

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

Efeito da aplicação de composto orgânico sobre o processo de encrostamento e a recuperação de solos degradados pela erosão hídrica

Raul Shiso Toma

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

**Piracicaba
2008**

Raul Shiso Toma
Engenheiro Agrônomo

**Efeito da aplicação de composto orgânico sobre o processo de encrostamento e a
recuperação de solos degradados pela erosão hídrica**

Orientador:
Prof. Dr. MIGUEL COOPER

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

Piracicaba
2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Toma, Raul Shiso

Efeito da aplicação de composto orgânico sobre o processo de encrostamento e a recuperação de solos degradados pela erosão hídrica / Raul Shiso Toma. - - Piracicaba, 2008.

111 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Compostos orgânicos 2. Degradação do solos 3. Erosão 4. Morfologia do solo
Recuperação do solo I. Título

CDD 631.45

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais, Artur e Sueli, por todo
carinho, amor e incentivo
A meu irmão Hugo e minha cunhada
Cláudia pela amizade sempre

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Miguel Cooper pela confiança, cooperação, paciência, amizade e orientação.

Aos membros do Conselho de Pós-Graduação do Programa de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade oferecida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida até o término da dissertação.

Ao Prof. Álvaro Pires da Silva pelo uso do laboratório de física, Prof. Paulo Leonel Libardi pelos equipamentos cedidos, Prof^a. Sônia Maria De Stefano Piedade pela ajuda na análise estatística e o Prof. Sila Carneiro da Silva pelo uso das estufas de seu laboratório.

Ao Luis Fernando Sanglade Marchiori pela área concedida para o experimento na fazenda Areão, assim como a todos os funcionários.

À Sementes Pirai pela doação das sementes de adubos verdes utilizados nos experimentos.

À Eliana e Silvia da Biblioteca Central pela checagem da parte editorial e referências bibliográficas.

Aos alunos de graduação Auzaimer, Beltrão, Bupi, Carlo, Dendê, Olande-za, Paxeno, Pitchula, Sã e Tapioka por todo o apoio e colaboração nas atividades de campo e laboratório.

Ao grupo CEPARA pelo composto produzido e cedido e pelo trabalho de campo na aplicação do composto.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, Dorival e Jair pelo auxílio na execução do projeto em campo. Aos técnicos Luiz Silva, Bete e em especial ao Anderson pela assistência às análises realizadas.

Aos colegas da pós-graduação em especial o Carlos, Aline e Renata pelo incentivo.

E a todos meus amigos os quais os nomes não estão aqui, mas que sempre estiveram comigo me ajudando direta ou indiretamente me dando força e coragem para continuar e desenvolver este trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 DESENVOLVIMENTO	15
2.1 Revisão Bibliográfica	15
2.1.1 Erosão	15
2.1.2 Encrostamento Superficial	17
2.1.3 Compostagem	19
2.1.4 Matéria Orgânica	21
2.1.5 Recuperação de Solos Degradados	23
2.2 Material e Métodos	25
2.2.1 Descrição do Local de Estudo	25
2.2.2 Variação Sazonal da Chuva	26
2.2.3 Instalação do Experimento	27
2.2.4 Cronologia do Trabalho	29
2.2.5 Composto Orgânico	29
2.2.6 Propriedades Físicas e Químicas do Solo	30
2.2.6.1 Análise Granulométrica	30
2.2.6.2 Densidade do Solo	30
2.2.6.3 Micromorfologia e Distribuição de Poros no Solo por Análise de Imagens	31
2.2.6.4 Análise Química do Solo	33
2.2.6.4.1 Determinação do pH em CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$	33
2.2.6.4.2 Determinação do pH em água e pH em KCl 1N	33
2.2.6.4.3 Determinação da Acidez Potencial	34
2.2.6.4.4 Determinação de Alumínio Trocável	34
2.2.6.4.5 Determinação da Matéria Orgânica	34
2.2.6.4.6 Determinação do Potássio – Mehlich 1	35
2.2.6.4.7 Extração de Cálcio, Magnésio e Fósforo	35
2.2.6.4.8 Determinação do Cálcio e Magnésio	35

2.2.6.4.9 Determinação do Fósforo.....	36
2.2.6.4.10 Determinação do Enxofre	36
2.2.6.4.11 Determinação de Fe, Mn, Cu e Zn.....	36
2.2.7 Propriedades Físico-hídricas.....	37
2.2.7.1 Curvas de Retenção de Água no Solo.....	37
2.2.7.2 Condutividade Hidráulica	37
2.2.8 Plantios das Culturas do Tremoço Branco e Crotalária Juncea	38
2.2.9 Estatística	41
2.3 Resultados e Discussão	42
2.3.1 Caracterização Química	42
2.3.2 Micromorfologia e Análise de Imagens.....	46
2.3.3 Caracterização Física e Físico-hídrica	79
2.3.3.1 Granulometria	79
2.3.3.2 Densidade.....	79
2.3.3.3 Retenção de Água no Solo.....	81
2.3.3.4 Condutividade Hidráulica Saturada	83
2.3.4 Matéria Seca.....	87
2.4 Discussão Geral.....	92
3 CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS.....	97
ANEXOS	105

RESUMO

Efeito da aplicação de composto orgânico sobre o processo de encrostamento e a recuperação de solos degradados pela erosão hídrica

A geração de resíduos orgânicos juntamente com a erosão, são dois grandes problemas ambientais mundiais. São responsáveis pela redução da produtividade agrícola e pelos altos impactos ambientais. O presente projeto teve como objetivo a utilização de resíduos orgânicos gerados na agropecuária, na forma de composto orgânico, para a recuperação de áreas degradadas pela erosão hídrica. Foram avaliados os efeitos de quatro doses de composto (0, 20, 40 e 100 Mg.ha⁻¹) na recuperação dos solos degradados por erosão. Somado a isto foi também avaliado o efeito da dose de composto sobre o processo de encrostamento superficial do solo. O projeto foi composto por dois experimentos, um com a ausência da erosão e o outro com presença de erosão (remoção de uma camada de 50 cm de solo), sendo realizados concomitantemente na mesma área. O delineamento experimental usado para cada experimento foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos (0, 20, 40 e 100 Mg.ha⁻¹) e 4 repetições. Para o monitoramento da recuperação do solo e do processo de encrostamento em função das diferentes doses de composto, amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas para análises físicas e químicas de rotina, para medidas da densidade do solo, para confecção de curvas características de retenção de água, e para análises micromorfológicas e de imagens. No campo foram realizados o monitoramento da chuva, da condutividade hidráulica e da infiltração de água no solo. Ficou claro que com o aumento da dose de composto orgânico aplicado no solo, melhor era a condição química do mesmo. Os valores dos elementos aumentavam conforme a dose de composto era também aumentada. A ação da matéria orgânica no solo colaborou com um aumento na retenção de água no solo a partir das doses de 40 e 100 Mg.ha⁻¹. Esta melhor retenção de água favoreceu juntamente com a química, o crescimento das culturas no período seco garantindo assim uma maior produção de matéria seca das culturas implantadas, principalmente na dose de 100 Mg.ha⁻¹. Com o aumento da porosidade do solo ao longo do tempo estudado em todas as doses de composto aplicado, a densidade do solo diminuiu onde o composto estava presente, se tornando mais constante em altas doses seus valores. A condutividade hidráulica do solo foi reduzida ao longo dos dois experimentos para todas as doses de composto aplicado. Essa redução pode ser explicada pelo aumento do encrostamento superficial do solo ao longo do tempo principalmente nas doses de 0 e 20 Mg.ha⁻¹, dificultando a infiltração de água no solo. Portanto, a aplicação de altas doses de composto orgânico aceleram a recuperação dos atributos químicos e físicos do solo, assim como colaboram na redução da formação de vesículas nas crostas superficiais e diminuem os efeitos do impacto das gotas de chuvas na formação do encrostamento.

Palavras-chave: Compostagem; Composto orgânico; Erosão hídrica; Recuperação de áreas degradadas; Encrostamento superficial; Micromorfologia; Análise de imagem

ABSTRACT

Effect of the application of organic compost on the process of crust formation and the recuperation of degraded soils by water erosion

The generation of organic waste along with soil erosion are two major environmental problems worldwide. They are responsible for the reduction of agricultural productivity and high environmental impacts. The objective of this dissertation is the use of organic waste generated in agriculture, in the form of organic compost, for the recovery of degraded areas by water erosion. The effects of four doses of compost (0, 20, 40 and 100 Mg.ha⁻¹) in the recovery of degraded soils by erosion, was tested. Added to this, the effect of the dose of compost on the process of soil surface crusting surface was also tested. The project was composed of two experiments, one with no erosion and the other with erosion (removal of a layer of 50 cm of soil), conducted concurrently in the same area. The experimental design for each experiment was completely randomized with 4 treatments (0, 20, 40 and 100 Mg.ha⁻¹) and 4 replications. For the monitoring of the recovery of soil and the process of crusting according to the different doses of compost, deformed and undeformed soil samples were collected for routine physical and chemical analyses soil density evaluation, determination of the characteristic water retention curve, and for micromorphological and image analysis. In the field, rain, hydraulic conductivity and soil water infiltration were monitored. It was clear that with the increasing doses of organic compost used in the soil, the chemical condition meliorated. The content of the nutrients increased as the dose of compost was also increased. The action of organic matter in the soil collaborated with an increase in its water retention mainly for doses of 40 and 100 Mg.ha⁻¹. This better water retention helped, together with the chemical recuperation, in the growth of the crops in the dry season thereby ensuring a higher dry matter yield, mainly in the dose of 100 Mg.ha⁻¹. The increasing soil porosity over time observed in all doses of compost applied, led to a decrease in the soil density. The hydraulic conductivity of the soil was reduced in both experiments for all the applied compost doses. This reduction can be explained by the increase of the soil crusting process over time, especially in the doses of 0 and 20 Mg.ha⁻¹, hampering the water infiltration in the soil. Therefore, the application of high doses of organic compost accelerates the recuperation of the chemical and physical attributes of the soil. It also collaborates in reducing the formation of vesicles in the superficial crust and decreases the effects of the impact of the raindrops on the crust formation.

Keywords: Composting; Organic compost; Water erosion; Recuperation of degraded areas; Soil crust; Micromorphology; Analysis of image

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial nas últimas décadas, houve uma exagerada produção de lixo orgânico nas cidades e no campo. Estes resíduos são um dos grandes problemas para as administrações públicas, que ao invés de adotarem políticas favoráveis a reciclagem e ao aproveitamento desses resíduos, que após serem tratados poderiam e deveriam voltar ao campo na forma de adubo orgânico, destinam estes materiais para aterros sanitários. Estes por sua vez apresentam-se com suas capacidades limitadas, devido ao volume enorme que estes resíduos proporcionam. O processo de compostagem ajuda transformar estes resíduos em adubo orgânico que pode ser utilizado como melhorador e recuperador da qualidade do solo (KIEHL, 2002), tanto física como química, e desta forma aumentar ou recuperar a resiliência dos solos perante possíveis impactos provocados pelo uso inadequado do solo.

A necessidade de reduzir o impacto ambiental das atividades agrícolas e controlar a degradação da estrutura do solo são os principais objetivos do manejo e conservação do solo. O preparo intensivo do solo tem deteriorado sua estrutura e outras propriedades físicas, como alteração na porosidade, o que diminui o rendimento das culturas e a deterioração do meio ambiente. Além disso, a quantificação dos prejuízos causados pelos processos de degradação do solo pode ser útil na predição do risco de um solo à erosão (PAGLIAI; VIGNOZZI, 2002, 2003) e dos impactos que a erosão pode provocar no meio ambiente e na produtividade das culturas.

