexos em relação ao canteiro, porém com maior presença de poros dos tipos arredondados e alongados (total de 79,6% e 81,0%), devido a influência direta da compactação ocasionada pelo tráfego.

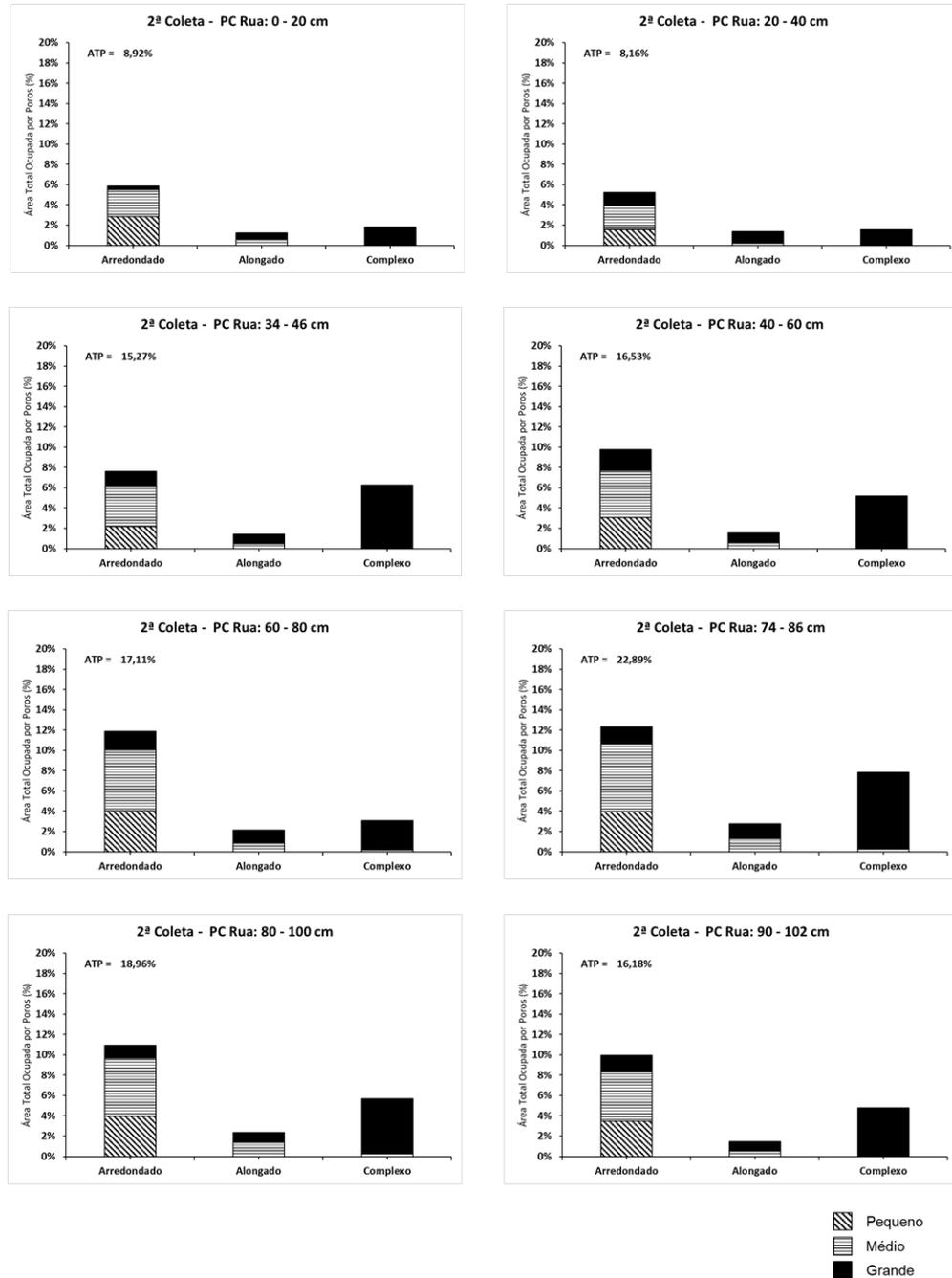


Figura 25. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região central da rua, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

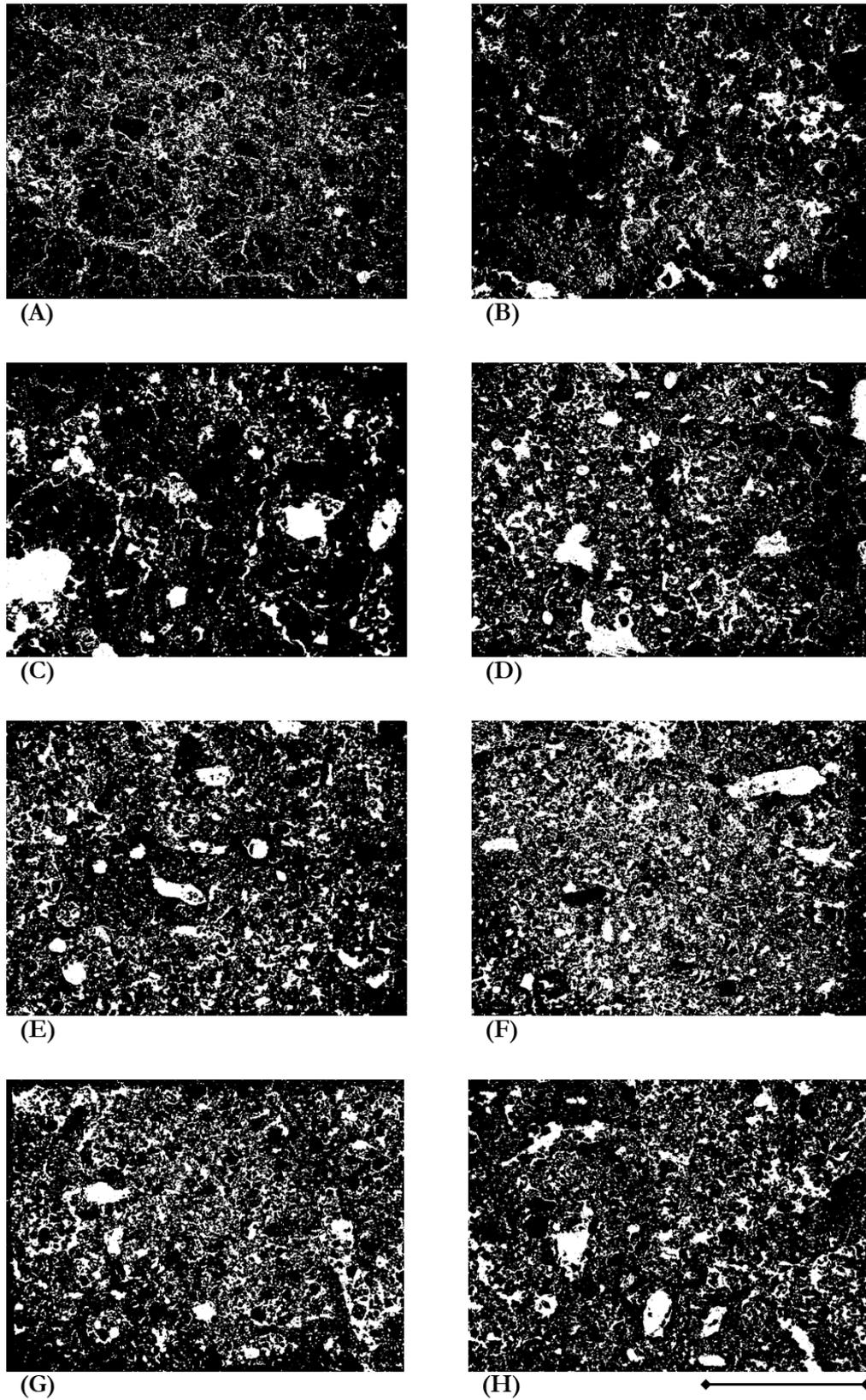


Figura 26. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central da rua do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

Nas camadas de 34-46 cm, 40-60 cm e 60-80 cm, os valores de 15,2%, 16,53% e 17,11% foram encontrados. Ainda nessas camadas há a predominância de poros arredondados, com 50%, 59,1% e 69,5% da ATP, respectivamente. A partir da camada 74-86 cm a ATP passa para valores de 22,89% e tem uma queda para valores de 18,96% e 16,18% nas camadas de 80-100 cm e 90-102 cm, também com predominância de poros do tipo arredondados em decorrência de menores valores de poros complexos, apresentando 53,9%, 57,6% e 61,4% para os arredondados e 34,1%, 30% e 29,5% para os poros complexos. É interessante notar a proximidade entre os valores encontrados no canteiro com os encontrados na região central da rua em praticamente todas as profundidades.

Na região de análise intermediária, notamos nas camadas superficiais valores de ATP pouco mais elevados que na região do rodado (Figura 27 e Figura 28), sendo que nessa área não há contato direto com o rodado do maquinário igual ao ocorrente na região central da rua, favorecendo uma maior manutenção dos poros, com valores de 11,45% e 9,42% de ATP nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, com participação de 60,1% e 64,8% da ATP por poros do tipo arredondado e 28,4% e 22,3% por poros do tipo complexo.

A partir da camada 34-46 cm, os valores de ATP aumentam, com valores de 16,6% na mesma e 18,01% e 15,96% nas profundidades de 40-60 cm e 60-80 cm. Nessa zona analisada, também há uma predominância da ATP por poros de tipo arredondado com 53,8%, 60,8% e 68,7% em detrimento da participação dos poros de tipo complexo, com 37,2%, 30,9% e 22,1%, respectivamente. Em maior profundidade, nas camadas de 74-86 cm, 80-100 cm e 90-102 cm, os valores de ATP passam de 20%, sendo respectivamente 20,34%, 22,30% e 20,79% com maior presença de poros do tipo arredondado, porém em menor proporção que nas camadas superiores, sendo de 55,7%, 55,2% e 55,9%, respectivamente. Para os poros do tipo complexos, as participações na ATP foram de 34,2%, 32,7% e 32,4%.

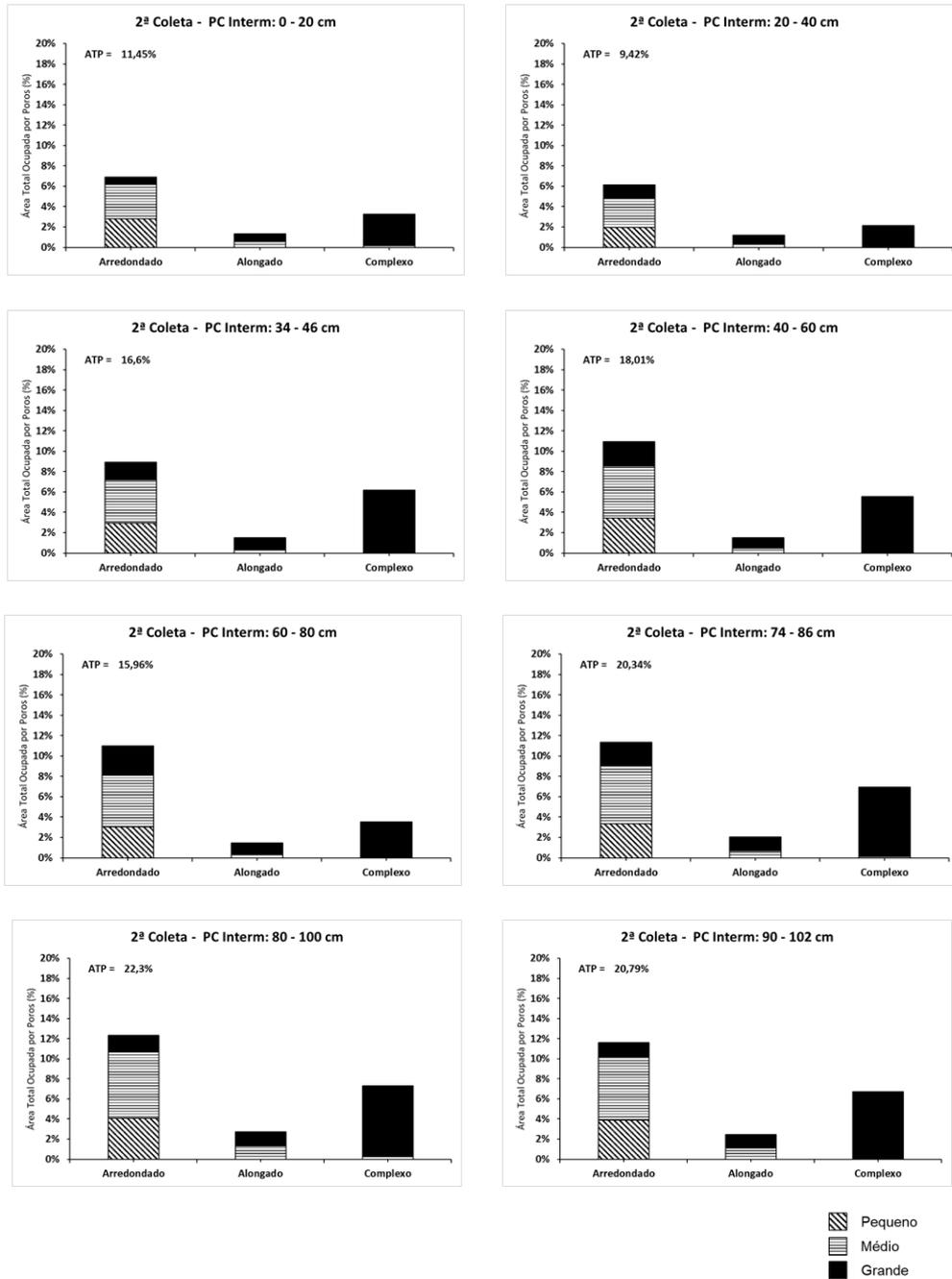


Figura 27. Resultados da análise micromorfológica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região intermediária, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