No Brasil, por se tratar de um País de clima predominantemente tropical, os totais pluviométricos são elevados e as chuvas se concentram em determinadas épocas do ano. Isso faz com que a ação das águas das chuvas sejam as causas mais recorrentes de problemas na formação de erosões, perda de matéria orgânica, aumento do encrostamento em áreas de solo descoberto e redução na produção da biomassa (PAGLIAI, 2003). Esses problemas trazem grandes prejuízos para os solos e conseqüentemente para agricultura. Nestas condições, o aparecimento de crostas superficiais é quase que inevitável. Elas afetam diretamente as taxas de infiltração de água no solo, além de que quando estão secas se tornam mais compactas e endurecidas do que as camadas inferiores, diminuindo o tamanho e modificando a distribuição dos poros no solo.

A qualidade do solo esta diretamente relacionada com a estrutura do solo e muitos dos impactos ambientais em terras intensamente cultivadas. As funções do solo dependem da qualidade da estrutura do solo, podendo-se definir uma estrutura ótima como sendo aqueles solos

aptos para os mais variados usos (DEXTER, 2002). Para a quantificação das mudanças estruturais do solo, além dos métodos tradicionais como medidas de estabilidade estrutural e condutividade hidráulica podem ser utilizados medidas diretas do espaço poroso. Estas medidas quantificam a estrutura porque o tamanho, forma e conectividade dos poros afetam processos importantes dentro dos solos (RINGROSE-VOASE; BULLOCK, 1984).

Já é conhecida a função da matéria orgânica como agente de cimentação entre as partículas do solo que formam os agregados. Conseqüentemente aumentam a estabilidade dos agregados e diminuem a capacidade de desprendimento pelo impacto das gotas de chuvas. Este efeito poderia contribuir para a diminuição da susceptibilidade do solo a formação de crostas superficiais.

Nesse contexto, o presente trabalho contempla o estudo (objetivos):

- Objetivo principal:
 - Verificar a influência do composto sobre a formação de crostas estruturais e degradação da estrutura das camadas superficiais do solo.
- Objetivo secundário:
 - Utilização de resíduos orgânicos gerados na agropecuária, transformados em composto orgânico, para a recuperação de áreas degradadas pela erosão hídrica.

A pesquisa baseia-se na hipótese de que:

- Maiores doses de composto orgânico poderão diminuir a susceptibilidade do solo à formação de crostas superficiais devido à redução do desprendimento de partículas.
- O composto orgânico promoverá a melhoria dos atributos físicos do solo após sua degradação (erosão).
- Maior produtividade (matéria seca) em doses maiores de composto orgânico.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Erosão

A erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela força das águas das chuvas e pela força do vento (PIMENTEL et al., 1995) e é responsável pelo empobrecimento das terras (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). A erosão apresenta importância muito grande e apesar dos esforços já realizados para controlá-la, ainda alcança proporções alarmantes. O Brasil perde, conforme dados apresentados por Bahia et al. (1992), cerca de 600 milhões de toneladas anuais de solo agrícola. No Estado de São Paulo, a perda anual devido à erosão é de aproximadamente 194 milhões de toneladas de terras férteis, das quais 48,5 milhões de toneladas chegam aos mananciais na forma de sedimentos transportados, causando assoreamento e poluição (BERTOLINI; LOMBARDI NETO, 1993).

Em solos cobertos por floresta, a erosão é muito pequena e quase inexistente, mas é um processo natural sempre presente e importante para a formação dos relevos. Por outro lado, a ocupação humana, geralmente iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo da terra, construção de estradas, criação e expansão de cidades, sobretudo quando efetuada de modo inadequado, exerce um papel destacado na origem e aceleração das erosões (SILVA et al., 2003).

A primeira etapa do processo erosivo começa pelo desprendimento de partículas. O salpicamento é um dos agentes mais importantes para o desprendimento. Ele é resultado da ação do impacto das gotas de chuvas sobre a superfície do solo (MORGAN, 1997). A forma como a superfície do solo deforma sob o impacto da gota de chuva determina o ângulo de incidência entre o jato lateral de água e o solo e, subsequentemente, a quantidade de desprendimento (HUANG et al., 1983).

O impacto das gotas das chuvas ao atingirem o solo destroem os agregados da superfície e colaboram com a formação de sedimentos passíveis de serem arrastados pela força das águas das chuvas que são formadas pela baixa infiltração de água no solo. Estes sedimentos além de ficarem na superfície do solo eles também entopem os poros dos solos formando uma crosta na

superfície, reduzindo consideravelmente a infiltração de água (POESEN, 1992; SILVA et al., 1995).

A segunda etapa do processo erosivo é o transporte de partículas. Quando a intensidade de precipitação excede a velocidade de infiltração do solo, inicia-se o preenchimento das depressões do terreno com a água da chuva. Estes quando cheios começam a se conectar e a formar um pequeno filme de água na superfície dando início a formação do “runoff” (DARBOUX et al., 2001). O transporte pelo escoamento de água na superfície do solo é o maior agente desta etapa. A quantidade de força gerada pela enxurrada é relacionada com a concentração e velocidade com que ela se move morro abaixo. A água que escorre ganha energia pelo aumento da massa no seu movimento e pelo aumento de velocidade que adquire por uma rápida mudança de declividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Este fluxo de água superficial pode se concentrar e circular por pequenos sulcos (MORGAN, 1997). Nessa hora o fluxo laminar se torna turbulento e colabora também no desprendimento de partículas do solo (NEARING et al., 1994). O desprendimento ocorre quando o sedimento é carregado por um fluxo que excede a resistência do solo ao desprendimento (CHESWORTH, 2008). Outra forma de transporte é pelo salpicamento, resultante do impacto da gota de chuva no local que sofre impacto. Durante uma chuva muito forte, milhares de milhões de gotas de chuva golpeiam cada hectare de terreno, desprendendo as partículas da massa de solo. Muitas dessas partículas podem ser atiradas a mais de 60 cm de alturas e a mais de 1,5 m de distância (ELLISON, 1947a).

A última etapa do processo erosivo é a deposição do material erodido. Os materiais depositados são geralmente separados por tamanho de partículas. O primeiro a ser depositado são as partículas de baixa transportabilidade, por último, os materiais mais leves, nos pontos mais distantes das partes mais baixas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Isto está relacionado com a força de transporte da enxurrada explicada por Merten e Nearing (2001).

As principais formas de erosão hídrica são a erosão laminar, sulcos, voçorocas efêmeras e voçorocas. Estas quatro formas de erosão podem ocorrer concomitantemente no terreno. A erosão laminar é a remoção uniforme do solo em camadas finas pela força da gota da chuva e pelo fluxo laminar. A erosão em sulco é a remoção do solo pela água concentrada através de um pequeno canal ou pequeno corte no solo. Como o descolamento continua ou fluxo aumenta, a erosão em sulcos torna-se mais ampla e mais profunda. Não obstante, a medida que o fluxo laminar se concentra em pequenos canais as voçorocas efêmeras se tornam dominantes. Elas são canais de

pequeno tamanho que podem ser fechados pelas práticas culturais normais, mas o dano já está feito e o solo foi perdido. São dominantes em terrenos nus recentemente plantados ou em pousio. Onde o volume de enxurrada é mais concentrado, o fluxo de água corta mais profundamente dentro do solo, aprofundando as voçorocas efêmeras em canais maiores chamados de voçorocas. Voçorocas em terrenos cultivados são obstáculos para tratores e não podem ser removidos por práticas normais de cultivo. Estas voçorocas transportam grandes quantidades de água após chuvas e depositam o material erodido no sopé das ravinas. Elas desfiguram a paisagem e tornam as terras impróprias para o cultivo (CHESWORTH, 2008).

A erosão pela água prejudica a qualidade do solo e a produtividade das culturas. Ela atua na redução das taxas de infiltração de água, de nutrientes, a matéria orgânica, biota do solo, bem como a profundidade do solo. Cada um desses fatores influencia a produtividade do solo individualmente, mas também interagem com os outros fatores, tornando a avaliação dos impactos da erosão do solo na produtividade difícil (PIMENTEL et al., 1995).

Os efeitos da erosão são duplos. O primeiro chamado de intrínseco é a redução da produtividade das culturas pela remoção dos nutrientes do solo, redução da capacidade de retenção de água, degradação da estrutura do solo e destruição da área de cultivo pela ravinação (YOUNG et al., 1986). Além destes temos também o soterramento, desenraizamento, a lavagem de sementes e plântulas, assim como a perda de água pelo “runoff” (LAL, 1998). Em segundo lugar, os danos extrínsecos, que atuam na forma da diminuição da qualidade da água assim como com o assoreamento de canais e reservatórios (YOUNG et al., 1986; LAL, 1998). Outros danos extrínsecos que também podemos apresentar são os problemas em cursos e reservatórios d’água, podendo-se destacar: redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios devido à sedimentação de material transportado; redução do potencial de geração de energia elétrica; elevação dos custos de tratamento da água; desequilíbrio no balanço de oxigênio dissolvido na água, proporcionando prejuízos para o crescimento de espécies aquáticas; e aumento dos custos de dragagem dos cursos e reservatórios d’água (BARROSO; SILVA, 1992).

2.1.2 Encrostamento Superficial

A formação do encrostamento superficial no solo é um dos vários efeitos negativos provocados pela atividade humana e também é considerada uma das maiores formas de

degradação do solo, ou seja, prejudicando e destruindo o solo e algumas de suas funções (JONES, 2002; VALENTIN; BRESSON, 1997).

O encrostamento superficial tem sido tema de numerosos estudos desde os primeiros trabalhos de Duley (1939) e McIntyre (1958). Estes estudos levaram à classificação das crostas superficiais do solo em duas categorias gerais, estrutural e sedimentar (CHEN et al., 1980; CASNAVE; VALENTIN, 1989; BRESSON; BOIFFIN, 1990; WEST et al., 1992). A quebra dos agregados sob o impacto da gota da chuva reduz a porosidade do solo na camada superior do solo formando a crosta estrutural. A crosta sedimentar é formada a partir da deposição de sedimentos e micro-agregados, ela é dependente do fluxo superficial e condições que afetam a sedimentação. A taxa de enxurrada, fluxo rápido e a microtopografia influenciam fortemente a distribuição espacial das crostas sedimentares. Geralmente, as crostas sedimentares são encontradas em depressões e micro-depressões. As crostas estruturais estão associadas à formação de micromontículos do solo (FOX et al., 1998). Toda esta modificação provoca um aumento na densidade e na resistência do solo à penetração, junto com a redução de poros e da capacidade de infiltração no solo, levando a altos índices de erosão e enxurrada (“runoff”) (Le BISSONNAIS; BRUAND, 1993; MACEDO et al., 1998; BAJRACHARYA; LAL, 1999) e ainda diminuindo o teor de nutrientes e matéria orgânica no solo (MERMUT et al., 1995).

A estabilidade dos agregados possui papel fundamental na erodibilidade dos solos, isso é destacado por Thornes (1980), que comenta que a infiltração ocorre mais rapidamente nos solos que contem agregados maiores e mais estáveis, diminuindo, conseqüentemente, a produção de “runoff”. A medida que os agregados são destruídos e a superfície do solo se torna selada, as crostas passam a oferecer maior resistência a ação do salpicamento, mas por outro lado aumenta a ação do “runoff”, podendo atingir altas velocidades, que serão suficientes para destacar sedimentos e transportá-los dentro das ravinas.

Foi observado que os solos menos propensos a serem cobertos por crostas, foram os que possuíam maior presença de argila e matéria orgânica no solo, estes eram considerados mais estáveis (De PLOEY, 1977). Essa constatação concorda com os trabalhos desenvolvidos por Bryan (1974), que também destacou a importância que o teor de matéria orgânica tem em reduzir a formação de crostas no topo do solo, mesmo quando não consegue evitar totalmente a sua formação.