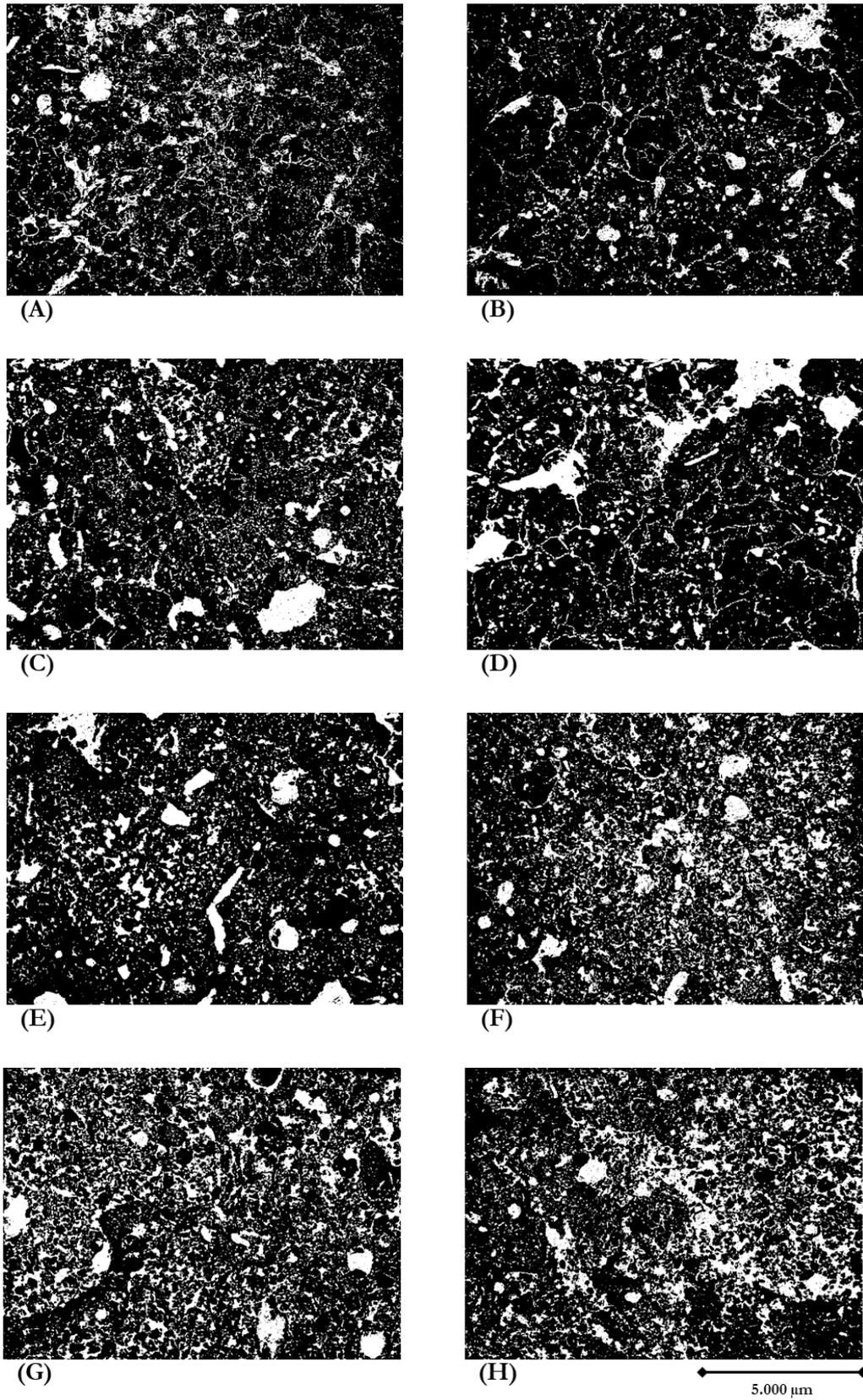


Figura 28. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região intermediária do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

Na região abaixo da planta (Figura 29 e Figura 30) a ATP é mais elevada nas camadas superficiais, devido à maior presença do sistema radicular da cana-de-açúcar e pelo do uso do sulcador no plantio. Os valores encontrados nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm foram de 14,26% e 10,67% sendo que na primeira camada houve maior participação de poros do tipo complexo em relação as camadas correspondentes em outras regiões (rodado, intermediária e canteiro) evidenciando o efeito do desenvolvimento do sistema radicular na morfologia dos poros. Os valores encontrados foram de 44,8% e 65,5% da ATP para poros do tipo arredondado, respectivamente, e 43,3% e 25,3% da ATP para poros do tipo complexo, respectivamente.

Nas profundidades de 34-46 cm e 40-60 cm, a ATP passa a ser menor do que nas outras regiões, ocupando 14,52% e 14,07% da área das imagens, com grande predomínio de poros arredondados (69,9% e 69,4% da ATP, respectivamente). A partir da camada 64-76 cm, os valores já passam a ser semelhantes ao restante das regiões do perfil, com valores de ATP de 17,37%, 22,17%, 20,75% e 21,83% para as camadas de 64-56 cm, 74-86 cm, 80-100 cm e 90-102 cm, respectivamente. Nestas camadas houve predomínio de poros do tipo arredondado de forma decrescente, ocupando 61,8%, 57,7%, 55,1% e 58,6% da ATP e do tipo complexo ocupando 26,4%, 30,6%, 34,3% e 29,3% da ATP, respectivamente.

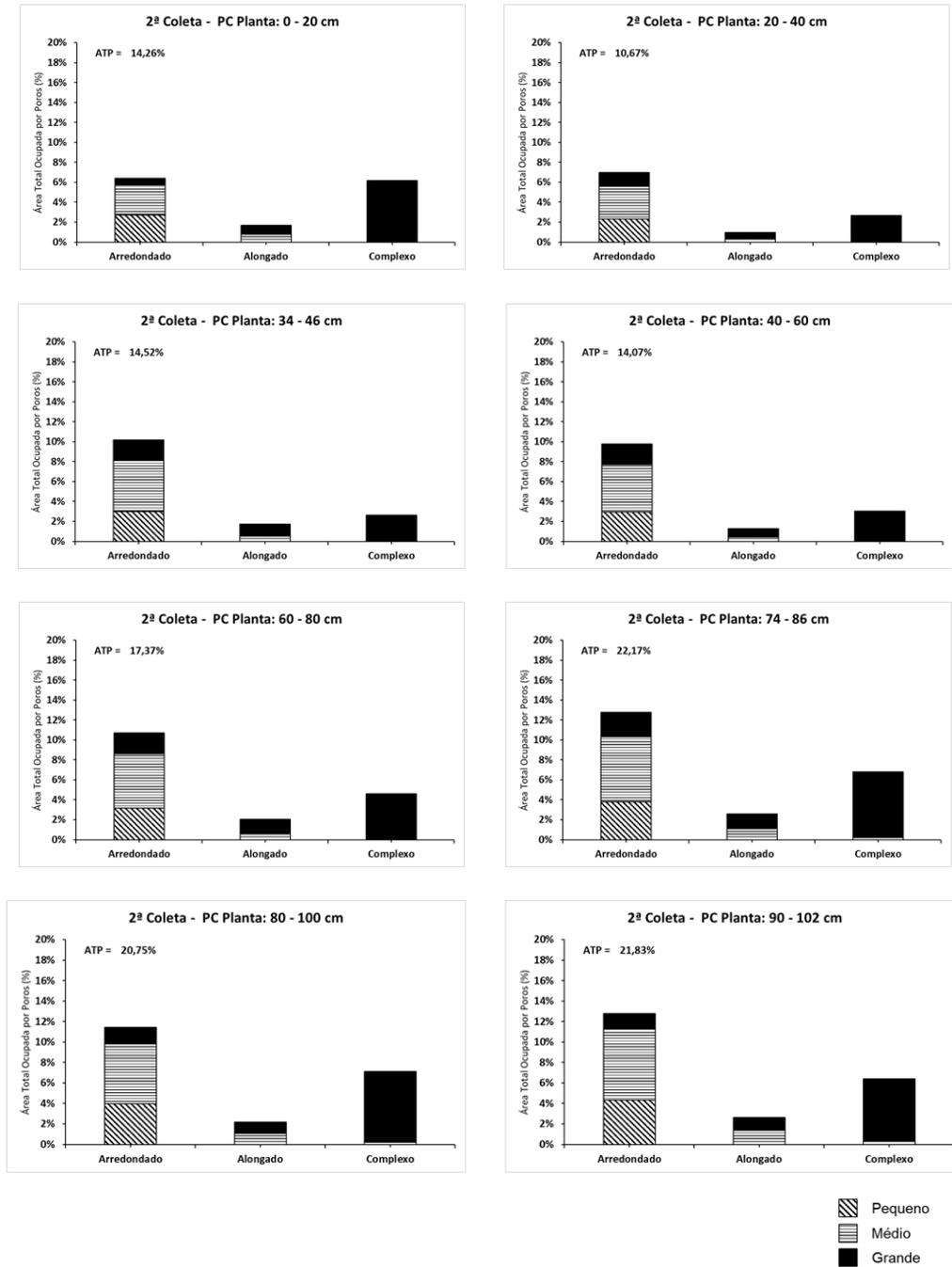


Figura 29. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região abaixo da planta, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

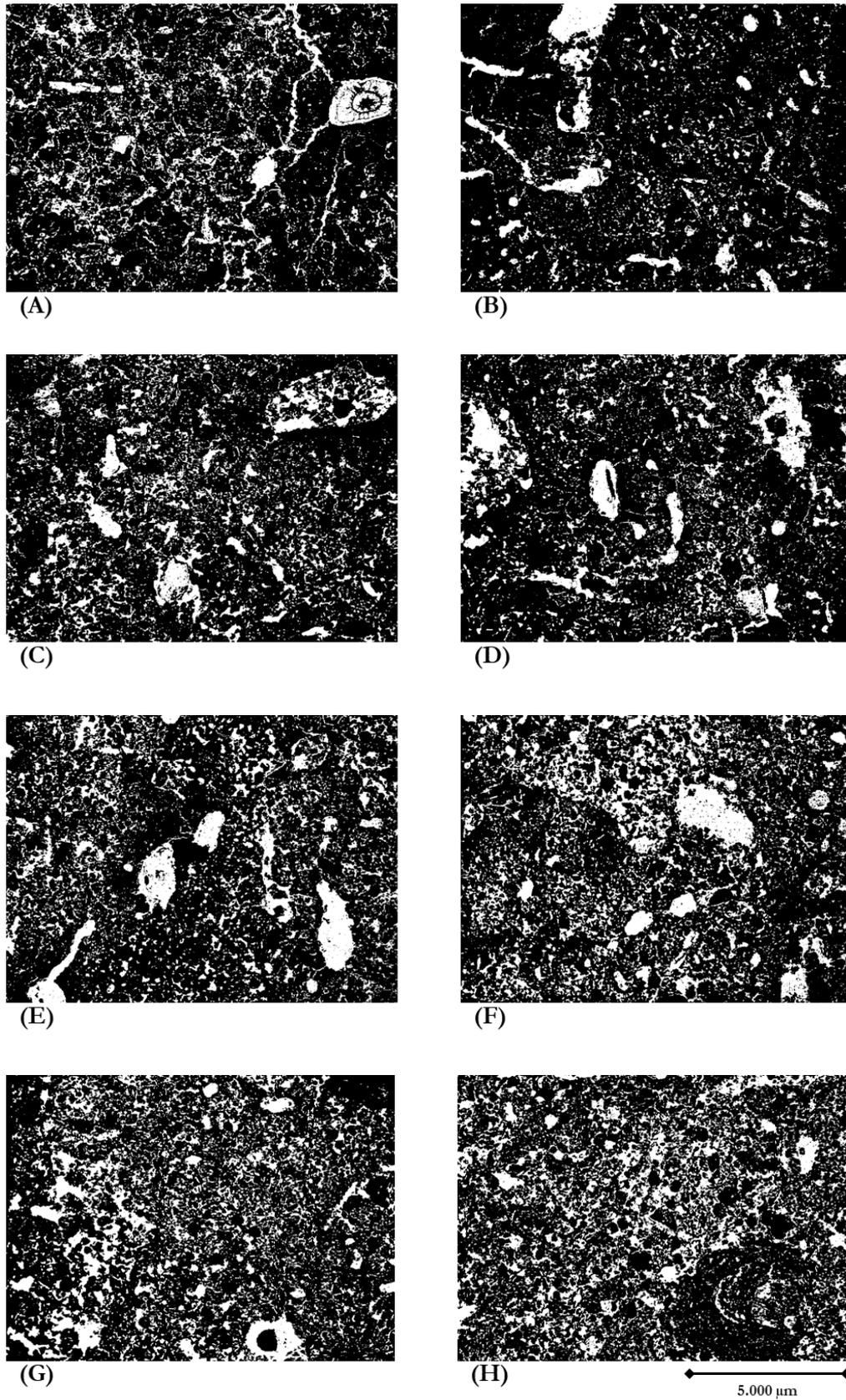


Figura 30. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região abaixo da planta do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

Na segunda coleta da área do preparo profundo canteirizado (ANEXO C), temos na região central do canteiro (Figura 31 e Figura 32), um aumento da ATP total entre a profundidade de 0-20 cm e a profundidade de 80-100 cm, com um fator de aumento de 6,2. No canteiro, a ATP da camada 0-20 cm apresentou um valor bastante reduzido de 3,46%, com a participação de 65,8% de poros arredondados, 23,2% de poros do tipo alongado e 11% de poros do tipo complexo, este último sendo um valor bastante baixo em relação às outras profundidades. As camadas 20-40 cm e 34-46 cm resultaram em valores de ATP de 14,03% e 14,39%, respectivamente. Porém, na camada 20-40 cm há maior participação dos poros dos tipos arredondados e alongados (62,3% da ATP) em relação aos complexos (37,7% da ATP), quando comparado à camada de 34-46 cm com valores de 44,4% e 46,6%, respectivamente. Esta distribuição de poros poderia ser explicada pela maior influência da enxada rotativa nas camadas superiores e sua influência no desenvolvimento de poros desse tipo com o passar do tempo, a partir da desestruturação inicial proporcionada no preparo do solo e posterior acomodação dos agregados.

Na profundidade de 40-60 cm, a ATP foi de 12,79%, apresentando uma pequena redução em relação às camadas superiores. Porém, nessa camada, os valores de participação de poros do tipo arredondado tornam-se mais elevados, com 63,8% de participação frente 27,2% de poros do tipo complexo. A partir dos 60-80 cm, a ATP aumenta para 17,01% e 17,51% na camada de 74-86 cm, ambas com participação maior de poros do tipo arredondado, sendo a região de profundidade máxima do subsolador nesse tratamento. Na camada logo abaixo, a ATP foi de 21,54% com uma distribuição similar entre poros arredondados e complexos.