Uma prática de manejo importante para a prevenção do encrostamento no solo é a aplicação de matéria orgânica ao solo. Tais compostos orgânicos podem revelar seus benefícios de dois modos, o primeiro devido à ação físico-química da matéria orgânica em aumentar a estabilidade de agregados do solo e então retribuir a eles maior estabilidade à chuva e o segundo devido à ação mecânica destes compostos (PAGLIAI, 2003).

2.1.3 Compostagem

A compostagem é uma prática antiga utilizada na decomposição controlada de restos vegetais, restos de comida, esterco e outras fontes de resíduos orgânicos para a obtenção de matéria orgânica bioestabilizada ou humificada. A compostagem é uma das melhores soluções para a utilização de resíduos orgânicos de várias fontes. No Brasil é pouco aplicada, mas em outros países e regiões vem sendo utilizada há muitos anos pelos agricultores pelos benefícios que traz na nutrição das plantas e melhoria das condições físicas e biológicas do solo (PENTEADO, 2006). O processo de compostagem ajuda transformar os resíduos orgânicos em adubo orgânico que pode ser utilizado como melhorador e recuperador da qualidade do solo (KIEHL, 2002). O produto final apresenta efeitos importantes sobre as características físicas, químicas e físico-químicas quando aplicado aos solos (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido. É dividida em fases. A primeira é de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo. Esta fase é inicial e rápida. A segunda fase é a de semicura ou bioestabilização. Logo em seguida a terceira fase, a cura, maturação ou a mais tecnicamente, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, quando se pode dar por encerrada a compostagem (KIEHL, 2002).

Para um preparo adequado do composto orgânico é fundamental conhecer os cinco principais fatores que afetam o processo de decomposição orgânica, que são os microrganismos, aeração, umidade, relação carbono/nitrogênio e temperatura (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2002; PENTEADO, 2006).

Passando pelos cinco fatores principais que afetam a compostagem, os microrganismos são os responsáveis pelo desenvolvimento do processo da compostagem. Transformam a matéria

orgânica dentro dos seus próprios organismos, em processo metabólico (PENTEADO, 2006). Os fungos, bactérias e actinomicetos, são os principais responsáveis em transformar o resíduo orgânico em adubo (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2002).

Para que os microorganismos realizem as transformações da matéria orgânica de uma forma eficiente, é fundamental a presença de oxigênio. Trata-se de uma decomposição da matéria orgânica aeróbia, onde é caracterizado segundo Kiehl (2002) pela alta temperatura, ausência de maus odores, pelo menor tempo de degradação da matéria orgânica e pelas reações de oxidação e oxigenação. Se faltar oxigênio, haverá um atraso na decomposição do material, além da produção de gases que causam mau cheiro. A falta de oxigênio pode ocorrer por vários fatores: excesso de umidade, compactação em função do próprio material, tamanho da composteira e elevada demanda biológica de oxigênio (DBO).

O consumo máximo de oxigênio ocorre quando a temperatura da pilha está em 55°C (KIEHL, 2002), onde é necessário um mecanismo de aeração. Para uma boa aeração da pilha podemos revirar a pilha de tempo em tempo. Este procedimento pode ser realizado de duas formas: manualmente e mecanicamente (PENTEADO, 2006).

Decomposição da matéria orgânica em ambiente aeróbio não deve gerar odor, sendo que os únicos gases desprendidos são: CO₂, vapor d'água e ar quente, que são inodoros (HUANG, 1993). No final da compostagem o cheiro deverá ser de solo molhado pela chuva ou cheiro de terra de mata.

A umidade é importante no processo para garantir as necessidades fisiológicas dos organismos, sem a qual eles não sobrevivem. A umidade deve ser entre 40 a 60%, sendo a ótima 55% (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2002). Essa umidade deve ser mantida durante o processo da compostagem, pois umidades abaixo de 40 % há redução da atividade dos microorganismos que podem até ter suas atividades cessadas. Acima de 60 % inicia-se o desenvolvimento de microrganismos anaeróbicos, que provocam putrefação e mau cheiro (PENTEADO, 2006).

A compostagem é preparada misturando-se materiais ricos em nitrogênio com materiais ricos em carbono. O carbono e o nitrogênio são os principais elementos que caracterizam a qualidade da matéria prima para fazer a compostagem. Cada material possui quantidades diferentes de carbono e nitrogênio. Em geral, os esterco, restos de comida são ricos em nitrogênio e folhas, palhas, serragens são ricos em carbono (PENTEADO, 2006).

O processo da compostagem produz calor e a temperatura constitui-se em um dos fatores mais indicativos da eficiência do processo (PEREIRA NETO, 1996). O mesmo autor cita que a temperatura média ideal no processo da compostagem é de 55 °C. A temperatura dependerá: tamanho da pilha, umidade, quantidade de oxigênio, quantidade carbono, quantidade nitrogênio e a temperatura ambiente. Durante a compostagem a temperatura aumentará devido à ação dos microorganismos até atingir um máximo de 70°C, que se continuar por um período grande pode matar diversos microorganismos (KIEHL, 2002). Mas estas altas temperaturas são benéficas por colaborarem com a destruição da viabilidade de sementes de plantas invasoras e patógenos. A redução da temperatura no tempo adequado representa o fim do processo da compostagem e que o adubo está pronto para o uso (PENTEADO, 2006).

Após respeitar todos os fatores do processo de compostagem e obter o composto orgânico, este pode oferecer diversas vantagens na sua aplicação ao solo. Estas vantagens podem ser além do acréscimo de matéria orgânica podem contribuir para melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos assim como a colaboração em diversas questões ambientais. Os benefícios da adubação orgânica para o solo nas questões de qualidade física estão na melhoria da estrutura do solo, aumento da retenção de água, da porosidade e da infiltração de água e a redução da compactação e da erosão. Com relação a qualidade química o composto funciona como um fornecedor de macro e micronutrientes para as plantas, sendo que os nutrientes são liberados lentamente ao solo, aumenta a capacidade de troca catiônica do solo e podendo geralmente reduzir a acidez do solo ao longo do tempo pela sua capacidade de reter as bases pela formação de complexos orgânicos. As vantagens biológicas são o aumento da vida do solo (microorganismos), não espalha sementes de ervas daninhas e o aproveitamento de restos orgânicos com relação C/N (carbono/nitrogênio) desiguais que juntos proporcionam uma relação C/N adequada. (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2002; PENTEADO, 2006).

2.1.4 Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente chave dos ecossistemas terrestres e a variação na sua distribuição, conteúdo e qualidade têm um importante efeito nos processos que ocorrem dentro dos ecossistemas (SÁ, 2001). Ela tem sido, através dos séculos, o ponto culminante de apoio a agricultura (TIBAU, 1983), além de ter influência direta e indireta sobre os

atributos dos solos, provocando nítidas modificações nas características e propriedades físicas e químicas (COSTA, 1983). Uma delas é a presença de material coloidal como condição essencial para a formação e para a estabilização dos agregados (FREIRE, 1967). Os cientistas dos solos concordam que o aumento do conteúdo de matéria orgânica contribui para a “saúde” do solo, embora a química da matéria orgânica e a sua interação com os minerais e outros constituintes químicos do solo não são bem compreendidos (LOGAN, 1990).

A matéria orgânica é o reservatório de nitrogênio do solo e que vários compostos dela derivados têm a faculdade de promover a solubilização do cálcio, magnésio, fósforo e ferro, além de possuir como uma de suas principais qualidades edáficas a capacidade de reter água, podendo até mudar completamente aptidões do solo (TIBAU, 1983). A adição de matéria orgânica no solo é muito importante, pois promove também o acréscimo na infiltração e reduz a erosão em conjunto com o acréscimo na produção (TOY et al., 2002).

O conteúdo de matéria orgânica é um dos principais atributos que controla a estabilidade estrutural de solos com baixo conteúdo de sódio trocável (BENITO; DIAS FERRO, 1992; GOLCHIN et al., 1995). Os níveis de matéria orgânica no solo podem ser utilizados no diagnóstico para identificar solos que podem apresentar problemas de instabilidade estrutural (CHANEY; SWIFT, 1984). Le Bissonais e Arrouays (1997) encontraram que uma redução do conteúdo de matéria orgânica abaixo de 15 a 20 g.kg⁻¹ provoca reduções na estabilidade estrutural e nas taxas de infiltração de um solo de textura média sob chuva simulada. Em outro trabalho com chuva simulada, mediu-se o desprendimento de partículas em diferentes solos com conteúdos de matéria orgânica variando de 12 a 56 g.kg⁻¹, e observou que o desprendimento diminuiu significativamente com o incremento do conteúdo de matéria orgânica (EKWE, 1991).

Componentes da matéria orgânica do solo atuam como agentes de cimentação entre as partículas primárias que formam os agregados e conseqüentemente aumentam a estabilidade dos agregados e diminuem a capacidade de desprendimento ou ruptura pelo impacto da gota de chuva (EMERSON, 1977). Este efeito mostra que a matéria orgânica poderia diminuir a susceptibilidade do solo à formação de crostas superficiais.

2.1.5 Recuperação de Solos Degradados

Considera-se área degradada àquela que após distúrbios, teve eliminado os seus meios de regeneração natural, apresentando baixa resiliência (CARVALHO, 2000). De acordo com o uso atribuído ao solo, a definição de área degradada pode variar. O Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração (IBAMA, 2005) define que: “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna foram destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo foi perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico foi alterado”. A degradação ambiental ocorre quando “há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento sócio-econômico”.

A erosão é a forma mais séria de degradação do solo, uma vez que ela poderá arruinar o mesmo de forma irreversível. Tendo em vista a diferença na escala de tempo para a formação de um novo solo e a escala de tempo dos humanos para dele tirar sustento, o solo deve, para todo e qualquer propósito prático, ser considerado um recurso natural não renovável. Assim, sua conservação é de fundamental importância, até mesmo uma questão de sobrevivência das espécies na Terra. Para conservar o solo, deve-se, primariamente, controlar a erosão do mesmo, independentemente do uso que ele possa vir a ter. Permanecendo o solo no seu local original, é possível então pensar nos métodos recuperadores e melhoradores do mesmo. Caso contrário tais métodos de recuperação e melhoria do solo não irão surtir os efeitos desejados (COGO et al., 2004).

Principalmente, o mau uso do solo está gerando a sua degradação, e esta, por sua vez, entre outros problemas, gera a erosão, a qual está empobrecendo os solos e provocando a perda da fertilidade física, química e biológica deste, assoreando barragens e cursos d'água (NOLA, 1982). A degradação dos solos nos trópicos, embora reconhecido como um problema grave e generalizado, ainda necessita de estudos que avaliem aspectos físicos, químicos e ambientais, de forma integrada (OLDEMAM et al., 1990).

A necessidade de reduzir o impacto ambiental das atividades agrícolas e controlar a degradação da estrutura do solo é um dos principais objetivos da conservação do solo, ainda mais em regiões susceptíveis. O preparo intensivo do solo tem deteriorado sua estrutura e outras propriedades físicas, como alteração na porosidade, o que diminui o rendimento das culturas.

Além disso, a quantificação dos prejuízos causados pelos processos de degradação do solo pode ser útil na predição do risco de um solo à erosão (PAGLIAI; VIGNOZZI, 2002, 2003).

A compactação do solo pode provocar diversos tipos de deterioração, como por exemplo, o aumento do escoamento de água sobre e através do solo, acelerando o potencial de poluição do aquífero freático por resíduos orgânicos (em forma de lodos ou pastosa). Além disso, há também a redução da capacidade de filtração de poluentes no solo, acelerando o risco de erosão e perdas de fósforo e nitrogênio associadas, devido ao excesso de água abaixo da camada compactada (JONES, 2002).