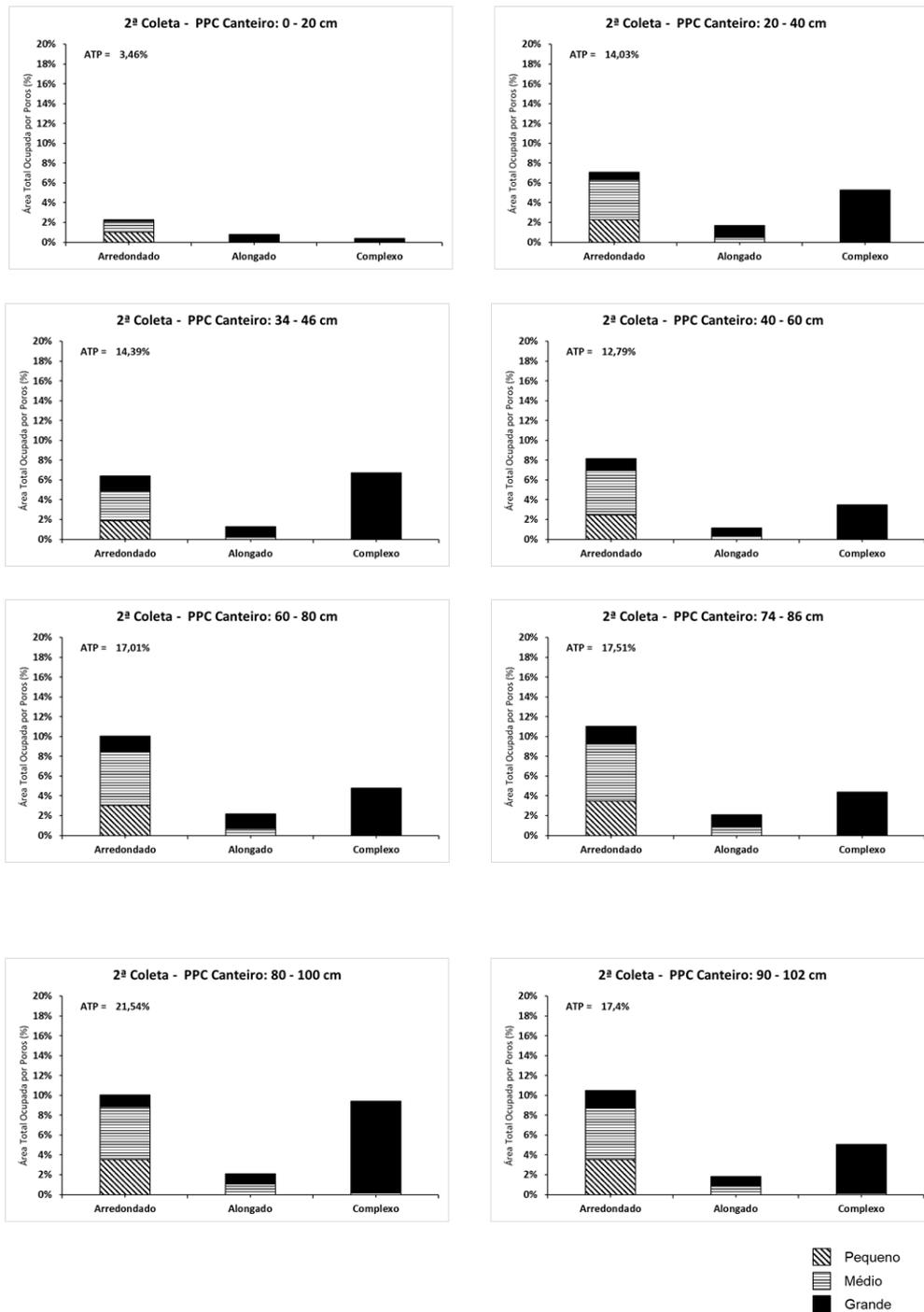


Figura 31. Resultados da análise micromorfológica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Profundo Canteirizado na região central do canteiro, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

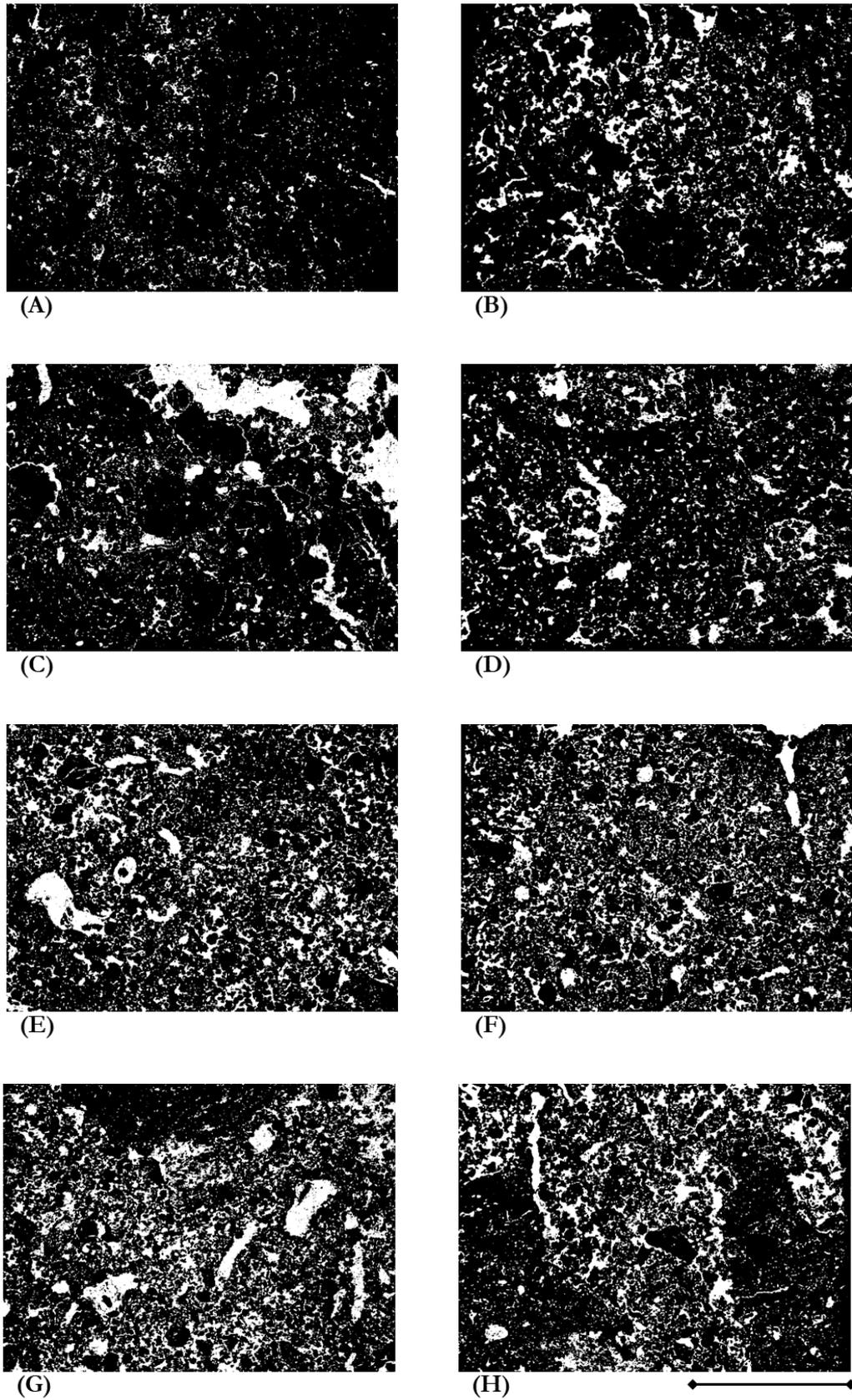


Figura 32. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central do canteiro do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

Na rua do preparo profundo canteirizado (Figura 33 e Figura 34), a camada 0-20 cm apresentou a menor ATP de todo o estudo com 2,10%, com baixíssima quantidade de poros complexos (apenas 8,8% de participação na ATP), 61,2% de participação de poros arredondados (principalmente pequenos e médios) e com 29,9% de poros do tipo alongados. As características dessa amostra revelam o grande efeito da compactação ocasionada por passagens sucessivas do maquinário em área não mobilizada no preparo. Esse efeito se mostrou até a camada 40-60 cm, sendo que a ATP começa a aumentar a partir da profundidade de 60-80 cm. A camada de 20-40 cm, teve um valor de 8,96% de ATP com 62,5% de participação por poros arredondados e 23,8% de poros complexos. Na camada de 34-46 cm há um aumento da ATP, provavelmente devido a uma característica local, fato que pode ser compreendido devido à amostra fora do padrão em relação às amostras de profundidades próximas.

Na camada de 40-60 cm, o valor da ATP foi de 10,66% com predomínio de poros arredondados de tamanho médio e na camada de 60-80 cm, ocorre um aumento na área ocupada por poros, indo para 17,37% e 17,30% em 74-86 cm.

Já as camadas de 80-100 cm e 90-102 cm apresentaram valores iguais na ATP de 19,25% e semelhantes quanto na participação dos diferentes tipos de poros, sendo em torno de 60% de poros arredondados, principalmente de tamanho médio, e 29% e 24,7% de participação de poros complexos, respectivamente. Com esses valores o fator aumento da porosidade da camada superficial à mais profunda foi de 9,2.

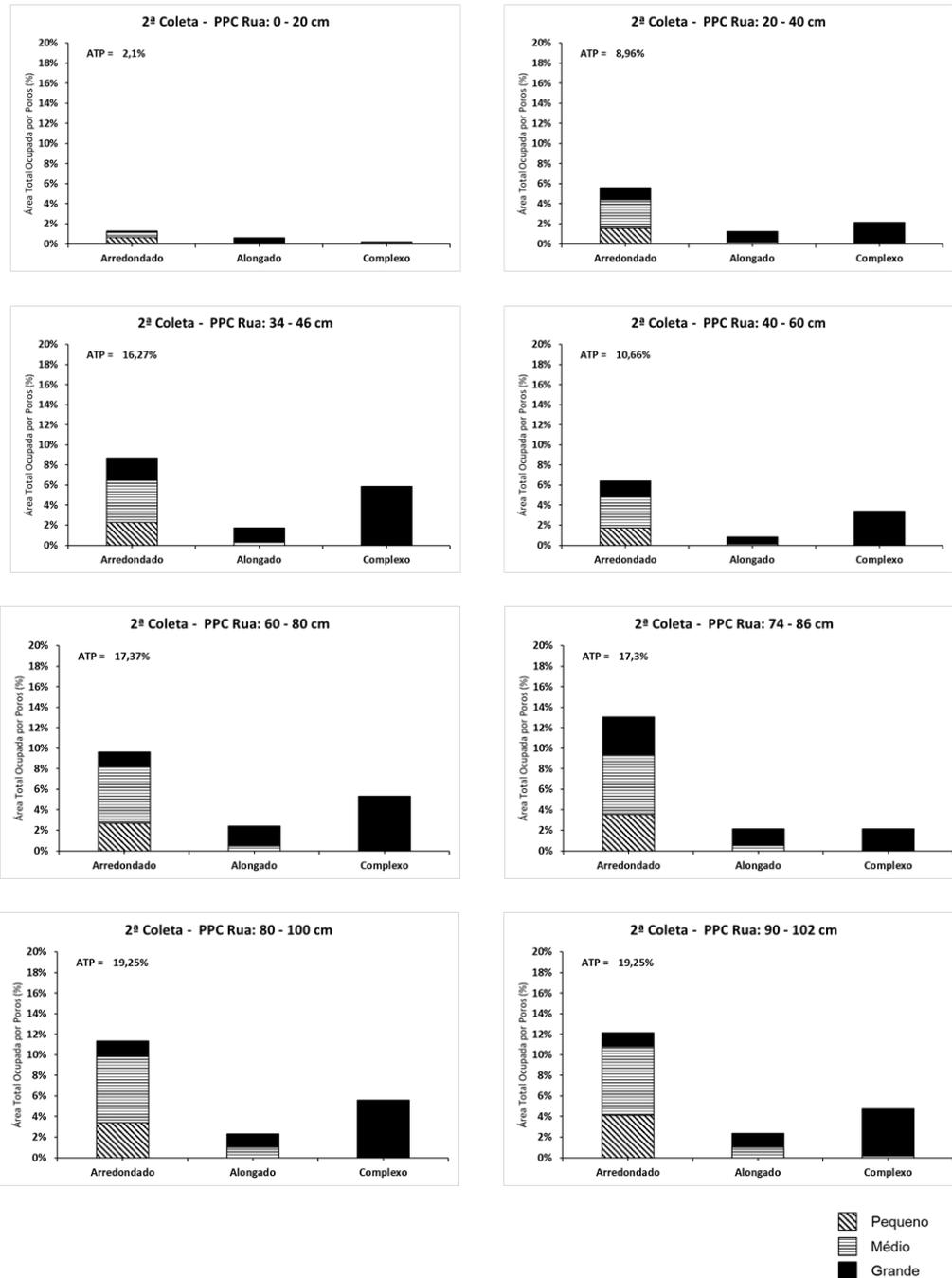


Figura 33. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Profundo Canteirizado na região central da rua, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

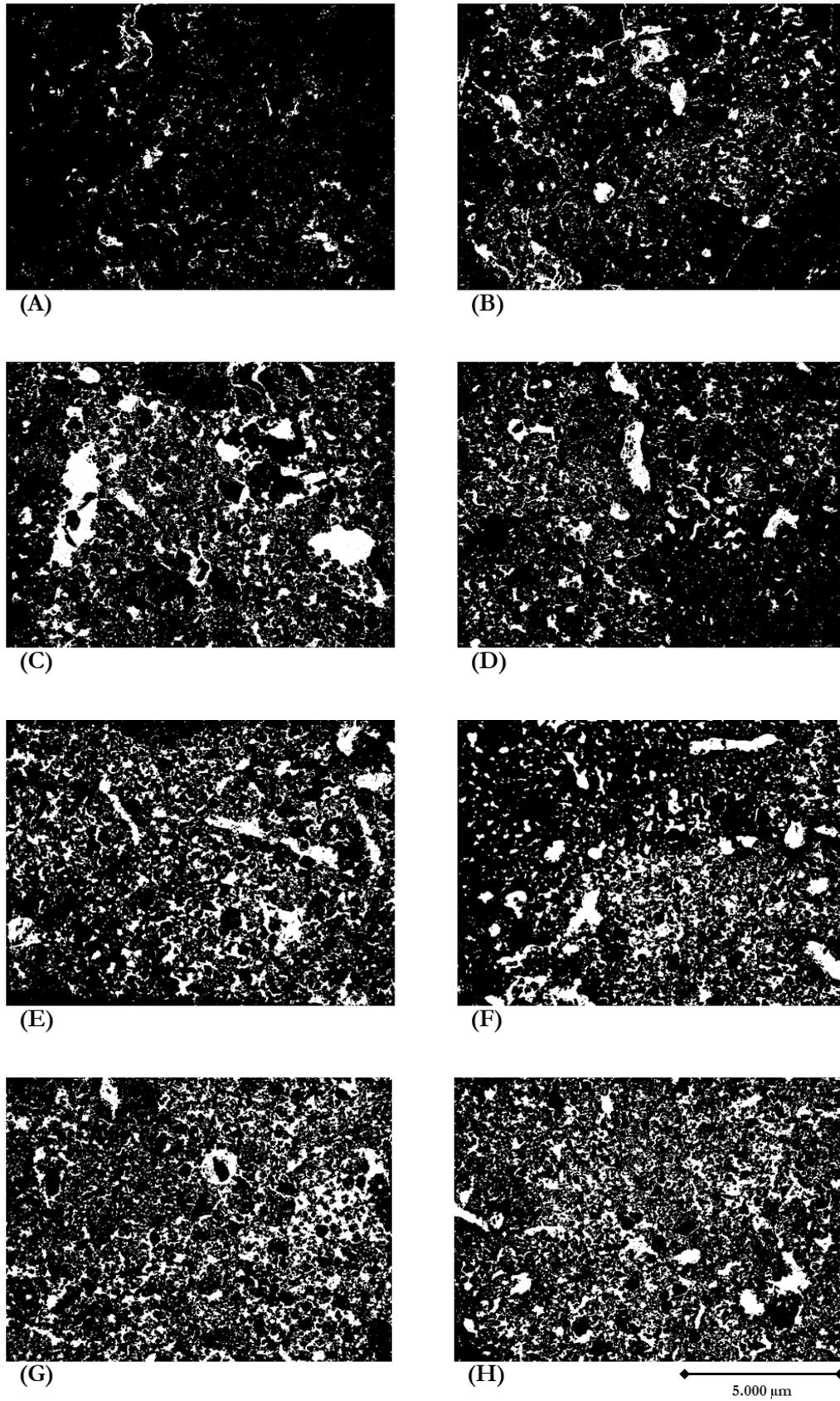


Figura 34. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região central da rua do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

Na região intermediária (Figura 35 e Figura 36), a porosidade também se mostrou baixa nas camadas de 0-20 cm até 40-60 cm. A camada 0-20 cm apresentou uma porosidade de 9,02% com participação de 62,7% de poros arredondados de tamanho pequeno e médio e 29,2% de poros complexos de tamanho grande, diferentemente da mesma camada na região central da rua. Na profundidade de 20-40 cm a porosidade foi de 11,8%, com participações praticamente iguais de poros arredondados de tamanho médio e pequeno e poros complexos grandes (42,8% e 44,4%, respectivamente). Na camada de 34-56 cm se manteve em relação a amostra superior, porém com aumento dos poros arredondados em relação aos poros complexos correspondendo a 54,5% e 35,2% respectivamente. Na camada de 40-60 cm, a ATP se manteve, porém, a participação dos poros arredondados aumenta ainda mais em relação aos poros complexos. A partir de 60-80 cm, a ATP passa para valores próximos à 20%, sendo de 22,25%, 19,06%, 18,14% e 22,56% respectivamente nas camadas 65-76 cm, 74-86 cm, 80-100 cm e 90-102 cm, com participação de 52,4% a 61,3% de poros arredondados e de 26,3% a 35,2% de poros complexos.

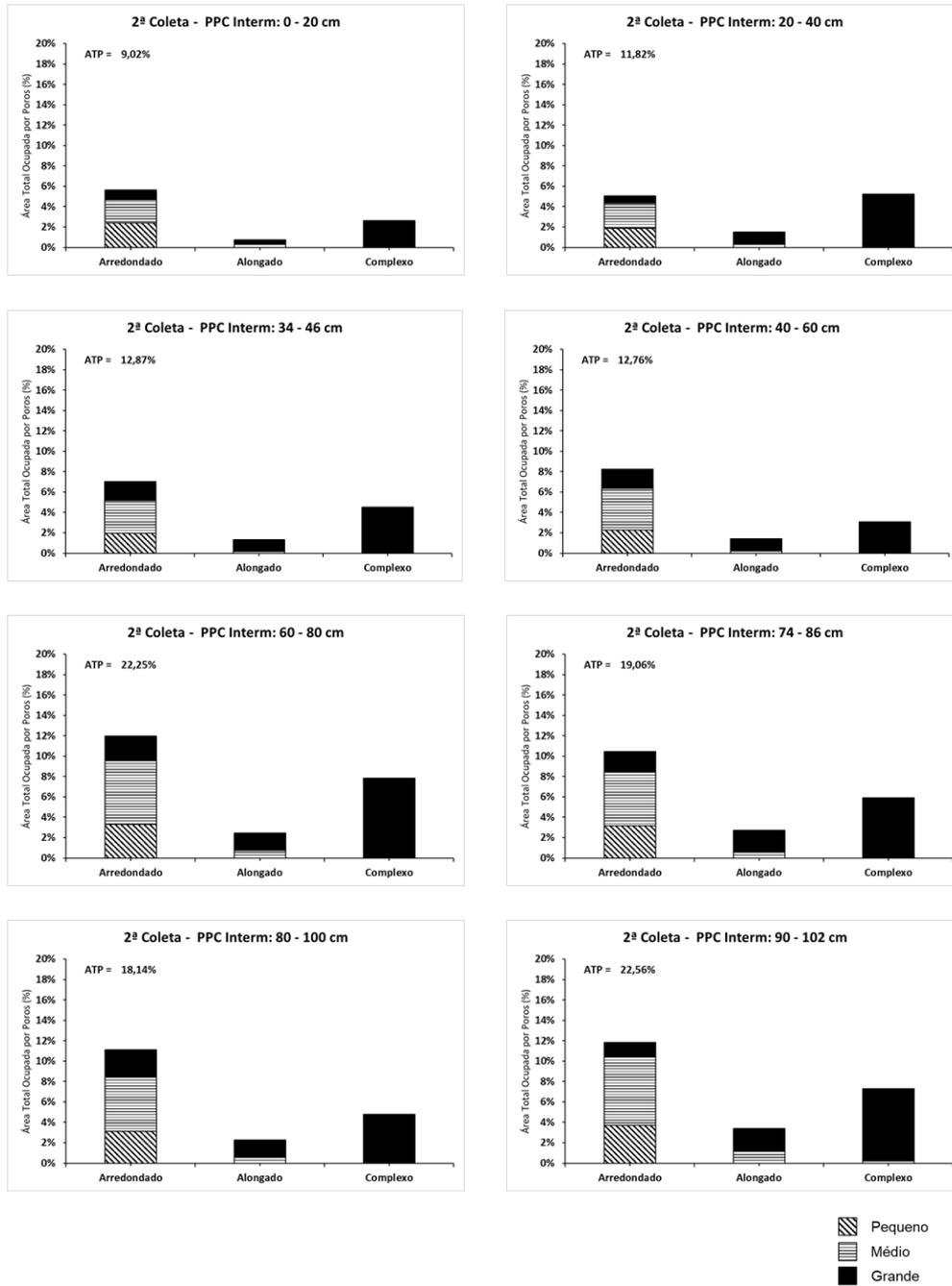


Figura 35. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região intermediária, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

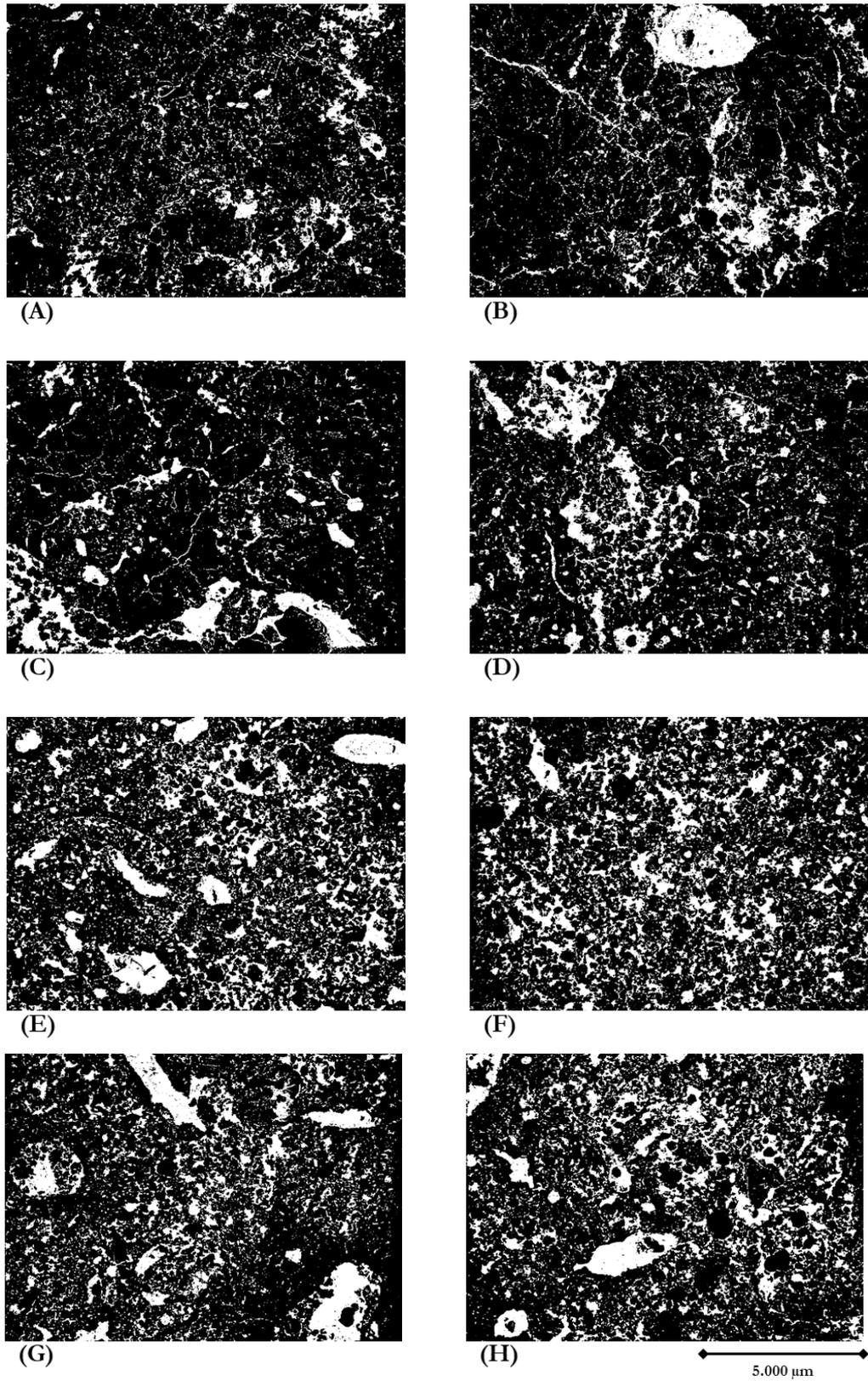


Figura 36. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região intermediária do perfil do Preparo Profundo Canteirizado na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

Na região da planta (Figura 37 e Figura 38), logo abaixo da mesma, foi observado um valor de ATP de 26,65%, com participação de 60,5% de poros do tipo complexo e 31,2% do tipo arredondado. Este valor de ATP foi o valor mais elevado da região do perfil do preparo do profundo canteirizado na segunda coleta analisada, por conta da grande presença do sistema radicular da planta nessa região, mantendo em valores mais elevados a porosidade decorrente do preparo do solo e da sulcação para plantio. A partir da camada 20-40 cm até 90-102 cm, houve praticamente um aumento gradual na ATP, indo de 13,55% até 25,9%, com um fator de aumento de 1,9. Em relação a participação dos tipos de poros, evidencia-se uma maior presença de poros arredondados nas camadas de 20-40 cm até 74-86 cm e proporções semelhantes entre este tipo de poros nas camadas a partir de 74-86 cm.

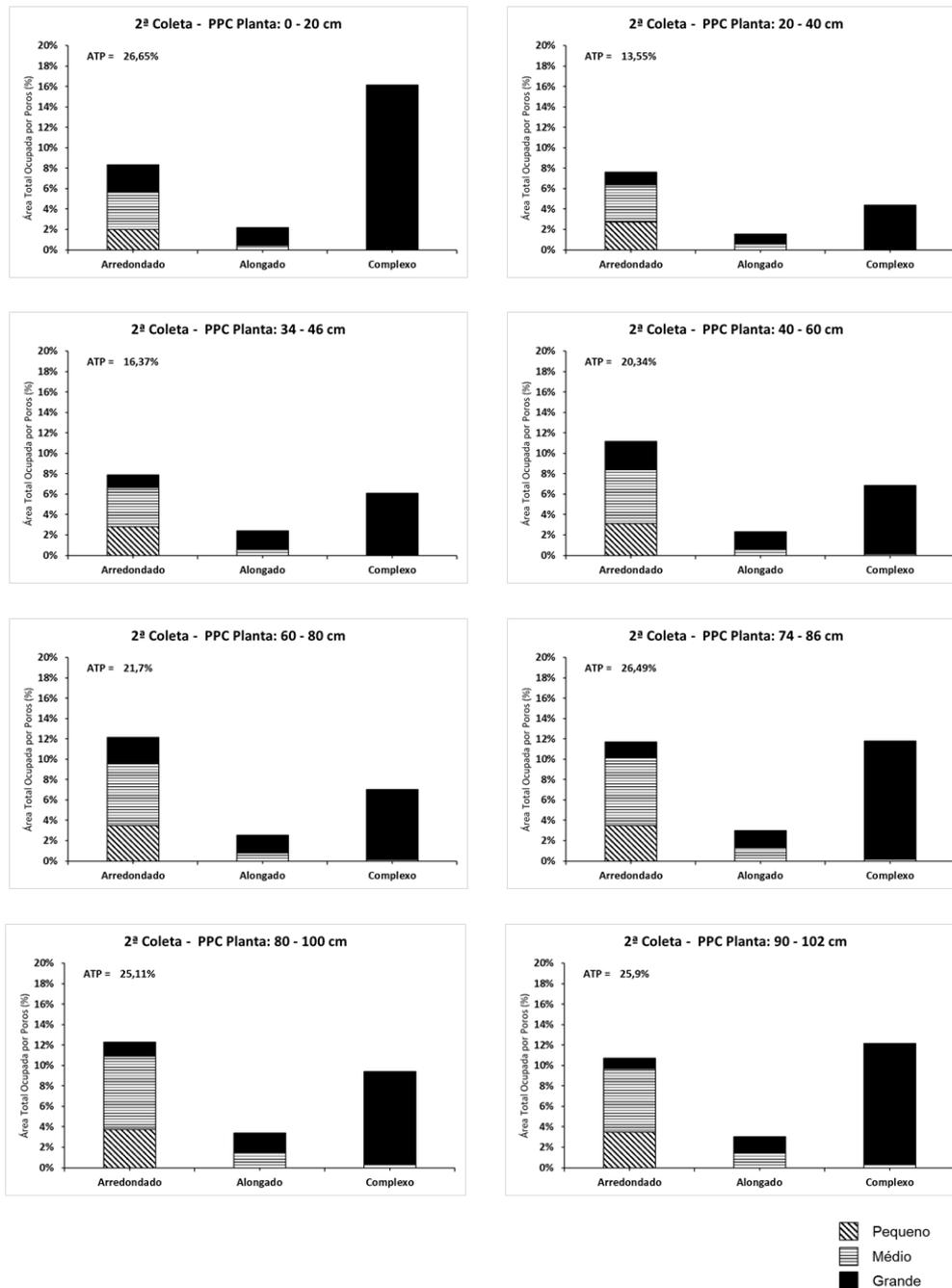


Figura 37. Resultados da análise micromorfométrica das amostras da segunda coleta da área do Preparo Convencional na região abaixo da planta, com o total da área ocupada por poros (ATP), separados por classe de forma e tamanho.