Os dois componentes principais da degradação das terras, o dano à flora e a deterioração do solo, não são interdependentes. Com as práticas agrícolas inadequadas, a vegetação se torna menos densa e vigorosa e fornece ao solo uma menor proteção contra a erosão. Ao mesmo tempo, o solo é degradado por processos como a erosão e o esgotamento de nutrientes, e torna-se menos apto para manter uma cobertura vegetal protetora (ciclo de degradação). Melhorias no manejo do solo e da vegetação devem andar juntos para preservar o potencial produtivo da terra, ou inclusive ser restaurado (BRADY; WEIL, 1999).

Para evitarmos que as componentes de degradação se iniciem, podemos usar de vários artifícios para combater este ciclo de degradação. Um deles é a aplicação de matéria orgânica no solo, pois para Molloy et al. (1996) a adição de matéria orgânica bem como a ação de microorganismos do solo é essencial para a recuperação funcional de áreas degradadas.

Esta matéria orgânica pode ser obtida através do uso de composto orgânico, que foi produzido a partir do processo de compostagem. Este processo ajuda transformar os resíduos orgânicos em adubo orgânico que pode ser utilizado como melhorador e recuperador da qualidade do solo (KIEHL, 2002). Recuperando ou tendo efeitos importantes sobre as características físicas, químicas e físico-químicas quando aplicado aos solos (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Este método de aplicação de resíduos orgânicos na superfície do solo para sua recuperação foi usado para estudos por Pagliai et al. (1983a), e teve um importante papel na proteção da superfície do solo à formação de crostas, com a utilização de resíduos orgânicos. Em outros trabalhos, os resultados de produção de biomassa quanto de atividades microbiana, mostram que o processo de recuperação de uma área degradada sem a adição de matéria orgânica ocorre numa taxa extremamente baixa. Todos os tratamentos com aplicação de esterco bovino

curtido tiveram os maiores níveis de produção vegetal, indicando que a matéria orgânica é um dos fatores mais significativos durante o processo de restauração da produtividade de uma área (MOLLOY et al., 1996). Segundo Ramos et al. (2005), a conservação do solo constitui, sem dúvida, um dos aspectos mais importantes da agricultura moderna visando à continuidade do sistema produtivo.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Descrição do Local de Estudo

Os experimentos em campo foram instalados na Fazenda Experimental Areão pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” / USP. A área fica localizada na latitude 22° 41' 28" sul - longitude de 47° 38' 41" oeste, com altitude de 559 metros na cidade de Piracicaba - SP – Brasil (Figura 1). Nesta área o solo é o Nitossolo Vermelho distrófico latossólico de textura muito argilosa. A descrição completa do solo realizada no início dos trabalhos de campo encontra-se no Anexo A.

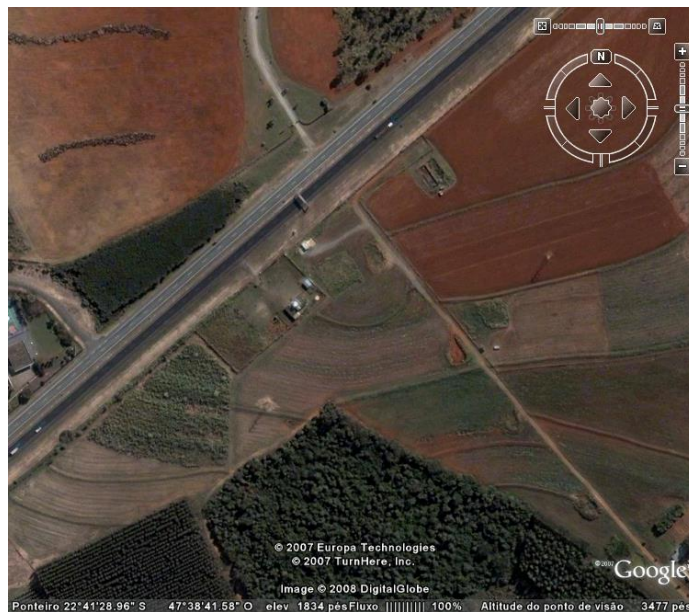


Figura 1 - Imagem da área

2.2.2 Variação Sazonal da Chuva

Na Figura 2 encontram-se os dados de chuva referentes aos anos de 2006 e 2007. Estes dados foram obtidos da base de dados da estação automática do posto agrometeorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ – USP, disponível no site (<http://www.lce.esalq.usp.br/postoaut.html>). Este posto fica localizado na latitude 22° 42' 30" sul - longitude de 47° 38' 00" oeste, com altitude de 546 metros na cidade de Piracicaba - SP – Brasil.

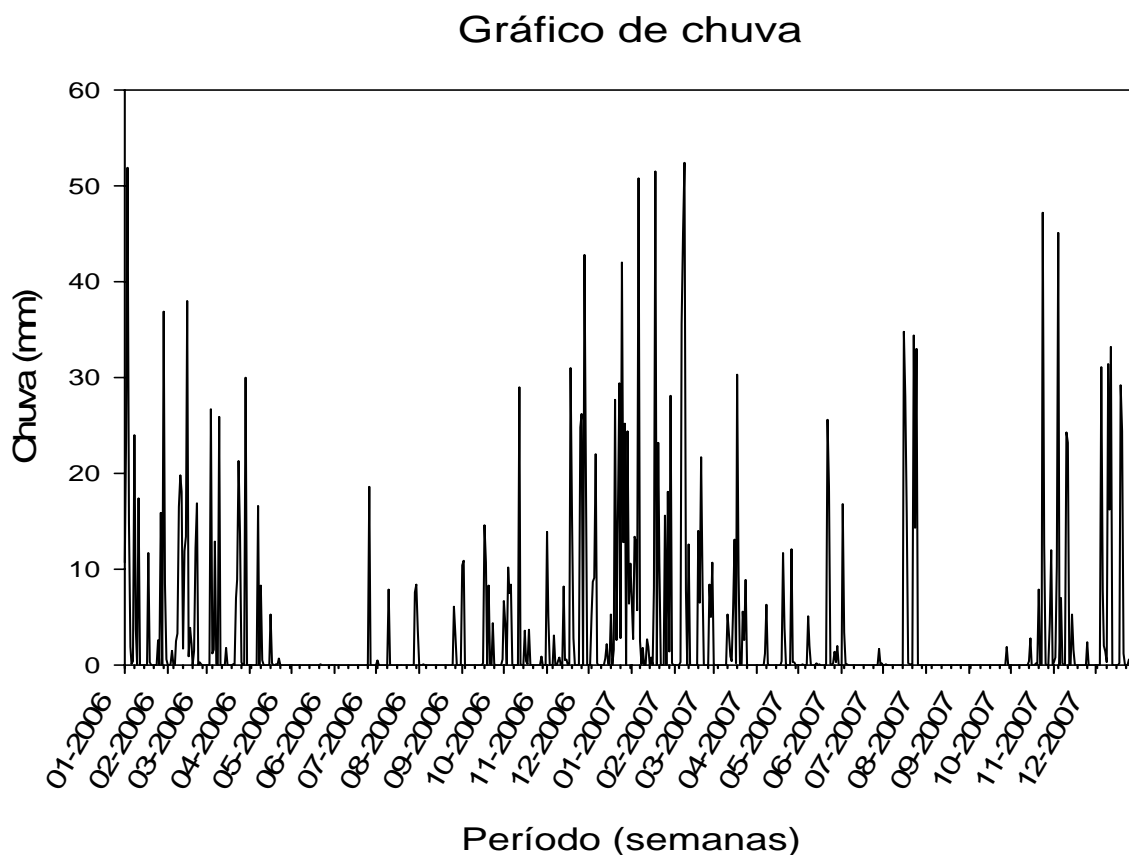


Figura 2 - Gráfico de chuva da estação automática da ESALQ

No gráfico das chuvas (Figura 2) podemos ver a distribuição das chuvas ao longo do período dos experimentos a campo. As chuvas são concentradas, principalmente no verão com vários picos de mais de 30 mm de chuva nestes períodos.

O ano de 2006 teve um total de 1214 mm de chuvas, sendo que estas foram concentradas no começo e final de ano. Os meses de janeiro e dezembro tiveram mais de 225 mm de chuvas

em cada mês, sendo que os meses fevereiro, março e novembro tiveram precipitações superiores a 150 mm. Durante os meses de maio até meados de setembro, a pluviosidade foi de 56 mm aproximadamente, sendo considerada muito baixa, típica da estação seca da região. No final de setembro e começo de outubro, as chuvas começam a se tornar mais frequentes e dão início a estação chuvosa.

Vale ressaltar que neste ano, no dia 29 de março houve na região um mini-ciclone. Neste dia a precipitação foi de 30 mm em menos de uma hora e os ventos de mais de 100 km.h⁻¹. Este evento chuvoso foi considerado como um evento extremo de baixa ocorrência.

Já o ano de 2007 teve um aumento na quantidade de chuvas, sendo que o total foi de 1237 mm. O mês de janeiro obteve destaque com a soma de 259 mm, e com dois picos com mais de 25 mm de chuva durante este período. As chuvas foram concentradas principalmente nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Uma alta precipitação foi registrada no meio do período seco da região, foi no mês de julho, onde o volume de chuva ultrapassou os 160 mm. O início das águas no ano de 2007 foi atrasado em comparação ao de 2006, começando em início de outubro.

No ano de 2007 percebe-se um aumento de picos de precipitações acima de 25 mm comparando com os dados do ano de 2006, estes picos além de serem em maior número são também maiores em volume de chuva durante o ano, principalmente nos períodos chuvosos.

2.2.3 Instalação do Experimento

O projeto foi dividido em dois experimentos (Foto 1 da Figura 3) instalados no mesmo solo (Nitossolo Vermelho distrófico latossólico, textura muito argilosa, A moderado), um com simulação da erosão e o outro sem a simulação da erosão. Cada experimento mede 96 m² subdividido em 16 parcelas, sendo que cada parcela possui 6 m².

Em uma das áreas, foi simulada a erosão pela raspagem do horizonte superficial (aproximadamente 50 cm) com uma pá carregadeira CASE W20B como apresentado nas Fotos 2 e 3 da Figura 3. Em outra, ao lado, foi mantido o solo no seu estado “natural” (sem remoção do horizonte superficial) sendo o experimento sem erosão (Foto 4 da Figura 3).



Foto 1 – Área selecionada



Foto 2 – Raspagem do solo (simulação erosão)



Foto 3 – Área raspada ao lado do controle



Foto 4 – Vista das duas áreas

Figura 3 - Fotos da montagem dos experimentos

Após a raspagem foi passado uma grade leve por cima das parcelas para facilitar a preparação da área com relação a incorporação de calcáreo e do composto orgânico e como etapa subsequente o plantio de Tremoço branco (*Lupinus albus L.*).

Na área onde há a simulação da erosão foi aplicado $2,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de calcáreo para a correção do V% a 60 %. Desta forma foram aplicados 1,5 kg por parcela e incorporados manualmente com enxadas a uma profundidade de aproximadamente 20 cm. Logo após foi realizada aplicação e incorporação do composto orgânico. As diferentes doses (0, 20, 40 e $100 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), foram aplicadas em suas parcelas respeitando a aleatorização da distribuição das doses na referidas parcelas.

2.2.4 Cronologia do Trabalho

As principais atividades desenvolvidas ao longo do desenvolvimento da dissertação e suas respectivas datas estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Cronologia do trabalho

Principais Atividades	Dia	Mês	Ano
Simulação da erosão.....	24	Fevereiro	
Coleta amostra 1.....	23 a 24	Março	
Incorporação Composto.....	11	Março	
Evento Extremo.....	29	Março	
Coleta amostra 2.....	1 a 7	Abril	2006
Plantio Tremoço branco.....	7	Abril	
Colheita Tremoço branco.....	1	Julho	
Coleta amostra 3.....	28 a	Novembro	
	8	Dezembro	
Plantio Crotalária juncea.....	22	Dezembro	
Colheita Crotalária juncea.....	13	Abril	
Coleta amostra 4.....	17 a 21	Abril	2007
Plantio Tremoço branco.....	26	Abril	
Colheita Tremoço branco.....	17	Dezembro	

2.2.5 Composto Orgânico

O composto foi produzido pelo grupo de pesquisa e extensão CEPARA (Centro de Pesquisa para o Aproveitamento de Resíduo Agroindustriais – ESALQ/USP), o qual utilizou os resíduos gerados no campus da USP em Piracicaba (campus Luiz de Queiroz). Estes resíduos consistiam em restos das podas do parque do campus e esterco produzido nos currais do Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP.