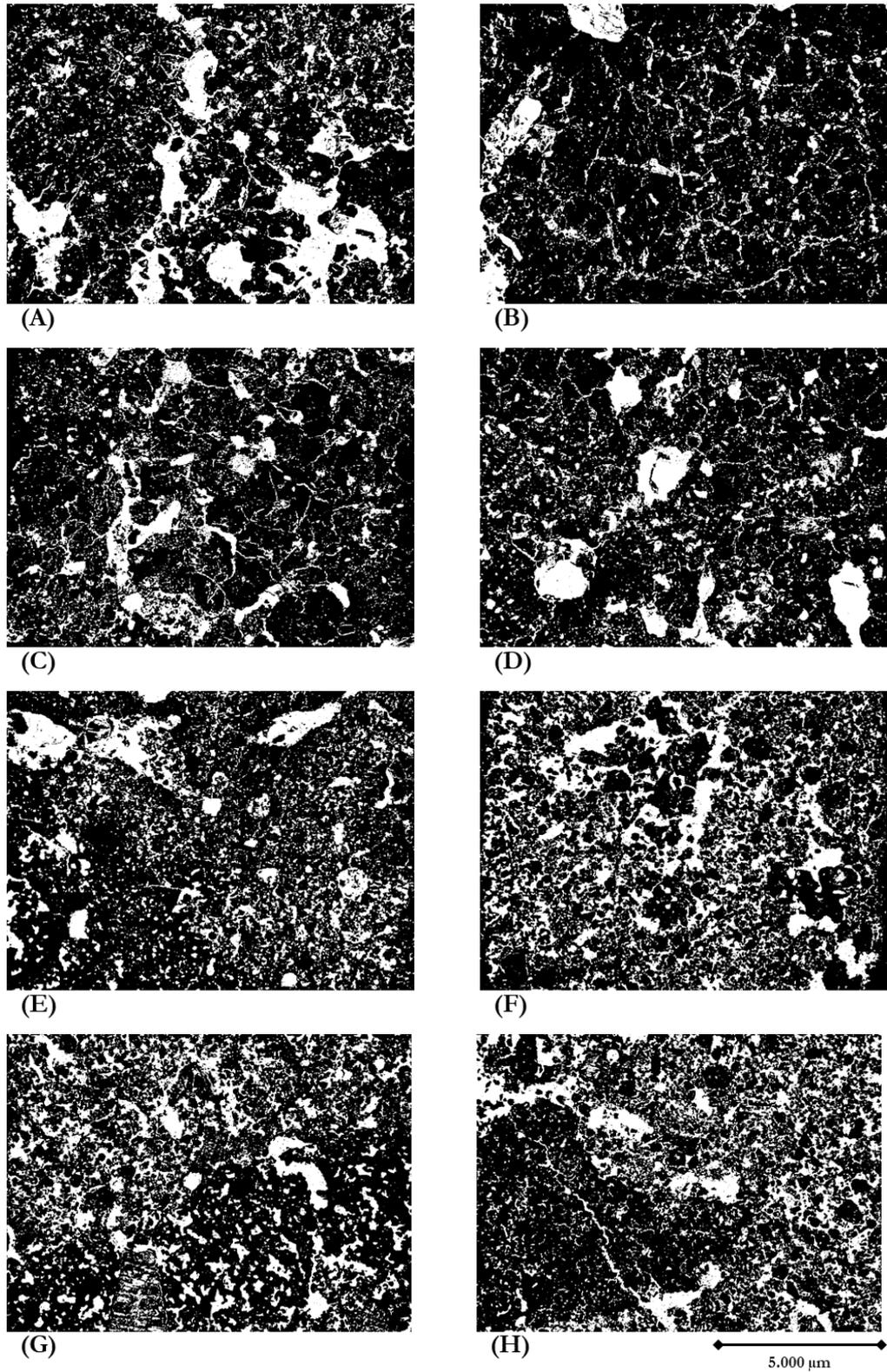


Figura 38. Imagens binárias caracterizando a porosidade dos horizontes da região abaixo da planta do perfil do Preparo Convencional na segunda coleta (a porosidade aparece em branco e a fase sólida em preto). Profundidades: A = 0 – 20 cm; B = 20 – 40 cm; C = 34 – 46 cm; D = 40 – 60 cm; E = 60 – 80 cm; F = 74 – 86 cm; G = 80 – 100 cm; H = 90 – 120 cm.

4.2. Comparativo entre as duas coletas nos diferentes tratamentos

4.2.1. Região de passagem do rodado

A análise comparativa entre as coletas realizadas no tratamento do preparo convencional (ANEXO D) mostrou pouca diferença entre as ATPs nas camadas do perfil na região central da rua. Nesta região, na camada de 0-20 cm, a ATP e a participação dos tipos de poros se mantiveram entre as duas coletas. Por outro lado, no preparo profundo canteirizado, as variações das ATPs encontradas entre os dois momentos de coleta foram bastante significativas (ANEXO E), sendo que a camada 0-20 cm apresentou uma diminuição de 10,73% de ATP, com uma redução nos valores absolutos significativa para todas as classes de poros e um aumento de 18,5% na participação dos poros do tipo alongado em detrimento da participação dos poros arredondados dos diferentes tamanhos na ATP.

(LIMA, 2016) em seu trabalho na mesma área experimental, encontrou valores de porosidade total similares nas ruas dos dois tratamentos antes da colheita da cana planta, em praticamente todas as profundidades, não identificando uma influência acentuada do tipo de preparo inicialmente nessa região. Porém, através das análises micromorfológicas do presente trabalho, nota-se que no preparo profundo canteirizado, mesmo não sendo possível fazer uma inferência exata na amostra coletada após a primeira colheita, o não revolvimento do solo acarretou em uma redução acentuada da porosidade na camada superficial por conta do tráfego agrícola, com baixa presença de poros complexos e alta participação de poros arredondados e alongados (sendo os arredondados os poros dominantes). A mesma autora também encontrou uma redução significativa na quantidade de macroporos entre os dois tratamentos na camada superficial, com menor presença na rua do preparo profundo canteirizado. A mesma situação foi identificada na primeira coleta dessa região devido à baixa quantidade de poros complexos grandes encontrados. Essa redução da porosidade, da macroporosidade e conseqüente aumento da densidade do solo, de forma crescente com o aumento do número de passagens do maquinário foi constatada por (STRECK et al., 2004). Este tráfego agrícola, é uma das principais causas de compactação do solo e pode trazer diversos efeitos as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, promovendo impactos negativos na produtividade agrícola (STRUDLEY; GREEN; ASCOUGH, 2008) (BANGITA; RAO, 2012)

Na profundidade de 20-40 cm, a diminuição da ATP foi mais expressiva no preparo convencional do que no preparo profundo canteirizado, entretanto esta redução foi pouco significativa. É interessante notar que no preparo convencional as classes de poros se mantiveram praticamente constantes entre as coletas, enquanto que no preparo profundo canteirizado ocorreu uma inversão significativa dos tipos de poros com um decaimento de 12,4% na participação dos poros complexos na ATP e aumento na participação dos poros do tipo arredondado e alongado entre a primeira coleta e a segunda.

O tráfego agrícola, pode provocar compactação e alterações nas propriedades físicas também nas camadas subsuperficiais do solo. (PAGLIAI et al., 2003) avaliou as alterações na porosidade total do solo devido ao tráfego, com a conseqüente diminuição nos poros de transmissão (complexos) para valores inadequados para o movimento de água e crescimento das raízes. Esse comportamento de alteração foi observado na região central do rodado no preparo convencional, nas camadas de 40-60 cm, onde a ATP apresentou um aumento de 0,68%, porém com alteração na participação nos tipos de poros na área total ocupada por poros com um aumento de 9,8% dos poros arredondados (principalmente pequenos e médios) e diminuição de 9,7% de participação dos poros complexos.

No preparo profundo canteirizado, ainda temos uma diminuição significativa de 3,85% da ATP nessa camada de 40-60 cm, mesmo com um aumento na participação de poros complexos, decorrentes provavelmente do local da amostragem, resultando em dados não correspondentes as camadas superiores dessa região.

4.2.2. Região central dos canteiros

Comparando as duas coletas realizadas na região central do canteiro do preparo convencional é possível notar apenas na profundidade de 20-40 cm, uma redução mais significativa nos valores das áreas totais ocupadas por poros, provavelmente por conta da acomodação dos agregados e consequente aumento da participação dos poros arredondados em detrimento da participação de poros alongados. Já o canteiro do preparo profundo canteirizado foi a região que apresentou maiores variações na área total ocupada por poros no perfil de todo o experimento, onde valores mais elevados de porosidade nos períodos iniciais da cultura haviam sido encontrados por (LIMA, 2016) antes da colheita da cana planta e esse comportamento permaneceu após essa primeira colheita, porém se alterou com o passar do ciclo comercial.

No preparo profundo canteirizado, nessa região central do canteiro, na profundidade de 0-20 cm, a ATP passou de 18,37% na primeira coleta para 3,46% na segunda coleta, resultando numa redução de 14,91% na área total ocupada por poros e essa provocou mudanças na distribuição da forma dos poros. Na primeira coleta a ATP dessa camada era ocupada por proporções similares de poros complexos e arredondados, que passou a ser predominantemente constituída, na segunda coleta, por poros arredondados e alongados, com uma diminuição de 29,1% na presença de poros complexos. Esta evolução pode ser explicada pela ação da enxada rotativa e do subsolador que inicialmente favoreceram a formação de poros complexos pela sua ação desagregante, mas que com o passar do tempo, em função da reacomodação do solo, as partículas soltas e pequenos agregados se coalesceram transformando os poros complexos em poros arredondados e alongados, isolados e pouco conexos. Esses efeitos foram constatados por (STRUDLEY; GREEN; ASCOUGH, 2008) que em revisão a respeito do efeito de sistema de preparos de solo sobre as propriedades hidráulicas do solo, ressalta que a maior parte desses sistemas tem efeito pronunciado sobre essas propriedades imediatamente após o preparo, conforme esperado, mas esses efeitos podem diminuir rapidamente, mesmo após o primeiro ciclo de umedecimento e secagem.

A não variação na área total ocupada por poros no preparo convencional na camada superficial, se dá pela classe de poros que resultaram inicialmente desse tipo de preparo, sendo que para (HILLEL, 1998) os poros arredondados são mais estáveis à mudanças do sistema poroso, principalmente os de tamanho pequeno.

A evolução temporal da porosidade, de complexa para arredondada/alongada pode afetar os processos de condução e retenção de água no solo. A falta de conectividade provocada pelo domínio dos poros arredondados foi explicado por (FOX; BRYAN; FOX, 2004; PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004) que mostraram que este tipo de poro é menos eficiente na condução de água quando comparado a outros tipos de poros. Entretanto, de acordo com (REZANEZHAD et al., 2009), mesmo que poros pequenos e desconectados ocasionem um fluxo mais sinuoso, a sua contribuição restrita para o fluxo hídrico pode ser minimizada quando um poro de tamanho grande está ativo, mostrando a importância na manutenção destes ao longo do tempo. Em relação ao aumento dos poros do tipo alongados no preparo profundo canteirizado, para (SILVA, 2011), é importante distinguir quais tipos de poros alongados predominam sob cada sistema de manejo visto que físuras, encontradas na presente amostra, são

consideradas poros instáveis, dependentes dos ciclos de umedecimento e secamento do solo, enquanto, os canais são poros mais estáveis que proporcionam uma estabilidade estrutural maior, além de que devido a seu tamanho funcionam como poros de aeração e redistribuição da água no solo.

Já na camada 20-40 cm, a diminuição da ATP ainda foi significativa no preparo profundo canteirizado em relação do preparo convencional, de 5,49% frente a 2,79%, com a mesma tendência de aumento dos poros arredondados em detrimento dos poros complexos (ao redor de 10% de variação). Mesmo resultando no valor mais alto para as mesmas camadas de canteiro do experimento, essa redução na ATP e a inversão da classe de poro predominante ainda é significativa e indica a acomodação dos agregados das camadas superiores para as inferiores. Essas variações entre as duas coletas nos diferentes tratamentos se explicam pelas mesmas questões envolvidas na camada de 0-20 cm.

Na camada de 40-60 cm do preparo convencional, os resultados das ATPs foram bastante similares, porém também com aumento da porosidade ocupada pelas classes arredondados e alongados e diminuição de poros complexos de 11,6%. No preparo profundo canteirizado, estando essa camada fora da região de atuação da enxada rotativa, ocorreu uma redução de 6,7% da primeira para a segunda coleta na área total ocupada por poros. A porosidade representada principalmente por poros complexos na primeira coleta foi reduzida em 22,8% na sua participação na ATP e ocorreu um aumento significativo na presença de poros arredondados (24,7%).

Nessa profundidade, sob forte influência da ação do subsolador, na primeira coleta foi possível identificar um aumento na ATP em relação ao preparo convencional, porém com participações dos tipos de poros praticamente iguais. Portanto, essa maior variação na ATP no preparo profundo canteirizado, pode ser decorrente da desestruturação e pulverização das camadas superiores e preenchimento dos poros complexos grandes pelo transporte desse material solto e argila fina para a camada analisada. Tal fato não ocorreu no canteiro do preparo convencional, mesmo este apresentando na camada de 40-60 cm, participações semelhantes das diferentes classes de poros as do preparo profundo canteirizado, por conta da estrutura do solo resultante do preparo nas camadas superiores.

Ainda, essa redução significativa na ATP no preparo profundo canteirizado é também resultado do readensamento do solo desestruturado pelo subsolador, a partir da ocorrência de períodos de umedecimento e secagem, conforme citado por (HORN; DEXTER, 1989) . Esse é um processo discutido por diversos autores, que encontraram a baixa efetividade dos efeitos da subsolagem ao longo do tempo, se igualando a solos que não utilizaram desse implemento, como (ARAUJO et al., 2004; BUSSCHER; BAUER; FREDERICK, 2002; OLIVEIRA, 1992; SILVA et al., 1990)

Inicialmente, (LIMA, 2016) identificou tanto na porosidade total quanto na macroporosidade valores estaticamente semelhante nessa camada, porém levemente maiores numericamente, no preparo profundo canteirizado em relação ao preparo convencional. Tal situação, se mostra nos dados da primeira coleta, porém com um incremento um pouco mais significativo, reforçando o conceito do preenchimento dos poros complexos pelo material fino das camadas superiores.

De acordo com (CASTILHO, 2010), mesmo que uma eventual redução de poros complexos e alongados não altere a porosidade total do solo, sua perda indica uma degradação das propriedades do solo mostrando perda da conectividade entre os poros, o que pode, em longo prazo prejudicar a condutividade hidráulica e a retenção de água

para as plantas. (COOPER et al., 2013) complementa citando que os macroporos são responsáveis principalmente pela condutividade hidráulica e difusão do oxigênio e essa condutividade do solo é importante para o desenvolvimento das plantas e para evitar problemas ambientais como a erosão.

(SOUZA et al., 2006) também observa em área cultivada com cana-de-açúcar uma diminuição na porosidade total e aumento na quantidade de poros arredondados, com o aumento dos valores de densidade do solo, microporosidade, resistência do solo à penetração e à diminuição dos valores de macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado.

Na profundidade de 60-80 cm do preparo convencional os valores das duas coletas e os tipos de poros presentes se aproximam ainda mais e na camada mais profunda de 80-100 cm temos um aumento da ATP, devido a uma característica do local de amostragem. No preparo profundo canteirizado, nota-se na camada de 60-80 cm um efeito inverso de um leve aumento de 1,56% na ATP da primeira coleta para a segunda coleta, com diminuição na participação dos poros arredondados em 9,4% e consequente aumento na participação de poros alongados e complexos, 4,5 e 4,9 respectivamente.