Utilizou-se o método de pilhas sem aeração forçada para a produção do composto, com revolvimento e irrigação periódica.

A análise química da qualidade do composto está em Anexo B.

2.2.6 Propriedades Físicas e Químicas do Solo

2.2.6.1 Análise Granulométrica

Inicialmente, após a simulação da erosão foram coletadas amostras deformadas nos dois experimentos para a determinação da granulometria do solo, para caracterizar a área em estudo. Estas análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP seguindo metodologia proposta por Camargo et al. (1986).

Para a determinação da granulometria dos horizontes amostrados utilizou-se o método do densímetro. Após agitação horizontal por 16 horas, foi feita a separação das frações granulométricas da TFSA (terra fina seca ao ar) pelo método do densímetro, utilizando-se como dispersante solução contendo hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio (CAMARGO et al., 1986). A sedimentação diferenciada dos materiais do solo, devido ao tamanho, permite estabelecer a velocidade com que a partícula decanta (Lei de Stokes). Com isso, pode-se medir a densidade da suspensão a cada intervalo de tempo pré-determinado relacionado ao tamanho das partículas. Por exemplo, partículas com 0,2 mm sedimentam em 40 segundos, partículas maiores são ainda mais rápidas, sendo assim, após esse intervalo de tempo não há mais areia em suspensão. Após duas horas a fração silte ($>0,002$ mm) também já não estará mais dispersa na água. A densidade lida aos 40 segundos será a do líquido + argila dispersa + silte, após duas horas será a densidade do líquido + argila dispersa. Sabendo-se a massa de solo dispersa na solução (50g) e a densidade do líquido, é possível estabelecer a contribuição de cada fração granulométrica para a suspensão.

2.2.6.2 Densidade do Solo

Para a determinação da densidade do solo, foram utilizados cilindros de 100 cm^3 que foram secos em estufa a 105°C por 24 horas para a determinação da massa seca do solo. A densidade do solo foi determinada relacionando massa seca e o volume de cada amostra.

2.2.6.3 Micromorfologia e Distribuição de Poros no Solo por Análise de Imagens

Amostras indeformadas para análise micromorfológica e de imagens foram coletadas nas parcelas dos dois experimentos. Para essa coleta foi escavada uma mini-trincheira em cada parcela coletada de 0,30 x 0,30 x 0,40 m. Foi esculpido no solo o formato da caixa de papel cartão de 120 x 70 x 40 mm, o qual utilizou-se para coletar a amostra sem deformá-la. As amostras foram identificadas e orientadas em direção a superfície do solo (norte).

Estas amostras foram levadas ao laboratório para serem secadas ao ar por 15 dias. Após este período foram levadas a estufa a 40°C com ventilação forçada por 48 horas. Uma vez secas, as amostras foram postas em potes plástico (Foto 6 da Figura 4) individualmente e acondicionadas em dessecadores (Fotos 5 da Figura 4) ligados a uma bomba de vácuo para facilitar a penetração da solução para a impregnação conforme Castro et al. (2003).

A solução para a impregnação das amostras era composta por uma parte de resina de poliéster “cristal” segundo metodologia apresentada por Murphy (1986) e uma parte de monômero de estireno. O monômero é utilizado para reduzir a viscosidade da resina (CASTRO et al., 2003) e assim facilitar a penetração da solução na amostra coletada. Além disso, foi adicionado um pigmento fluorescente Uvitex OB (Ciba-Geigy®) (MURPHY; BULLOCK; TURNER, 1977), na proporção de 5 kg misturados a 1 m³ de monômero, sobre o qual também foi adicionada a resina e também um catalisador para controle do endurecimento da solução (RINGROSE-VOASE, 1991), neste caso, peróxido orgânico (Butanox M50,) em 4 gotas por 10⁻³ m³ de solução.

Com a solução pronta, colocaram-se pequenas doses desta solução nos potes plásticos e ligado o vácuo por 30 minutos, sendo retiradas as amostras novamente e adicionado mais uma dose de solução, retornando ao vácuo e assim sucessivamente até a amostra estar coberta pela solução. O período em que amostra permanecia no vácuo era de no mínimo 24 horas (RINGROSE-VOASE, 1991).

Depois de endurecidos, os blocos impregnados foram cortados em 3 partes usando uma serra de diamante. Estes blocos cortados (Fotos 7 e 8 da Figura 4) foram lixados com o auxílio de um disco rotatório e um material abrasivo o carbureto de silício preto, de granulação mais grosseira (220mesh, com grãos de 53-62µm) e polidas com um disco rotatório e carbureto de silício verde, mais fino (600mesh, grãos de 18-22µm), mantendo a amostra sempre úmida em

contato com o material abrasivo. Após serem lixados e polidos estes blocos foram utilizados para estudos de análise de imagens no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, onde sob luz ultravioleta e em ambiente escuro, o espaço poroso (mais claro) foi destacado da matriz do solo (mais escura) pelo pigmento fluorescente utilizado.

Dois blocos por tratamento foram utilizados para a aquisição das imagens que foram obtidas por uma câmera digital em cores (Sony[®], modelo DFW-X700), em sistema “charged couple device” (CCD), conectada a uma lupa com polarizador (Zeiss[®]). As imagens foram digitalizadas em 1024x768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento de 10x, igualando um pixel a 156,25 μm^2 . A identificação dos poros na imagem foi feita através das macros desenvolvidas no software Noesis[®] Visilog 5.4.

O processo de classificação e quantificação da porosidade total, foi realizado seguindo os critérios definidos por Cooper (1999) e otimizado por macros desenvolvidas em linguagem Visual Basic no Microsoft[®] Excel (JUHÁSZ, 2006).



Foto 5 – Capela para impregnação das amostras



Foto 6 – Amostra sendo impregnada



Foto 7 – Amostras já impregnadas e cortadas



Foto 8 – Amostras já impregnadas e cortadas

Figura 4 - Fotos do processo de impregnação das amostras

2.2.6.4 Análise Química do Solo

As amostragens para as análises químicas, foram realizadas em três períodos. O primeiro período consistiu antes da instalação do experimento, para realizar um reconhecimento da área a ser estudada e poder corrigir o V% antes dos plantios das culturas, para isso foram coletadas amostras de três profundidade: 0 – 0,2; 0,4 – 0,6 e 0,6 – 0,8 m. Logo após instalado o experimento foi realizado uma coleta de amostras para análise química no período referente a coleta 2, esta consistia no período após a incorporação do composto. Uma outra coleta foi realizada para analisar a evolução da recuperação química do solo, esta foi realizada na coleta 4, após a colheita da Crotalaria juncea. Tanto na coleta 2 como na coleta 4, as amostras foram coletadas na profundidade de 0 – 0,12 m.

Estas análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

2.2.6.4.1 Determinação do pH em CaCl_2 0,01mol L⁻¹

Este método irá fornecer a medida da atividade de hidrogênio (H^+) com eletrodo de vidro e referência, na suspensão de terra em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹.

O preparo da solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ consistiu em dissolver 1,47 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em água destilada ou deionizada, diluindo em 1000 mL em balão volumétrico e agitando. Deve-se ajustar o pH da solução entre 5,0 a 6,5 usando quando necessário $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a 0,1% ou HCl 0,1 mol L⁻¹.

O procedimento analítico consistiu em transferir 10 cm³ de terra para frasco plástico, adicionar 25 mL da solução de CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ e agitar a suspensão por 5 minutos. Após o repouso de 30 minutos, foi realizada a leitura.

Cálculo: valor direto da Leitura.

2.2.6.4.2 Determinação do pH em Água e pH em KCl 1N

Para a determinação de pH em água e pH em KCl 1N, deve-se simplesmente substituir as soluções utilizadas, seguindo-se o mesmo procedimento descrito para o pH em CaCl_2 .

Cálculo: valor direto da Leitura.

2.2.6.4.3 Determinação da Acidez Potencial

Após a leitura do pH em CaCl_2 , adicionar 5 mL da solução tampão SMP. Agitar a suspensão por 15 minutos e deixar de repouso por 1 hora. Logo em seguida fazer a leitura.

Esse método tem por princípio pôr a acidez da amostra de terra em contato com a solução tampão SMP, que provocará um decréscimo do valor original do pH da solução.

Cálculo: $23504 \times \text{Exp}^{(-1,0537 \times \text{Leitura})}$.

2.2.6.4.4 Determinação de Alumínio Trocável

O procedimento para a determinação do alumínio trocável consta na adição de 5 cm^3 de terra, 50 mL de $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e agitar por 10 minutos. Logo após, filtrar a solução (deixar decantar durante a noite) e retirar uma alíquota de 25 mL do filtrado e transferir para outro erlenmeyer para a titulação com solução padronizada de $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$ e adição de 3 gotas de fenolftaleína (observar o ponto de viragem, cor rosa).

Cálculo: Leitura x 10.

2.2.6.4.5 Determinação da Matéria Orgânica

Para a determinação da matéria orgânica, transferiu 1 cm^3 de terra, adicionou 10 mL da solução de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4N em H_2SO_4 10N. Agitou por 15 minutos e deixou em repouso por 1 hora. Logo a seguir adicionou 50 mL de água deionizada e agitou novamente com o auxílio de um bastonete de vidro. Deixou agora em repouso por 12 horas (uma noite). No dia seguinte, transferiu o líquido sobrenadante para o tubo de colorímetro com filtro de transmissão máxima de 650 nm e realizou-se a leitura.

Cálculo: Leitura x 0,093 x 10.

2.2.6.4.6 Determinação do Potássio – Mehlich 1

Para determinação do potássio, é adicionado ao frasco plástico 2,5 cm³ de terra e 25 mL da solução Mehlich 1. Agitou-se por 5 minutos. Logo após retirou-se uma alíquota de 10 mL para tubo de ensaio e encaminhados para leitura no fotômetro de chama.

Cálculo: $((0,1996 \times \text{Leitura} + 0,0274) \times 10) / 39,1$.

2.2.6.4.7 Extração de Cálcio, Magnésio e Fósforo

Foi usado para esta extração o método da resina proposto por Raij et al., (1987). Esse método foi desenvolvido especialmente para a extração de fósforo. No entanto, a mistura de resina catiônica com resina aniônica favorece a extração do fósforo e permite, também, a extração dos elementos catiônicos absorvidos em concentrações maiores pelas plantas (Ca^{2+} , Mg^{2+}), adsorvidos à fração coloidal do solo.

Foi adicionada a um frasco plástico 2,5 cm³ de terra, 25 mL de água deionizada e 1 bolinha de vidro. Agitou-se por 15 minutos e em seguida retirou-se a bolinha de vidro e acrescentou 2,5 cm³ de resina e novamente colocado para agitar por 16 horas.

2.2.6.4.8 Determinação do Cálcio e Magnésio

O cálcio e o magnésio são determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Para a calibração das leituras do aparelho são feitas as leituras das soluções padronizadas para a construção da reta de absorbância em função da concentração dos elementos. Com isso é determinado o fator de conversão entre a leitura dada pelo aparelho de absorção atômica e a concentração do elemento no solo.

Para o cálcio e o magnésio, foi transferida uma alíquota de 1 mL do extrato da resina para tubo de ensaio, sendo acrescentado 10 mL da solução de óxido de lantânio a 0,1% e agitado. Estando pronta para a leitura.

Cálculo: $\text{Leitura} \times 10$.