Em profundidade no preparo convencional e no profundo canteirizado, na camada de 80-100 já não há mais evidência da influência do equipamento no solo entre as duas coletas nos seus respectivos tratamentos. No primeiro ocorre um aumento e no segundo uma diminuição da ATP em relação as camadas superiores, porém por conta da mesma distribuição do tamanho e tipos de poros, se conclui que esse fato não ocorre devido à influência do tipo de preparo, mas sim por características do local amostrado.

4.3. Comparativo das regiões abaixo da planta e intermediária entre os tratamentos

Na região abaixo da planta, o preparo profundo canteirizado apresentou valores de ATP nas camadas de 0 a 80 cm de profundidade, superiores aos encontrados na área de plantio convencional, sendo que na camada superficial, a ATP encontrada de 26,65% é bastante superior aos 14,26% do preparo convencional.

A alta presença de poros complexos no preparo profundo canteirizado indica o bom desenvolvimento radicular inicial nessa camada, influenciando positivamente na manutenção desse tipo de poro gerado a partir da atuação da enxada rotativa, subsolador e pela sulcação, diferentemente da região central do canteiro, corroborando com (LIMA, 2016) que encontrou valores mais elevados em relação ao desenvolvimento radicular no tratamento do preparo profundo canteirizado, tanto na rua quanto no canteiro, citando que esse tipo de preparo beneficiou de forma significativa parâmetros como massa seca, densidade e comprimento radicular. Já no preparo convencional, também encontramos uma participação elevada de poros complexos, porém em menor área relativa ao canteirizado.

Em 20-40 cm, a ATP encontrada no preparo profundo canteirizado foi mais próxima do valor para o preparo convencional em relação a camada superior, sendo de 13,55% para o primeiro frente a 10,67% no segundo. Porém, ainda é encontrada maior presença de poros do tipo complexo. Esse grande decaimento na camada 20-40 cm para o preparo profundo canteirizado e o decaimento no preparo convencional indicam uma acomodação dos agregados do solo por conta do peso exercido pela planta e menor influência do sistema radicular.

Nas camadas de 34-46 cm e 40-60 cm, nota-se que o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade influenciou na manutenção em partes do espaço poroso promovidas pelo preparo profundo, sendo que a participação dos poros complexos ficou em 37,1% de uma ATP de 16,37% e no preparo convencional os poros representaram apenas 18,0% de 14,52% de ATP na camada de 35-46cm. Na camada 40-60cm os valores de ATP foram de 20,37% no preparo profundo canteirizado e 14,07% no preparo convencional, representados por poros do tipo complexo em 33,7% e 21,5% respectivamente.

Nessas profundidades, há uma inversão em comparação as outras regiões dos respectivos tratamentos. No preparo profundo canteirizado, essa região foi a que apresentou as maiores ATPs e no preparo convencional foi aonde ocorreu as menores ATPs em relação as suas profundidades correspondentes do mesmo tratamento.

Em camadas mais profundas, abaixo de 60 cm, ainda se tem um aumento da ATP no preparo profundo em relação ao convencional, com diferenças significativas na presença dos diferentes tipos de poros, sendo que essa característica da maior participação de poros complexos no preparo profundo canteirizado se manteve em todas as camadas.

Por outro lado, na região intermediária, com exceção da camada 20-40 cm, as áreas totais ocupadas por poros encontradas nas profundidades até 60 cm no preparo profundo canteirizado foram menores que as encontradas no preparo convencional, mostrando o efeito da não mobilização do solo sobre a compressão da estrutura do solo nessas camadas, conforme já tinha sido avaliada na região abaixo da rua, sendo que os valores encontrados em ambos os tratamentos foram levemente superiores aos encontrados sob o contato direto com o rodado.

Portanto, mesmo que a região abaixo da planta tenha apresentado valores de ATP maiores no preparo profundo canteirizado em relação ao preparo convencional, notou-se menores valores de ATP nas regiões no entorno desta até a profundidade de 60-80 cm, sugerindo que o desenvolvimento radicular no sentido vertical foi favorecido nesse tipo de preparo. Porém o mesmo pode acarretar em menores desenvolvimentos radicular horizontais da planta, limitando a área de exploração do sistema radicular.

Também, menores valores de ATP nas camadas superficiais das regiões fora da planta do preparo profundo canteirizado indicam uma menor capacidade de infiltração de água no solo, pela redução da permeabilidade do mesmo, aumentando o escoamento hídrico superficial, conferindo maiores riscos da ocorrência de processos erosivos. Esse fator, associado a menores ATPs ao redor do sistema radicular da planta, podem vir a prejudicar a disponibilidade de água, consequentemente afetando o desenvolvimento da cultura.

4.4. Densidade do solo

Inicialmente, em trabalho de (LIMA, 2016) foi verificada uma resposta sensível da densidade do solo em relação ao tipo de preparo realizado após essa operação e antes da colheita da cana planta, com uma redução significativa na densidade do solo no preparo profundo canteirizado na camada de 0-20 cm do canteiro, por conta da influência da enxada rotativa. No canteiro do preparo profundo canteirizado, a camada superficial apresentou uma densidade do solo média de 1,31g/cm³ e no preparo convencional 1,49g/cm³. Já em praticamente todas as outras camadas, a densidade do solo se mostrou estatisticamente igual entre os preparos nas respectivas profundidades.

Tal comportamento também foi avaliado na primeira coleta de micromorfometria realizada para o presente trabalho, em que foram encontrados valores significativamente mais elevados de área total ocupada por poros na região central do canteiro do preparo profundo canteirizado em relação ao preparo convencional. Já nas regiões centrais da passagem do rodado, os valores de densidade do solo encontrados não diferiram nas diferentes profundidades, indicando que antes da primeira colheita ainda não havia uma influência significativa do tipo de preparo sobre essa região.

Na segunda coleta de amostras para análise de densidade do solo, realizada conjuntamente com a segunda coleta das amostras indeformadas para micromorfometria, os dados obtidos mostram que no preparo convencional não houve diferenças entre as regiões do tratamento na maior parte das diferentes profundidades correspondentes (Tabela 3). Apenas na profundidade de 60-80 cm na região abaixo da planta foi obtido um valor de densidade do solo estatisticamente distinto aos demais, porém provavelmente está relacionada a uma variação pontual do local amostrado, por ser uma camada onde não há mais influência do tipo de preparo convencional.

Esse resultado demonstra o mesmo comportamento da situação inicial da área após a realização desse tipo de preparo do solo, em que (LIMA, 2016) não encontrou diferenças entre a região do rodado, mesmo com tráfego agrícola mais intenso, em relação à região central do canteiro, em profundidades correspondentes, porém com valores médios de densidade do solo menores em relação aos encontrados na segunda coleta, ocorrendo incrementos nesses valores entre uma coleta e outra de $0,15\text{g}/\text{cm}^3$ a $0,35\text{g}/\text{cm}^3$ aproximadamente.

O incremento de forma constante dos valores encontrados de densidade do solo e a não alteração específica em alguma região ou profundidade ao longo do ciclo comercial da cultura, entre uma coleta e outra no preparo convencional, foi também um comportamento observado para as áreas totais ocupadas por poros com a análise micromorfométrica.

Analisando cada região do tratamento do preparo convencional separadamente, as camadas de 0-20 cm da rua, região abaixo da planta e a central do canteiro apresentaram densidades do solo diferentes estatisticamente em relação às camadas subsuperficiais, com valores mais elevados de densidades, decorrentes do tráfego em área total no preparo do solo e na rua, em operações de colheita mecanizada. As regiões intermediárias e abaixo da planta apresentaram valores numericamente inferiores ao da rua e do centro do canteiro até a profundidade de 40-60cm, devido ao não contato direto do tráfego do maquinário nessas regiões e à manutenção da estrutura do solo decorrente do sistema radicular das plantas.

Tabela 3. Densidades do solo médias nas diferentes profundidades do perfil do Preparo Convencional. Letras minúsculas (G1) comparam amostras de uma mesma região amostral. Letras maiúsculas (G2) comparam diferentes regiões amostrais para uma mesma camada do solo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Preparo Convencional												
Profundidade	Rua			Intermediária			Planta			Canteiro		
	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2
0-20	1,78	a	A	1,62	a	A	1,64	a	A	1,76	a	A
20-40	1,53	b	A	1,45	ab	A	1,43	b	A	1,51	b	A
34-46	1,48	bc	A	1,45	ab	A	1,36	bcd	A	1,48	bc	A
40-60	1,46	bcd	A	1,45	ab	A	1,41	bc	A	1,54	b	A
60-80	1,32	cde	AB	1,37	ab	A	1,21	d	B	1,45	bc	A
74-86	1,36	bcde	A	1,31	b	A	1,29	bcd	A	1,45	bc	A
80-100	1,22	e	A	1,22	b	A	1,29	bcd	A	1,19	d	A
90-102	1,26	de	A	1,28	b	A	1,26	cd	A	1,25	cd	A

No preparo profundo canteirizado (Tabela 4), entre as diferentes regiões houve diferença estatística apenas na camada de 0-20 cm abaixo da planta em relação a mesma profundidade nas demais, por conta da manutenção de valores de densidade do solo mais baixos em razão do maior desenvolvimento radicular da planta nesse tratamento, proporcionado pelas melhores condições físicas do solo decorrentes mecanismos de afrouxamento da estrutura do solo da enxada rotativa em um primeiro momento.

Interessante notar que na região central do canteiro, mesmo com a atuação da enxada rotativa e do subsolador nesse tipo de preparo do solo, os valores se igualaram estatisticamente às regiões não mobilizadas nas camadas com profundidades semelhantes, confirmando a importância do sistema radicular para a manutenção da porosidade conforme análises micromorfológicas discutidas previamente e para a densidade do solo. Entretanto, nessa região central, antes da colheita da cana planta, foram observados valores significativamente menores em relação ao da região do rodado na profundidade de 0-20 cm e para o restante das profundidades as densidades do solo não mais diferiram. Já na segunda coleta, observa-se que nessa camada, o valor de densidade do solo se igualou ao encontrado no rodado, provavelmente por conta da acomodação do solo desestruturado pela enxada rotativa, e na camada de 20-40 cm mesmo que estatisticamente semelhantes, os valores foram numericamente menores que aos do rodado, indicando que nessa camada o processo de acomodação dos agregados foi menos intenso que na camada subjacente, mantendo em maior nível os efeitos no solo proporcionados pela enxada rotativa, sendo que esse fato já havia sido avaliado nas análises micromorfométricas, com uma menor redução na ATP nessa camada.

Na camada de 34-56 cm, o efeito do subsolador e também menor taxa de acomodação dos agregados, manteve os valores de densidade do solo numericamente inferiores aos encontrados na rua, porém com aumento no valor antes da colheita da cana planta encontrado por (LIMA, 2016).

Tabela 4. Densidades do solo médias nas diferentes profundidades do perfil do Preparo Profundo Canteirizado. Letras minúsculas (G1) comparam amostras de uma mesma região amostral. Letras maiúsculas (G2) comparam diferentes regiões amostrais para uma mesma camada do solo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Profundidade	Preparo Profundo Canteirizado											
	Rua			Intermediária			Planta			Canteiro		
	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2
0-20	1,59	a	A	1,61	a	A	1,42	ab	B	1,54	a	A
20-40	1,55	ab	A	1,56	ab	A	1,35	ab	A	1,29	a	A
34-46	1,50	ab	A	1,41	ab	A	1,52	a	A	1,40	a	A
40-60	1,24	bc	A	1,40	ab	A	1,43	ab	A	1,22	a	A
60-80	1,30	abc	A	1,29	ab	A	1,28	b	A	1,21	a	A
74-86	1,16	c	A	1,16	b	A	1,23	b	A	1,36	a	A
80-100	1,26	bc	A	1,27	ab	A	1,20	b	A	1,29	a	A
90-102	1,07	c	A	1,20	b	A	1,23	b	A	1,25	a	A

De forma comparativa entre os tratamentos, na região central do rodado (Tabela 5), houve diferença estatística nas camadas 0-20 cm, 40-60 cm e 74-86 cm, sendo que na camada superficial de 0-20 cm o valor encontrado no preparo profundo canteirizado foi de 1,59g/cm³ frente aos 1,78g/cm³ do preparo convencional, representando uma situação inversa das características físicas do solo discutidas nas análises micromorfométricas, em que o preparo profundo canteirizado apresentou uma ATP menor em relação ao preparo convencional na mesma camada. Esse resultado se mostra contrário em relação a resultados geralmente encontrados entre análises de porosidade convencionais em correlação à densidade do solo, geralmente inversamente proporcionais, em que solos com maiores valores de densidade do solo apresentam uma porosidade menor. Porém, cabe destacar que a análise micromorfométrica é um método de avaliação de imagens bidimensionais e que permite a quantificação e

caracterização de parte dos mesoporos e dos macroporos, não sendo quantificados os valores de microporos presentes nas amostras. Nas análises de densidade do solo, são retiradas amostras volumétricas e consideradas todas as classes de poros do solo. Tal diferença pode explicar o comportamento de uma análise comparativa entre as duas amostras coletadas no presente trabalho.

Tabela 5. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região central da rua dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G_1) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G_2) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.

Profundidade	Rua					
	Preparo Convencional			Preparo Profundo Canteirizado		
	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2
0-20	1,78	a	A	1,59	a	B
20-40	1,53	b	A	1,55	ab	A
34-46	1,48	bc	A	1,50	ab	A
40-60	1,46	bcd	A	1,24	bc	B
60-80	1,32	cde	A	1,30	abc	A
74-86	1,36	bcde	A	1,16	c	B
80-100	1,22	e	A	1,26	bc	A
90-102	1,26	de	A	1,07	c	A

Na camada intermediária (Tabela 6), onde não há contato direto com o rodado do maquinário, a diferença encontrada entre os tratamentos na região do rodado já não é mais encontrada, com valores próximos de densidade do solo entre eles e apresentando diferença estatística apenas na camada de 74-86 cm, porém não mais decorrente do sistema de preparo do solo.

Tabela 6. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região intermediária dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G_1) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G_2) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.

Profundidade	Intermediária					
	Preparo Convencional			Preparo Profundo Canteirizado		
	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2
0-20	1,62	a	A	1,61	a	A
20-40	1,45	ab	A	1,56	ab	A
34-46	1,45	ab	A	1,41	ab	A
40-60	1,45	ab	A	1,40	ab	A
60-80	1,37	ab	A	1,29	ab	A
74-86	1,31	b	A	1,16	b	B
80-100	1,22	b	A	1,27	ab	A
90-102	1,28	b	A	1,20	b	A

Na região abaixo da planta (Tabela 7), foi encontrada diferença estatística nas camadas de 0-20 cm, com menor densidade do solo no preparo profundo canteirizado, e nas camadas 34-56 cm e 60-80, com menores valores de densidade do solo no preparo convencional. Por conta do maior desenvolvimento radicular inicial, decorrido dos melhores parâmetros físicos de qualidade do solo logo após o preparo profundo canteirizado, essa região, nas camadas pôde manter maiores valores de área total ocupada por poros e menores densidades do solo.