2.2.6.4.9 Determinação do Fósforo

A determinação do fósforo é feita através do método da colorimetria. A adição de solução ácida de molibdato contendo íons ortofosfatos forma um complexo fosfomolibdico, que pode ser reduzido por ácido ascórbico a um composto azul. Quanto maior a concentração de fósforo na solução, maior será a intensidade da coloração azul. Obtendo-se a reta através da leitura das soluções padrões, pode-se determinar o fator de conversão das leituras feitas nos extratos.

O procedimento analítico consistiu em diluir 4 mL do extrato da resina com 16 mL da solução diluída de molibdato de amônio. Agitar e colocar em repouso por 30 minutos e em seguida realizar a leitura em colorímetro a 660 nm.

Cálculo: Leitura x 0,35.

2.2.6.4.10 Determinação do Enxofre

A determinação do enxofre, foi realizada através da transferência de 10 cm³ de terra, 25 mL de fosfato monocálcico e 0,25 g de carvão ativado em um erlenmeyer de 125 mL.

Agitou-se por 30 minutos e depois filtrou essa solução em papel de filtro. Retirou-se uma alíquota de 10 mL, adicionou 1 mL de solução ácida e um cachimbo de cloreto de bário, sendo agitado e logo em seguida realizado a leitura no colorímetro.

Cálculo: 116,28 x (Leitura - 0,045).

2.2.6.4.11 Determinação de Fe, Mn, Cu e Zn

A extração dos micronutrientes, foi realizada através da transferência de 10 cm³ de terra e adição de 20 mL da solução DTPA e agitou por 2 horas. Em seguida filtrou a solução em papel de filtro faixa azul durante uma noite.

A leitura foi realizada direto do extrato obtido, sendo feita uma por uma e calibrando o equipamento para cada solução padrão.

Cálculo: Leitura x 2.

2.2.7 Propriedades Físico-hídricas

2.2.7.1 Curvas de Retenção de Água no Solo

Amostras indeformadas foram coletadas em cilindros de 100 cm³ para a obtenção de curvas características de retenção de água no solo. As amostras foram saturadas e foi determinada a umidade do solo em nove pontos de potencial matricial. Os potenciais matriciais de 1, 3, 5, 8 e 10 kPa foram determinados com o uso de painéis de tensão preenchidas com areia de granulometria conhecida e constante, e os potenciais de 33, 100, 500 e 1500 kPa foram determinados em câmaras de pressão de Richards no laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ-USP, segundo metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Seguindo esses procedimentos foi possível correlacionar os potenciais matriciais e suas respectivas umidades para os horizontes. Desta forma foram construídas as curvas de retenção de água no solo onde o eixo do potencial matricial é dado em pF, cujo antilogaritmo corresponde ao potencial em cca (cm de coluna d'água).

O ajuste das curvas de retenção foi feito para o modelo de Van Genuchten (1980), a partir do software SWRC, versão 2.00 (DOURADO NETO et al., 2000).

2.2.7.2 Condutividade Hidráulica

Para medir a infiltração de água no solo, foi utilizado o infiltrômetro de disco (Foto 9 da Figura 5) que foi apresentado por Perroux e White (1988).

Nas Fotos 11 e 12 da Figura 5 observam-se os locais das leituras, estes locais encontram-se com uma quantidade pequena de areia fina. Esta areia é utilizada para aplainar a superfície do solo, já que não se podiam romper as crostas superficiais e também para facilitar a colocação do infiltrômetro (Foto 10 da Figura 5). Com isso cria-se um maior contato entre a placa porosa e o solo.

Três potenciais foram aplicados durante as medidas de infiltração: -1,0 – -3,5 e -10 cm. Uma descrição detalhada do aparelho e do seu modo de funcionamento é dada por Ghiberto (1999).

O protocolo de cálculo utilizado neste trabalho é apresentado por Ankeny et al. (1991) que se baseia na equação do Wooding (1968). Este protocolo é simplificado utilizando as medidas obtidas com o infiltrômetro com um disco somente. Mas este protocolo simplificado só permite estimar a condutividade hidráulica $K(\Psi)$.



Foto 9 - Infiltrômetro de disco



Foto 10 - Detalhe do contato aparelho - solo



Foto 11 – Leitura da infiltração nos pontos com areia Foto 12 - Leitura da infiltração nos pontos com areia

Figura 5 - Fotos dos experimentos e locais de medição da infiltração

2.2.8 Plantios das Culturas do Tremoço Branco e Crotalária Juncea

Foram realizados três plantios ao longo do experimento de campo, para acompanhar a evolução da recuperação do solo. O primeiro plantio foi da cultura do Tremoço branco (*Lupinus albus* L.), que foi realizado em 07/04/2006, o segundo plantio foi da cultura da Crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) realizado no dia 22/12/2006 e o terceiro foi novamente a cultura do Tremoço branco no dia 26/04/07. Os plantios foram idênticos para os dois tratamentos. Os espaçamentos foram iguais para todos os plantios, para se evitar a destruição da crosta na entre linha de plantio.

O espaçamento utilizado foi de 0,4 m entre linhas e 10 sementes por metro linear com a profundidade de plantio de 2-3 cm (Fotos de 13 a 24 da Figura 6).

Durante os dias em que as culturas estavam no campo, foi realizado o arranquio das plantas daninhas manualmente para evitar o mato-competição, também foi realizada a irrigação da cultura do Tremoço durante a época seca. Esta irrigação era realizada com mangueira de borracha e era apenas irrigada a linha de plantio, a fim de evitar a formação de crostas superficiais que não fossem naturais e aproveitando melhor a água (Fotos 17 e 18 da Figura 6).

As colheitas dos materiais vegetais foram realizadas nos dias 01/07/06 para o primeiro plantio, 13/04/07 para o segundo plantio e 17/12/07 para o terceiro. Foi apenas retirada a parte aérea das culturas e separada da bordadura de cada parcela. A partir do dia da colheita o material vegetal era logo colocado em estufa a 60 °C por 30 dias (sendo monitorada a perda de peso, ao se manter constante foi pesado para obtenção da matéria seca).



Foto 13 – Vista tremoço branco experimento sem erosão



Foto 14 – Vista tremoço branco experimento com erosão



Foto 15 - Vista tremoço branco experimento sem erosão



Foto 16 - Vista tremoço branco experimento com erosão

Figura 6 - Fotos dos experimentos



Foto 17 – Irrigação na linha de plantio da cultura do trevoço



Foto 18– Irrigação linha de plantio da cultura do trevoço



Foto 19 - Vista da cultura da Crotalaria nos dois experimentos



Foto 20 - Experimento sem erosão (Crotalaria)



Foto 21 - Crotalaria juncea - experimento com erosão e sem erosão (ao fundo)



Foto 22 - Vista dos dois experimentos antes da colheita da Crotalaria juncea

Figura 6 - Fotos dos experimentos



Foto 23 - Experimento com erosão e ao fundo sem erosão (Tremoço branco)



Foto 24 - Experimento sem erosão (esquerda) e com erosão (direita) (Tremoço branco)

Figura 6 - Fotos dos experimentos

2.2.9 Estatística

O delineamento experimental utilizado para cada experimento (Sem e Com erosão) é o inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos consistem nas doses de 0, 20, 40 e 100 Mg.ha⁻¹ de composto orgânico com quatro repetições.

Foram analisados os dados de matéria orgânica, porosidade, condutividade hidráulica e matéria seca das culturas.

Na Tabela 2 temos os coeficientes de variação para a análise individual de cada experimento assim como para a análise em conjunto entre os experimentos. A posição de cada dose de composto aplicado no campo após a aleatorização está representada no croqui da área representado pela Figura 7.

Tabela 2 - Coeficiente de variação para cada experimento e entre os experimentos

C.V.	G.L.
Doses	3
Resíduo	12
Total	15

Análise conjunta dos experimentos

C.V.	G.L.
Experimento	1
Doses	3
Experimento x Doses	3
Resíduo	24
Total	31

Experimento Com erosão								Experimento Sem erosão							
40	100	0	20	100	0	20	40	100	0	20	40	0	100	20	40
0	100	40	20	40	20	100	0	100	40	20	0	100	0	20	40

Figura 7 - Croqui da área

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Caracterização Química

A Tabela 3 contém os valores médios dos elementos analisados na primeira, segunda e quarta coleta de amostras. Na primeira coleta, o resultado da análise química (Tabela 3) mostra um solo com uma boa fertilidade na camada superficial de 0 – 0,2 m para todos os itens analisados, onde apresenta um V% de 67,8 %, 3,1 mg.dm⁻³ de matéria orgânica e 79,9 mmol dm³

de soma de bases. Nas camadas subseqüentes, há uma redução no valor da soma de bases, matéria orgânica e no V% e um aumento na saturação por alumínio.

Na coleta 2 e 4 houve uma melhoria considerável nos teores dos elementos analisados após a aplicação do composto nas parcelas e nos experimentos. Comparando estas duas coletas, nota-se um aumento gradativo nos valores de matéria orgânica do solo, tanto no experimento sem e com erosão assim como entre as doses, onde verifica-se que quanto maior a dose de composto orgânico, maior o conteúdo de matéria orgânica. Comportamento semelhante verificou-se nos elementos fósforo, potássio, cálcio e magnésio, onde esta tendência de aumento nos teores destes elementos foi verificada entre os experimentos e entre as doses. Em consequência disto, os valores de V% e de CTC também sofreram um aumento natural ao longo do tempo analisado. Diferentemente, os valores de m% e de Al decaíram na segunda coleta quando comparado com a primeira coleta, mas sofreram um ligeiro aumento em seus valores na quarta coleta. O valor de pH se manteve em boas condições durante todo o experimento, variando de 5,7 a 6,6, sendo valores maiores do que os da primeira coleta que caracterizavam a área antes da implantação do projeto.

Tabela 3 - Análise química – Média dos valores dos elementos

		Coleta 1									
Profundidade (m)		pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	V%	m%	CTC
			----- mg.dm ⁻³ -----		-----mmolcdm ⁻³ -----				-----%-----		mmolcdm ⁻³
	0 - 0,2	6,1	30.7	8.1	9.7	11,0	8,0	1.0	43.1	3.4	66.7
	0,4 - 0,6	4,6	14.9	3.9	1.9	16,0	11,0	6.3	31.0	17.9	93.3
	0,6 - 0,8	4,5	14.0	2.5	1.9	39,0	19,0	10.3	48.2	14.7	124.3
		Coleta 2									
Doses (Mgha ⁻¹)		pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	V%	m%	CTC
Sem erosão	0	5.8	18.4	15.2	2.5	21.5	7.8	0.8	41.1	2.5	77.4
	20	6.3	23.9	63.8	6.3	29.8	10.8	0.6	58.4	1.4	79.8
	40	6.3	23.7	47.2	6.5	37.1	18.0	0.8	64.7	1.4	93.7
	100	6.2	29.8	175.4	10.0	48.8	16.5	0.7	67.6	1.0	109.8
Com erosão	0	6.0	14.0	5,5	0.8	40.9	4.0	0.7	51.8	1.7	87.0
	20	5.9	18.4	32,8	4.0	38.8	7.3	0.7	52.2	1.5	93.2
	40	6.6	21.4	78,3	5.8	59.6	9.8	0.7	72.2	0.9	102.2
	100	6.1	25.3	138,2	5.5	45.7	11.5	0.8	60.4	1.7	100.7
		Coleta 4									
Sem erosão	0	6.0	29.3	12.2	9.6	23.7	11.0	1.4	50.2	3.1	87.9
	20	6.5	35.6	64.1	11.4	40.0	18.7	1.4	65.2	2.2	104.9
	40	6.2	34.1	57.1	11.9	39.2	20.4	1.4	68.1	2.1	104.3
	100	6.4	40.5	110.3	16.8	44.5	18.8	1.0	69.6	1.3	114.6
Com erosão	0	5.7	27.4	8.7	3.8	30.8	9.1	0.8	50.6	2.0	85.4
	20	6.1	32.8	47.3	7.9	37.6	9.3	1.0	56.3	2.0	95.7
	40	6.2	31.2	26.6	8.6	34.8	9.5	0.9	58.4	1.7	90.2
	100	6.1	39.8	78.8	9.7	48.4	16.0	0.9	62.9	1.2	118.0

Realizou-se uma comparação de médias dos valores de matéria orgânica da segunda e quarta coleta, dentro de cada experimento entre as doses de composto (0, 20, 40 e 100 Mg.ha⁻¹) e entre cada experimento (Sem e Com erosão), representados nas Tabelas dos Anexos C e D.

Dentro da segunda coleta, no experimento sem erosão, a dose de 0 Mg.ha⁻¹ obteve o menor valor de matéria orgânica no solo, seguido pelas doses de 40 e 20 Mg.ha⁻¹ que tiveram pouca diferença no teor deste elemento. Já a dose de 100 Mg.ha⁻¹ obteve o maior valor de matéria orgânica no solo. Para o teste de médias, todas as doses de composto aplicadas não apresentaram diferenças estatísticas com relação ao incremento de matéria orgânica no solo. Da mesma forma, no experimento com erosão as doses de composto orgânico aplicada não obtiveram diferença estatística nos valores de matéria orgânica. Apesar de apresentar um aumento neste valor à medida que aumentamos a dose do composto aplicado.

Os valores de matéria orgânica no experimento sem erosão foram superiores aos valores do experimento com erosão, comparando entres as mesmas doses, mas também não foi significativa a interação entre os dois experimentos em relação aos valores de matéria orgânica no solo.

Na quarta coleta, assim como na segunda, há uma tendência de aumento no teor de matéria orgânica do solo para ambos os experimentos, a medida que aumentamos a dose de composto orgânico aplicado. Esse aumento não representa diferença estatística quando avaliados pelo teste de médias.

De maneira geral houve um aumento nos valores absolutos de matéria orgânica entre as coletas. Para todos os experimentos os valores absolutos mostram esta tendência de acréscimo de matéria orgânica no solo ao longo do tempo em todas as doses de composto. Apesar de não ter apresentado diferença estatística nos valores de matéria orgânica das coletas, as pequenas diferenças das doses e dos experimentos, contribuíram para o avanço da recuperação do solo quanto a produtividade de matéria seca das culturas plantadas assim como na retenção de água no solo, como veremos nos resultados posteriores.

2.3.2 Micromorfologia e Análise de Imagens

A análise de imagens realizada quantifica os macro e mesoporos. Conforme a classificação de Bullock et al. (1985), os mesoporos possuem diâmetros entre 50 a 500 μm e os macroporos, de 500 a 5000 μm .

As Figuras 8 a 14 apresentam os resultados da quantificação da porosidade de cada dose de composto orgânico aplicada em cada experimento e em cada coleta. As imagens representativas destes resultados são apresentadas através de fotos digitais binarizadas.

A Figura 8 apresenta os resultados da análise de imagens da primeira coleta de amostras realizada com a finalidade de caracterizar a área.

No início dos experimentos a porosidade total era baixa, sendo de apenas 8% no experimento sem erosão e de 7% no experimento com erosão. Essa baixa porosidade é bem representada pelas fotos binarizadas, onde em branco temos a porosidade e em preto a fase sólida do solo. Nos dois experimentos, sem e com erosão, há um predomínio dos poros arredondados. Observa-se um número um pouco maior de poros do tipo alongados e complexos no experimento sem erosão em comparação com o outro experimento.

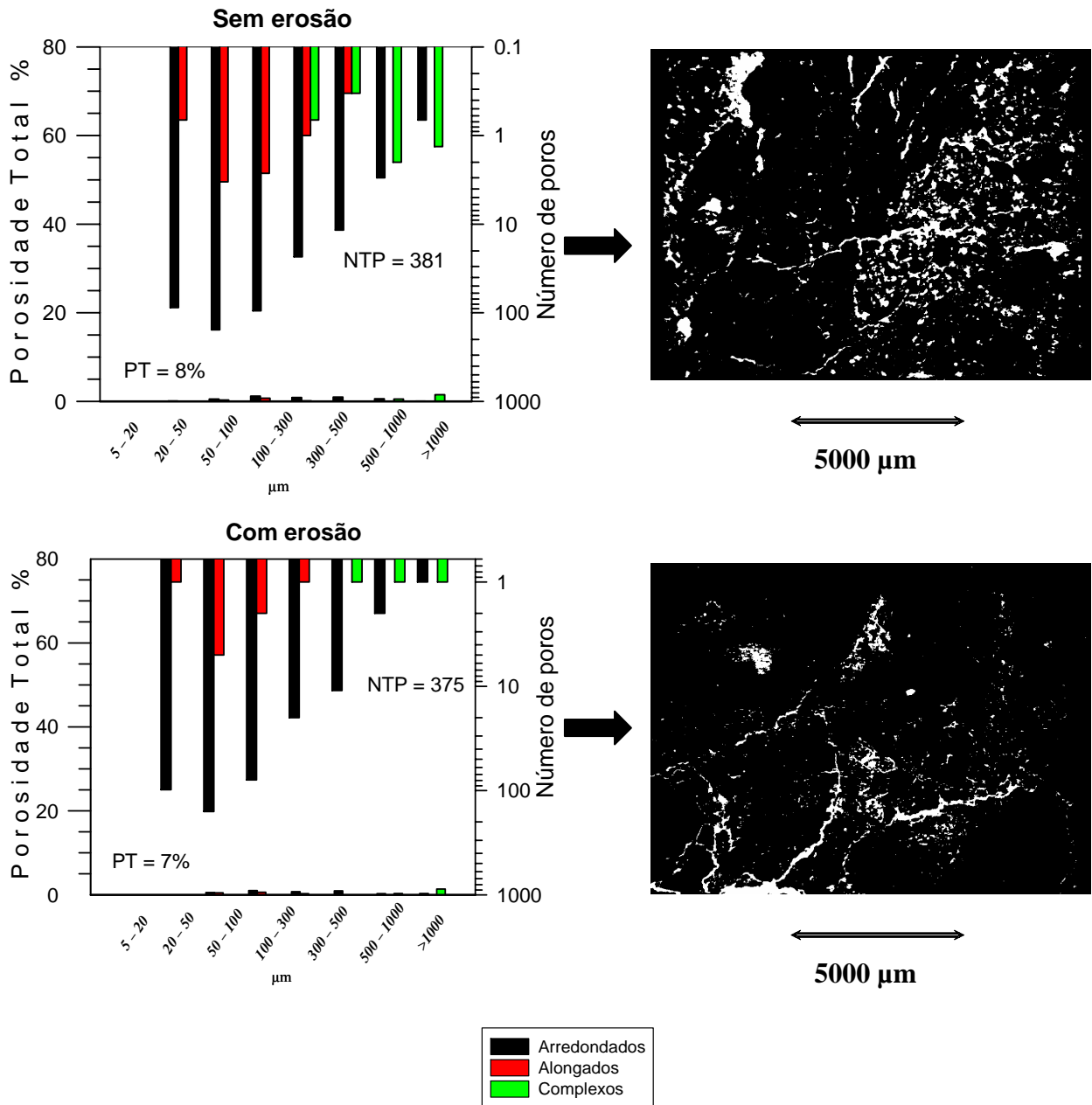


Figura 8 – Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros dos experimentos sem e com erosão. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

Nas figuras subsequentes, apresentam-se dois gráficos e duas fotos binarizadas para a representação do efeito de cada dose de composto (tratamento), sendo denominadas A e B. Esta denominação foi estipulada para diferenciar o topo da amostra que poderia ou não conter a crosta superficial (A) e a parte inferior da amostra (B) que representa o solo sem a influência da crosta.

As Figuras 9 e 10 representam os resultados da análise de imagens da segunda coleta. Infelizmente em função de problemas durante o processo de impregnação algumas amostras foram perdidas e conseqüentemente os dados não serão apresentados.

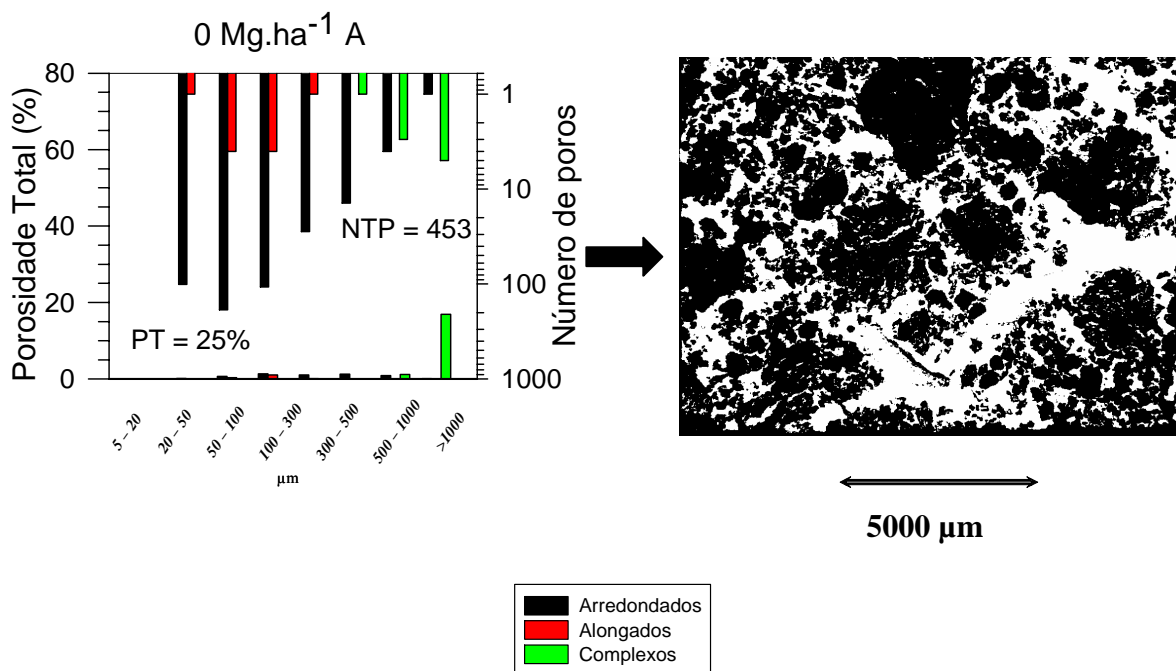


Figura 9 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 2. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