Tabela 7. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região abaixo da planta dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G₁) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G₂) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.

Planta						
Profundidade	Preparo Convencional			Preparo Profundo Canteirizado		
	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2
0-20	1,64	a	A	1,42	ab	B
20-40	1,43	b	A	1,35	ab	A
34-46	1,36	bcd	A	1,52	a	B
40-60	1,41	bc	A	1,43	ab	A
60-80	1,21	d	A	1,28	b	B
74-86	1,29	bcd	A	1,23	b	A
80-100	1,29	bcd	A	1,20	b	A
90-102	1,26	cd	A	1,23	b	A

Já na região central do canteiro (Tabela 8), os valores do preparo profundo canteirizado também foram menores numericamente em relação ao preparo convencional em todas as camadas, porém com diferença estatística nas camadas de 0-20 cm e 60-80 cm.

Tabela 8. Análise comparativa dos valores de densidades do solo médios nas diferentes profundidades da região central do canteiro dos dois preparos realizados. Letras minúsculas (G₁) comparam amostras do solo para um mesmo tipo de preparo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas (G₂) comparam diferentes preparos para uma mesma camada do solo pelo teste T.

Canteiro						
Profundidade	Preparo Convencional			Preparo Profundo Canteirizado		
	Dens.	G1	G2	Dens.	G1	G2
0-20	1,76	a	A	1,54	a	B
20-40	1,51	b	A	1,29	a	A
34-46	1,48	bc	A	1,40	a	A
40-60	1,54	b	A	1,22	a	A
60-80	1,45	bc	A	1,21	a	B
74-86	1,45	bc	A	1,36	a	A
80-100	1,19	d	A	1,29	a	A
90-102	1,25	cd	A	1,25	a	A

Também se nota a igualdade estatística entre todos os horizontes da região do canteiro no preparo profundo canteirizado. Tal resultado se deu provavelmente por conta da ação do subsolador nas camadas subsuperficiais, gerando um menor aumento da densidade do solo desde o preparo até o momento da coleta em relação ao preparo convencional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Na primeira coleta, realizada após a colheita da cana planta, na área em que foi realizado o preparo profundo canteirizado, foram encontrados maiores valores de área total ocupada por poros no solo em relação ao preparo convencional na região central do canteiro. Tal aumento, influenciado pelo sistema de preparo, foi encontrado nas camadas de 0 a 60 cm de profundidade, sendo uma consequência da ação da enxada rotativa e do subsolador do implemento utilizado. Ainda, nas camadas de 0-40 cm, foram constatadas a presença de uma maior participação de poros grandes do tipo complexo no preparo profundo canteirizado

- Entre uma coleta e outra, foram observadas modificações significativas na área total ocupada por poros na área central do canteiro do preparo profundo canteirizado. A camada de 0-20 cm de profundidade desse tratamento apresentou a maior redução de ATP de todo o estudo, decorrente da acomodação e re-adensamento dos agregados do solo desestruturado. Já nas camadas de 20-40 cm e 40-60 cm, também foram constatadas reduções significativas, porém em menor intensidade.

No preparo convencional, notou-se nessa região uma manutenção nos valores da área total ocupada por poros, por conta da estrutura do solo resultante nesse tratamento pelo método de preparo.

- No preparo profundo canteirizado, na região central do canteiro, a redução da ATP nas camadas superiores foi acompanhada por uma grande substituição de poros grandes de forma complexa, originados do preparo, por poros pequenos e médios. Essa redução e substituição reduz a permeabilidade de água e os fluxos hídricos no solo.

- Na região central de passagem do rodado, na camada de 0-20 cm, foi constatada uma grande redução da área total ocupada por poros no preparo profundo canteirizado entre uma coleta e a outra. Já no preparo convencional, nessa profundidade, houve uma manutenção da área total ocupada por poros, resultando em um valor maior que ao encontrado no outro tratamento ao longo do ciclo comercial da cana-de-açúcar.

Na camada de 20-40 cm da primeira coleta, o preparo profundo canteirizado apresentou uma área total ocupada próxima ao do convencional, porém, com maior presença de poros complexos grandes, por não ter ocorrido o tráfego sobre o solo mobilizado. Entretanto, após sucessivas passagens do maquinário, os valores finais ficaram bastante próximos, tanto na ATP quando na participação dos tipos de forma e tamanho dos poros.

- Na região abaixo da planta, foram encontrados maiores valores de área total ocupada por poros no preparo profundo canteirizado. Tal fato se deu por conta de um melhor desenvolvimento do sistema radicular nos primeiros ciclos da cultura, que influenciaram positivamente na manutenção da porosidade originada no preparo do solo. Entretanto, as regiões ao redor da planta apresentaram valores menores em relação ao preparo convencional, sendo que esse comportamento pode prejudicar a exploração do solo de forma horizontal pelas raízes.

- As análises de densidade do solo apresentaram valores de correlação inversa ao apresentado nas análises micromorfométricas. Entretanto, em ambos os casos foi possível observar aumentos significativos desse parâmetro físico nas camadas superficiais no canteiro e em maior profundidade na região do rodado.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, M. A. et al. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 495–504, 2004.
- BANGITA, B.; RAO, B. K. R. Impacts of compaction relief treatments on soil physical properties and performance of sugarcane (*Saccharum spp.*) under zonal tillage system. **Geoderma**, v. 189–190, p. 351–356, 2012.
- BENVENUTI, F. A. **Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos**. [s.l.] Universidade de Campinas, 2005.
- BOTTINELLI, N. et al. Response of soil structure and hydraulic conductivity to reduced tillage and animal manure in a temperate loamy soil. **Soil Use and Management**, v. 29, n. 3, p. 401–409, 2013.
- BRAUNACK, M. V.; ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 89, n. 1, p. 103–121, 2006.
- BRAUNACK, M. V.; MCGARRY, D. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 89, n. 1, p. 86–102, 2006.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49–57, 2002.
- CARVALHO, L. et al. Produtividade e Viabilidade Econômica da Cana-de-Açúcar em Diferentes Sistemas de Preparo do Solo no Centro-Oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, 2011.
- CASTILHO, S. C. DE P. **Evolução de crostas superficiais sob chuva natural em diferentes solos da região de Piracicaba , SP**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2010.
- CASTRO, S. S. et al. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. **Tópicos em ciência do solo**, n. 3, p. 107–164, 2003.
- CEDDIA, M. B. et al. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 8, p. 1467–1473, ago. 1999.
- CHERUBIN, M. R. Soil quality response to land-use change for sugarcane expansion in Brazil. **Thesis**, p. 1–199, 2016.
- COLLARES, G. L. et al. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 933–942, 2008.
- CONAB. Indicadores da Agropecuária. **Observatório Agrícola**, v. 12, p. 01-78, 2017a.
- CONAB. Observatório Agrícola: Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2017/18. Primeiro levantamento. Abril/2017. v. 4, n. 1, p. 62, 2017b.
- COOPER, M. et al. Soil Functioning in a Toposequence Under rainforest in São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 1, p. 392–399, 2013.

COOPER, M. et al. Software for micromorphometric characterization of soil pores obtained from 2-D image analysis. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 4, p. 388–393, 2016.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 581–595, jul. 2005.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; CHAPLOT, V. Origin of microaggregates in soils with ferrallic horizons. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 3, p. 256–263, jun. 2005.

CRISTINA, S.; CASTILHO, D. P. **Influência da transformação floresta -pastagem nos atributos do solo em área de agricultura familiar no oeste do Estado do Pará**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2014.

DE LIMA, R. P.; DE LEÓN, M. J.; DA SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 16–20, 2013.

DEUCHARS, S. A. et al. Changes in soil structure and hydraulic properties in regenerating rain forest. **Soil Use and Management**, v. 15, n. 3, p. 183–187, 1999.

DRESS, L. R. et al. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, p. 508–517, 1994.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª Edição ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

FILHO, M. V. M.; SIQUEIRA, D. S.; JÚNIOR, J. M. Preparo dos Solos Tropicais: a importância de se conhecer a variabilidade dos atributos do solo. In: BELARDO, G. DE C.; TUFAILE, M. C.; SILVA, R. P. DA (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. [s.l.] SBEA, 2015. p. 149–177.

FOX, D. M.; BRYAN, R. B.; FOX, C. A. Changes in pore characteristics with depth for structural crusts. **Geoderma**, v. 120, n. 1–2, p. 109–120, 2004.

GAN-MOR, S.; CLARK, R. L.; UPCHURCH, B. L. Implement lateral position accuracy under RTK-GPS tractor guidance. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 59, n. 1–2, p. 31–38, 2007.

GARGIULO, L.; MELE, G.; TERRIBILE, F. Image analysis and soil micromorphology applied to study physical mechanisms of soil pore development: An experiment using iron oxides and calcium carbonate. **Geoderma**, v. 197–198, p. 151–160, 2013.

HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R. et al. (Eds.). **Methods for assessment of soil degradation**. [s.l.] CRC Press, 1998. p. 167–179.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. Amherst, Massachusetts: Elsevier, 1998.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Elsevier Science B.V. Soil & Tillage Research**, v. 35, n. 35, p. 23–36, 1995.

HORN, R.; DEXTER, A. R. Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess. **Soil and Tillage Research**, v. 13, n. 3, p. 253–266, 1989.

JUHÁSZ, C. E. P. et al. Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 344–354, 2007.

KAISER, D. R. et al. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 845–855, 2009.

KAPUR, S.; STOOPS, G.; MERMUT, A. **New trends in soil micromorphology**. [s.l.] Springer, 2008.

KELLER, T.; LAMANDÉ, M. Challenges in the development of analytical soil compaction models. **Soil and Tillage Research**, v. 111, n. 1, p. 54–64, 2010.

- LAL, R. Soil Structure and Sustainability. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 1, n. 4, p. 67–92, 9 jul. 1991.
- LANÇAS, K. P. Compactação do solo em cana-de-açúcar. Compactação, descompactação e canteirização na cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. DE C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. DA (Eds.). . **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. 1ª Edição ed. [s.l.] SBEA, 2015. p. 457–477.
- LAPOLA, D. M. et al. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 8, p. 3388–3393, 2010.
- LIMA, C. C. D. E. **Canteirização com preparo convencional e profundo do solo para cana-de-açúcar : atributos físicos e sistema radicular**. [s.l.] Instituto Agronômico de Campinas, 2016.
- MARASCA, I. **Avaliação dos atributos físicos de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar em área com adequação de relevo, utilizando equipamento de preparo profundo e canteirizado do solo**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2014.
- MARIA, I. C. DE et al. **Recomendações Gerais para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2016.
- MENEZES, A. S. et al. Functionality of the porous network of Bt horizons of soils with and without cohesive character. **Geoderma**, v. 313, n. December 2016, p. 290–297, 2018.
- MURPHY, C. P. **Thin section preparation of soils and sediments**. [s.l.: s.n.].
- OKUNO, F. M. **Desempenho econômico de um sistema de produção de biomassa da cana energia**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2016.
- OLIVEIRA, T. S. **Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre propriedades químicas e físicas de quatro Latossolos brasileiros**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- OTTO, R. et al. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 201–210, 2011.
- PAGLIAI, M. et al. Effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. **Soil and Tillage Research**, v. 4, n. 5, p. 433–444, 1984.
- PAGLIAI, M. et al. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1–2, p. 119–129, 2003.
- PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. **Soil structure and the effect of management practices**. Soil and Tillage Research. **Anais...2004**
- RASA, K. et al. Structure and pore system in differently managed clayey surface soil as described by micromorphology and image analysis. **Geoderma**, v. 173–174, p. 10–18, 2012.
- RASA, K.; HORN, R. Structure and hydraulic properties of the boreal clay soil under differently managed buffer zones. **Soil Use and Management**, v. 29, n. 3, p. 410–418, 2013.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do Solo em Sistemas Agropecuários e Florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, p. 49–134, 2007.
- REZANEZHAD, F. et al. Examining the effect of pore size distribution and shape on flow through unsaturated peat using 3-D computed tomography. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 6, n. 3, p. 3835–3862, 2009.

- RFA. **World Fuel Ethanol Production**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/world/>>. Acesso em: 1 out. 2018.
- ROQUE, A. A. DE O. et al. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1536–1542, 2011.
- SAIANI, C. C. S. et al. Saúde Respiratória e Mecanização da Colheita da Cana-de-Açúcar nos Municípios Paulistas: a importância do Protocolo Agroambiental. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 1, p. 29–50, mar. 2016.
- SANTINI, G. A.; PINTO, L. D. B.; QUEIROZ, T. R. Cana-de-açúcar como base da matriz energética nacional. **Revista de Política Agrícola**, v. 1, p. 1–11, 2011.
- SILVA, A. P. et al. **Efeito da subsolagem em alguns atributos físicos do solo em pomares de laranja no município de Matão-SP**. Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. **Anais...**Londrina: Sociedade Brasileiro de Ciência do Solo, 1990
- SILVA, L. F. S. DA. **Atributos físicos e micromorfológicos da estrutura de um latossolo vermelho distroférrico típico submetido ao manejo agrícola**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2011.
- SOARES, J. L. N.; ESPÍNDOLA, C. R.; DE CASTRO, S. S. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 1005–1014, 2005.
- SOUZA, G. S. DE et al. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 603–612, abr. 2012.
- SOUZA, Z. M. DE et al. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 487–492, mar. 2006.
- STEPNIEWSKI, W.; GLIŃSKI, J.; BALL, B. Effects of Compaction on Soil Aeration Properties. **Developments in Agricultural Engineering**, v. 11, p. 167–189, 31 dez. 1994.
- STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755–760, 2004.
- STRUDLEY, M. W.; GREEN, T. R.; ASCOUGH, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil and Tillage Research**, v. 99, n. 1, p. 4–48, 2008.
- TROMBETA, N. DE C.; CAIXETA FILHO, J. V. Potencial e Disponibilidade de Biomassa de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil: indicadores agroindustriais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 3, p. 479–496, set. 2017.
- UDOP. **Características Agronômicas das Variedades IAC**. Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=variedades_iac>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- UNGER, P. W.; VAN DOREN JR, D. M.; KLUTE, A. **Tillage Effects on the Hydraulic Properties of Soil: A Review**. [s.l.: s.n.].
- USABORISUT, P.; SUKCHAROENVIPHARAT, W. Soil compaction in sugarcane fields induced by mechanization. **American Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 6, n. 3, p. 418–422, 2011.
- USDA. **Sugar: World Markets and Trade**. [s.l.: s.n.].
- VAN DEN AKKER, J. J. H.; ARVIDSSON, J.; HORN, R. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1–2, p. 1–8, 2003.

ANEXOS

ANEXO A. Descrição Morfológica do Perfil de Solo

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Nitossolo Vermelho Eutrófico latossólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Polo Regional do Centro Sul da APTA - Piracicaba/SP. 22°41'04" latitude Sul e 47°38'52" longitude Oeste.

ALTITUDE – 550 metros.

LITOLOGIA – Diabásio.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Suítes Básicas.

CRONOLOGIA – Neocenozóico.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL – Cana-de-açúcar.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0,0 – 0,10 m, vermelho-escuro-acinzentado (2,5YR 3/2, úmida); argila; moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares; friável, muito plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.

AB 0,10 – 0,25 m, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); argila; moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade pouca e fraca; muito plástica e pegajosa; transição ondulada e difusa.

Bn 0,25 – 0,60 m, vermelho-escuro (10R 3/6, úmida); muito argilosa; forte, média a grande; blocos angulares e subangulares; cerosidade comum e moderada; muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição ondulada e difusa.

Bw +0,60 m, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmida); muito argilosa; fraca, pequena, blocos angulares que se desfazem facilmente a granular; cerosidade pouca e fraca; muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição ondulada e clara.

RAÍZES: Muito finas e grossa em A e AB; Comuns e finas em Bn e poucas e finas em Bw.

OBSERVAÇÕES: Muitos canais biológicos. Perfil descrito úmido.

Fonte: (LIMA, 2016)

ANEXO B.

Tabela 9. Valores encontrados na segunda coleta do perfil do Preparo Convencional. ATP¹ = área total ocupada por poros; ATP² = área total ocupada por poros por classe de forma.

Preparo Convencional - 2ª Coleta													
Profundidade (cm)	Classe	Rua			Intermediária			Planta			Canteiro		
		ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	% da ATP ¹	
0 - 20	Arred.	8,92	5,9	65,9%	11,45	6,9	60,1%	14,26	6,4	44,8%	7,42	4,5	60,3%
	Along		1,2	13,7%		1,3	11,5%		1,7	11,9%		0,7	8,8%
	Comp.		1,8	20,4%		3,3	28,4%		6,2	43,3%		2,3	30,9%
20 - 40	Arred.	8,16	5,2	64,2%	9,42	6,1	64,8%	10,67	7,0	65,5%	7,59	5,1	67,6%
	Along		1,4	16,8%		1,2	12,7%		1,0	9,3%		0,7	9,6%
	Comp.		1,5	18,9%		2,1	22,3%		2,7	25,3%		1,7	22,9%
34 - 46	Arred.	15,20	7,6	50,2%	16,60	8,9	53,8%	14,52	10,2	69,9%	17,41	6,5	37,5%
	Along		1,4	9,2%		1,5	9,0%		1,8	12,1%		1,8	10,1%
	Comp.		6,2	40,8%		6,2	37,2%		2,6	18,0%		9,1	52,4%
40 - 60	Arred.	16,53	9,8	59,1%	18,01	11,0	60,8%	14,07	9,8	69,4%	16,64	8,2	49,0%
	Along		1,6	9,4%		1,5	8,3%		1,3	9,1%		1,8	10,7%
	Comp.		5,2	31,5%		5,6	30,9%		3,0	21,5%		6,7	40,2%
60 - 80	Arred.	17,11	11,9	69,5%	15,96	11,0	68,7%	17,37	10,7	61,8%	15,80	10,0	63,3%
	Along		2,1	12,4%		1,5	9,2%		2,0	11,8%		2,0	12,5%
	Comp.		3,1	18,0%		3,5	22,1%		4,6	26,4%		3,8	24,2%
74 - 86	Arred.	22,89	12,3	53,9%	20,34	11,3	55,7%	22,17	12,8	57,7%	19,22	11,0	57,4%
	Along		2,7	12,0%		2,1	10,1%		2,6	11,7%		2,1	10,8%
	Comp.		7,8	34,1%		7,0	34,2%		6,8	30,6%		6,1	31,8%
80 - 100	Arred.	18,96	10,9	57,6%	22,30	12,3	55,2%	20,75	11,4	55,1%	23,05	9,8	42,4%
	Along		2,3	12,4%		2,7	12,1%		2,2	10,6%		2,3	10,1%
	Comp.		5,7	30,0%		7,3	32,7%		7,1	34,3%		10,9	47,5%
90-102	Arred.	16,18	9,9	61,4%	20,79	11,6	55,9%	21,83	12,8	58,6%	15,15	8,2	54,0%
	Along		1,5	9,1%		2,4	11,7%		2,6	12,1%		1,6	10,6%
	Comp.		4,8	29,5%		6,7	32,4%		6,4	29,3%		5,4	35,4%

ANEXO C.

Tabela 10. Valores encontrados na segunda coleta do perfil do Preparo Profundo Canteirizado. ATP¹ = área total ocupada por poros; ATP² = área total ocupada por poros por classe de forma.

Profundidade (cm)	Preparo Profundo Canteirizado - 2ª Coleta												
	Classe	Rua			Intermediária			Planta			Canteiro		
		ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹
0 - 20	Arred.	2,10	1,3	61,2%	9,02	5,7	62,7%	26,65	8,3	31,2%	3,46	2,3	65,8%
	Along		0,6	29,9%		0,7	8,0%		2,2	8,2%		0,8	23,2%
	Comp.		0,2	8,8%		2,6	29,2%		16,1	60,5%		0,4	11,0%
20 - 40	Arred.	8,96	5,6	62,5%	11,82	5,1	42,8%	13,55	7,6	56,3%	14,03	7,1	50,3%
	Along		1,2	13,7%		1,5	12,8%		1,5	11,3%		1,7	12,0%
	Comp.		2,1	23,8%		5,2	44,4%		4,4	32,3%		5,3	37,7%
34 - 46	Arred.	16,27	8,7	53,4%	12,87	7,0	54,5%	16,37	7,9	48,3%	14,39	6,4	44,4%
	Along		1,7	10,6%		1,3	10,2%		2,4	14,6%		1,3	9,0%
	Comp.		5,9	36,0%		4,5	35,2%		6,1	37,1%		6,7	46,6%
40 - 60	Arred.	10,66	6,4	60,3%	12,76	8,3	64,7%	20,34	11,2	55,0%	12,79	8,2	63,8%
	Along		0,8	7,7%		1,4	11,2%		2,3	11,3%		1,1	9,0%
	Comp.		3,4	32,0%		3,1	24,1%		6,9	33,7%		3,5	27,2%
60 - 80	Arred.	17,37	9,6	55,4%	22,25	12,0	53,9%	21,70	12,1	55,9%	17,01	10,1	59,1%
	Along		2,4	13,8%		2,4	10,9%		2,5	11,6%		2,2	12,8%
	Comp.		5,3	30,7%		7,8	35,2%		7,0	32,5%		4,8	28,0%
74 - 86	Arred.	17,30	13,0	75,3%	19,06	10,4	54,7%	26,49	11,7	44,2%	17,51	11,0	63,0%
	Along		2,1	12,4%		2,7	14,3%		3,0	11,2%		2,1	11,9%
	Comp.		2,1	12,4%		5,9	31,1%		11,8	44,6%		4,4	25,0%
80 - 100	Arred.	19,25	11,3	58,8%	18,14	11,1	61,3%	25,11	12,3	48,9%	21,54	10,0	46,6%
	Along		2,3	12,1%		2,3	12,4%		3,4	13,6%		2,1	9,6%
	Comp.		5,6	29,0%		4,8	26,3%		9,4	37,5%		9,4	43,7%
90-102	Arred.	19,25	12,1	63,0%	22,56	11,8	52,4%	25,90	10,7	41,4%	17,40	10,5	60,3%
	Along		2,4	12,3%		3,4	15,1%		3,0	11,7%		1,8	10,5%
	Comp.		4,7	24,7%		7,3	32,4%		12,1	46,9%		5,1	29,1%

ANEXO D.

Tabela 11. Tabela de comparativo entre os valores encontrados de área total ocupada por poros (ATP) entre a primeira e segunda coleta do Preparo Convencional nas profundidades correspondentes. ATP¹ = área total ocupada por poros; ATP² = área total ocupada por poros por classe de forma.

Preparo Convencional - Comparativo										
Profundidade (cm)	Classe	Rua Primeira Coleta			Rua Segunda Coleta			Diferença Rua		
		ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	Δ ATP ¹	Δ ATP ²	Δ % da ATP ¹
0 - 20	Arred.		6,1	66,7%		5,9	65,9%	-0,28	-0,26	-0,8%
	Along	9,20	1,3	13,6%	8,92	1,2	13,7%		0,03	0,1%
	Comp.		1,8	19,7%		1,8	20,4%		-0,01	0,8%
20 - 40	Arred.		6,8	66,1%		5,2	64,2%	-2,06	-1,51	-1,9%
	Along	10,22	1,2	12,0%	8,16	1,4	16,8%		-0,15	4,9%
	Comp.		2,2	21,9%		1,5	18,9%		0,69	-3,0%
40 - 60	Arred.		7,8	49,4%		9,8	59,1%	0,68	1,95	9,8%
	Along	15,85	1,5	9,4%	16,53	1,6	9,4%		-0,06	0,0%
	Comp.		6,5	41,2%		5,2	31,5%		1,33	-9,7%
60 - 80	Arred.		10,9	70,4%		11,9	69,5%	1,56	0,95	-0,8%
	Along	15,55	2,1	13,8%	17,11	2,1	12,4%		0,02	-1,4%
	Comp.		2,5	15,8%		3,1	18,0%		-0,62	2,2%
80 - 100	Arred.		10,9	55,1%		10,9	57,6%	-0,89	-0,02	2,5%
	Along	19,85	2,1	10,7%	18,96	2,3	12,4%		-0,21	1,6%
	Comp.		6,8	34,1%		5,7	30,0%		1,09	-4,1%
Canteiro Convencional - Comparativo										
Profundidade (cm)	Classe	Canteiro Primeira Coleta			Canteiro Segunda Coleta			Diferença Canteiro		
		ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	Δ ATP ¹	Δ ATP ²	Δ % da ATP ¹
0 - 20	Arred.		5,1	63,9%		4,5	60,3%	-0,62	-0,66	-3,6%
	Along	8,03	0,8	10,3%	7,42	0,7	8,8%		0,17	-1,5%
	Comp.		2,1	25,8%		2,3	30,9%		-0,22	5,1%
20 - 40	Arred.		6,8	65,6%		5,1	67,6%	-2,79	-1,68	1,9%
	Along	10,38	1,3	12,1%	7,59	0,7	9,6%		0,53	-2,6%
	Comp.		2,3	22,2%		1,7	22,9%		0,57	0,6%
40 - 60	Arred.		6,4	41,4%		8,2	49,0%	1,29	1,80	7,6%
	Along	15,35	1,0	6,7%	16,64	1,8	10,7%		-0,75	4,0%
	Comp.		8,0	51,8%		6,7	40,2%		1,26	-11,6%
60 - 80	Arred.		9,4	58,1%		10,0	63,3%	-0,34	0,62	5,1%
	Along	16,13	1,8	10,9%	15,80	2,0	12,5%		-0,22	1,6%
	Comp.		5,0	31,0%		3,8	24,2%		1,17	-6,8%
80 - 100	Arred.		6,7	36,0%		9,8	42,4%	4,29	3,03	6,4%
	Along	18,76	1,7	9,0%	23,05	2,3	10,1%		-0,66	1,2%
	Comp.		10,3	55,1%		10,9	47,5%		-0,61	-7,6%

ANEXO E.

Tabela 12. Tabela do comparativo entre os valores encontrados de área total ocupada por poros (ATP) entre a primeira e segunda coleta do Preparo Profundo Canteirizado nas profundidades correspondentes. ATP¹ = área total ocupada por poros; ATP² = área total ocupada por poros por classe de forma.

Preparo Profundo Canteirizado - Comparativo										
Profundidade (cm)	Classe	Rua Primeira Coleta			Rua Segunda Coleta			Diferença Rua		
		ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	Δ ATP ¹	Δ ATP ²	Δ % da ATP ¹
0 - 20	Arred.		10,0	77,9%		1,3	61,2%	-10,73	-8,71	-16,7%
	Along	12,84	1,5	11,4%	2,10	0,6	29,9%		0,84	18,5%
	Comp.		1,4	10,7%		0,2	8,8%		1,18	-1,8%
20 - 40	Arred.		5,0	55,2%		5,6	62,5%	-0,07	0,61	7,2%
	Along	9,03	0,8	8,6%	8,96	1,2	13,7%		-0,45	5,1%
	Comp.		3,3	36,2%		2,1	23,8%		1,14	-12,4%
40 - 60	Arred.		10,1	69,6%		6,4	60,3%	-3,85	-3,67	-9,3%
	Along	14,51	1,8	12,6%	10,66	0,8	7,7%		1,00	-4,9%
	Comp.		2,6	17,8%		3,4	32,0%		-0,83	14,2%
60 - 80	Arred.		9,7	59,2%		9,6	55,4%	1,02	-0,05	-3,7%
	Along	16,35	2,0	12,0%	17,37	2,4	13,8%		-0,44	1,8%
	Comp.		4,7	28,8%		5,3	30,7%		-0,63	1,9%
80 - 100	Arred.		13,5	57,8%		11,3	58,8%	-4,06	-2,16	1,0%
	Along	23,31	3,1	13,5%	19,25	2,3	12,1%		0,80	-1,3%
	Comp.		6,7	28,7%		5,6	29,0%		1,10	0,3%
Canteiro										
Profundidade (cm)	Classe	Canteiro Primeira Coleta			Canteiro Segunda Coleta			Diferença Canteiro		
		ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	ATP ¹	ATP ²	% da ATP ¹	Δ ATP ¹	Δ ATP ²	Δ % da ATP ¹
0 - 20	Arred.		7,9	43,2%		2,3	65,8%	-14,91	-5,65	22,7%
	Along	18,37	3,1	16,8%	3,46	0,8	23,2%		2,28	6,4%
	Comp.		7,4	40,1%		0,4	11,0%		6,98	-29,1%
20 - 40	Arred.		7,6	39,0%		7,1	50,3%	-5,49	-0,55	11,3%
	Along	19,52	2,5	12,6%	14,03	1,7	12,0%		0,78	-0,6%
	Comp.		9,4	48,4%		5,3	37,7%		4,16	-10,7%
40 - 60	Arred.		7,6	39,1%		8,2	63,8%	-6,77	0,52	24,7%
	Along	19,56	2,1	10,8%	12,79	1,1	9,0%		0,98	-1,9%
	Comp.		9,8	50,1%		3,5	27,2%		6,31	-22,8%
60 - 80	Arred.		10,6	68,5%		10,1	59,1%	1,56	-0,53	-9,4%
	Along	15,44	1,3	8,3%	17,01	2,2	12,8%		-0,90	4,5%
	Comp.		3,6	23,2%		4,8	28,0%		-1,19	4,9%
80 - 100	Arred.		12,3	50,5%		10,0	46,6%	-2,85	-2,28	-3,9%
	Along	24,39	2,7	10,9%	21,54	2,1	9,6%		0,59	-1,3%
	Comp.		9,4	38,5%		9,4	43,7%		-0,02	5,2%