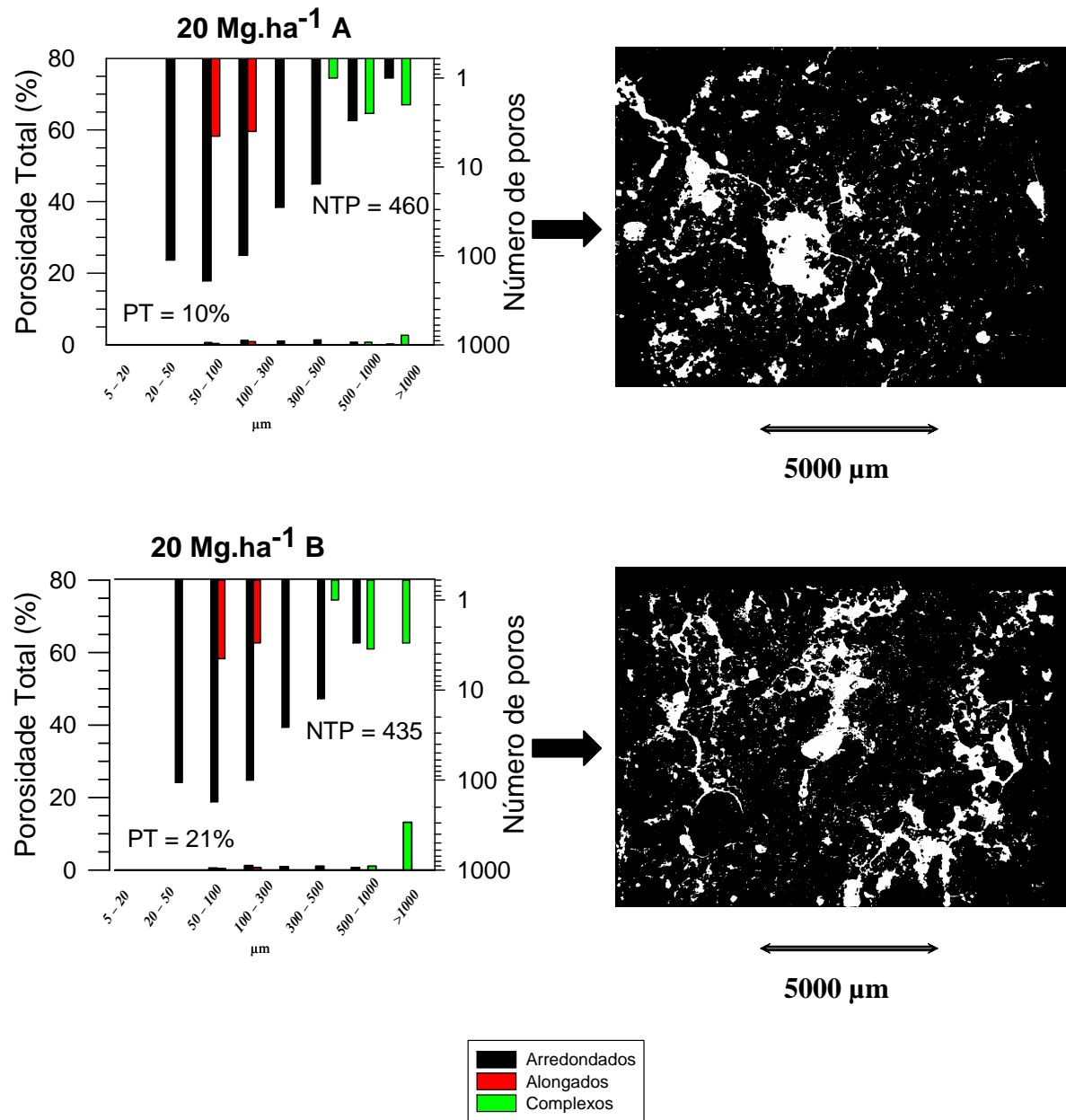


Figura 9 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 2. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

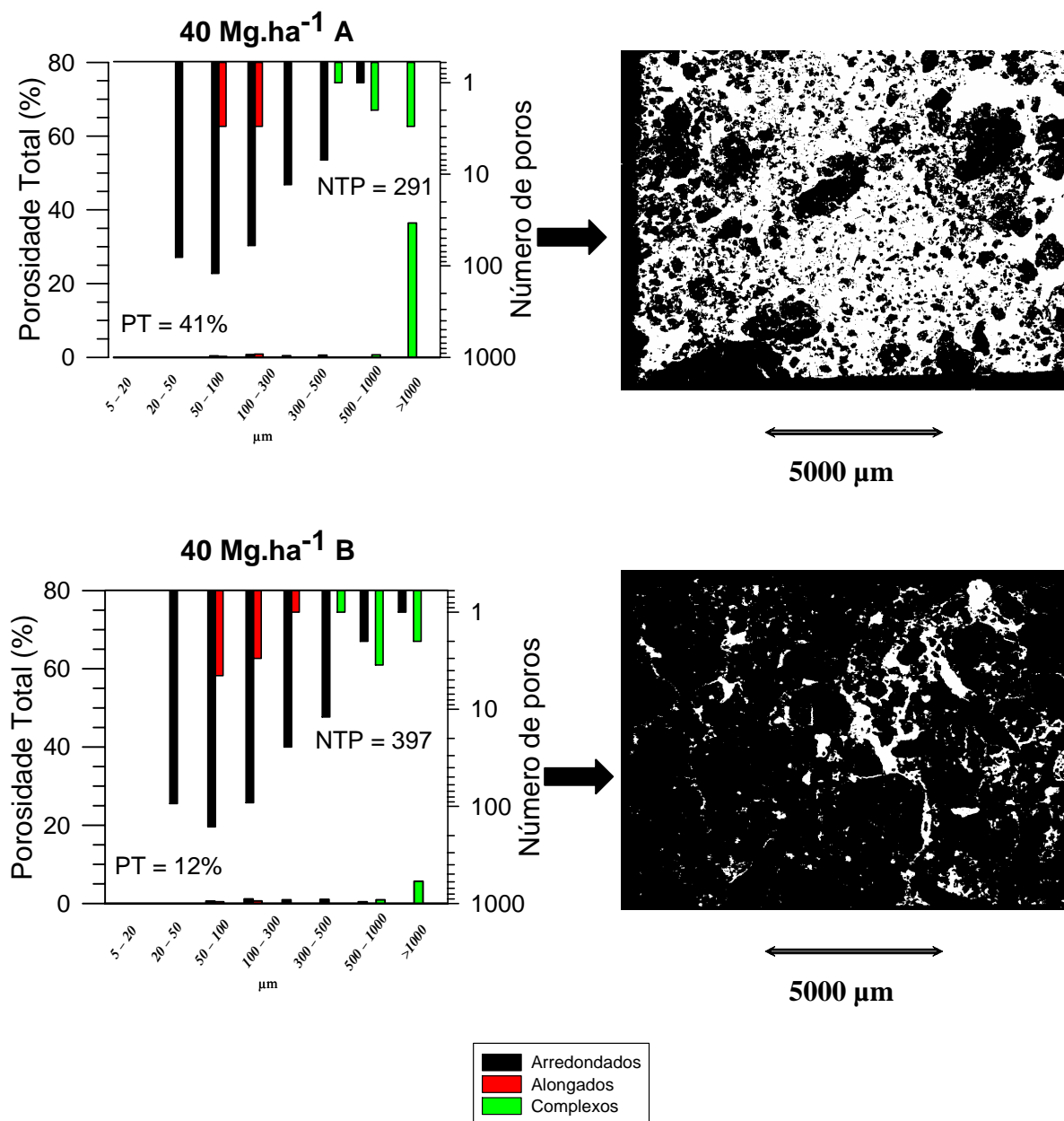


Figura 9 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 2. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

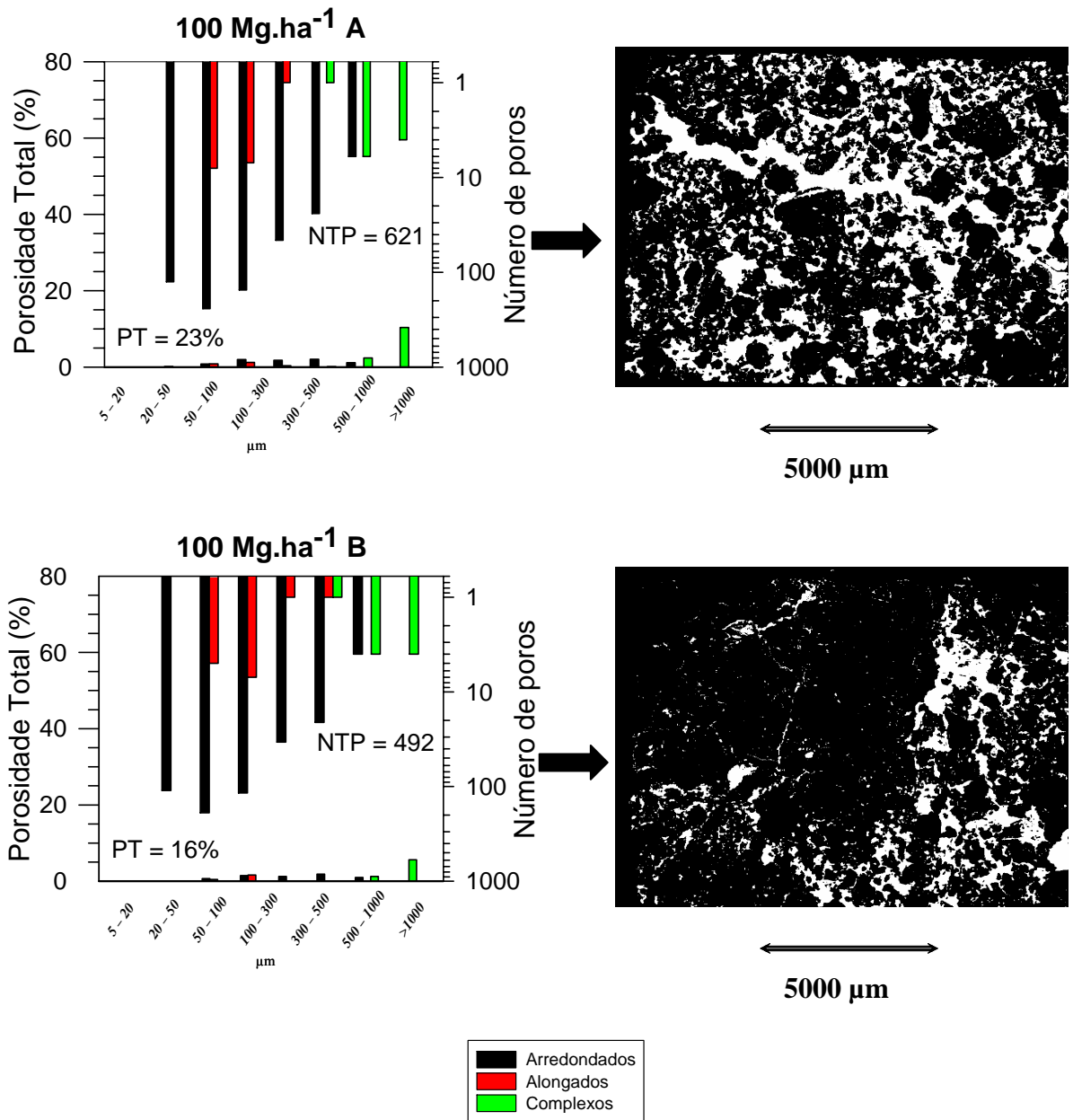


Figura 9 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 2. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

Existe uma grande variabilidade na porosidade na segunda coleta do experimento sem erosão (Figura 9), justificada pela recente incorporação do composto nas parcelas. No gráfico da dose de 0 Mg.ha⁻¹ A existe um predomínio dos poros do tipo complexo, conferindo as parcelas desta dose uma porosidade total de 25%. A foto binarizada mostra este predomínio dos poros complexos. A dose de 20 Mg.ha⁻¹ foi a que obteve a menor porosidade na porção A da amostra, com o predomínio de poros arredondados. Já na porção B, este predomínio passa a ser dos poros complexos, que colaboram no aumento da porosidade, visível nas fotos. Pela foto e pelo gráfico observamos que a dose de 40 Mg.ha⁻¹ possui uma porosidade total de 41 % no A, muito em função do predomínio de poros do tipo complexo que contribuem com quase 40 % da área total de poros. Esta porosidade se reduz bastante no B, chegando a 12%, isso pela redução do predomínio dos poros complexos e pela diminuição do número de poros totais. Este contraste na redução da porosidade fica bem demonstrado nas fotos das amostras desta dose.

Na dose de 100 Mg.ha⁻¹ a porosidade nas porções A e B da amostra são, respectivamente, de 23 e 16 %. Nota-se uma redução na porosidade e na quantidade de poros. A participação dos poros complexos é maior em A do que no B, mas em ambos é este tipo de poro que predomina.

A Figura 10 apresenta os resultados da análise de imagem da segunda coleta do experimento com erosão.

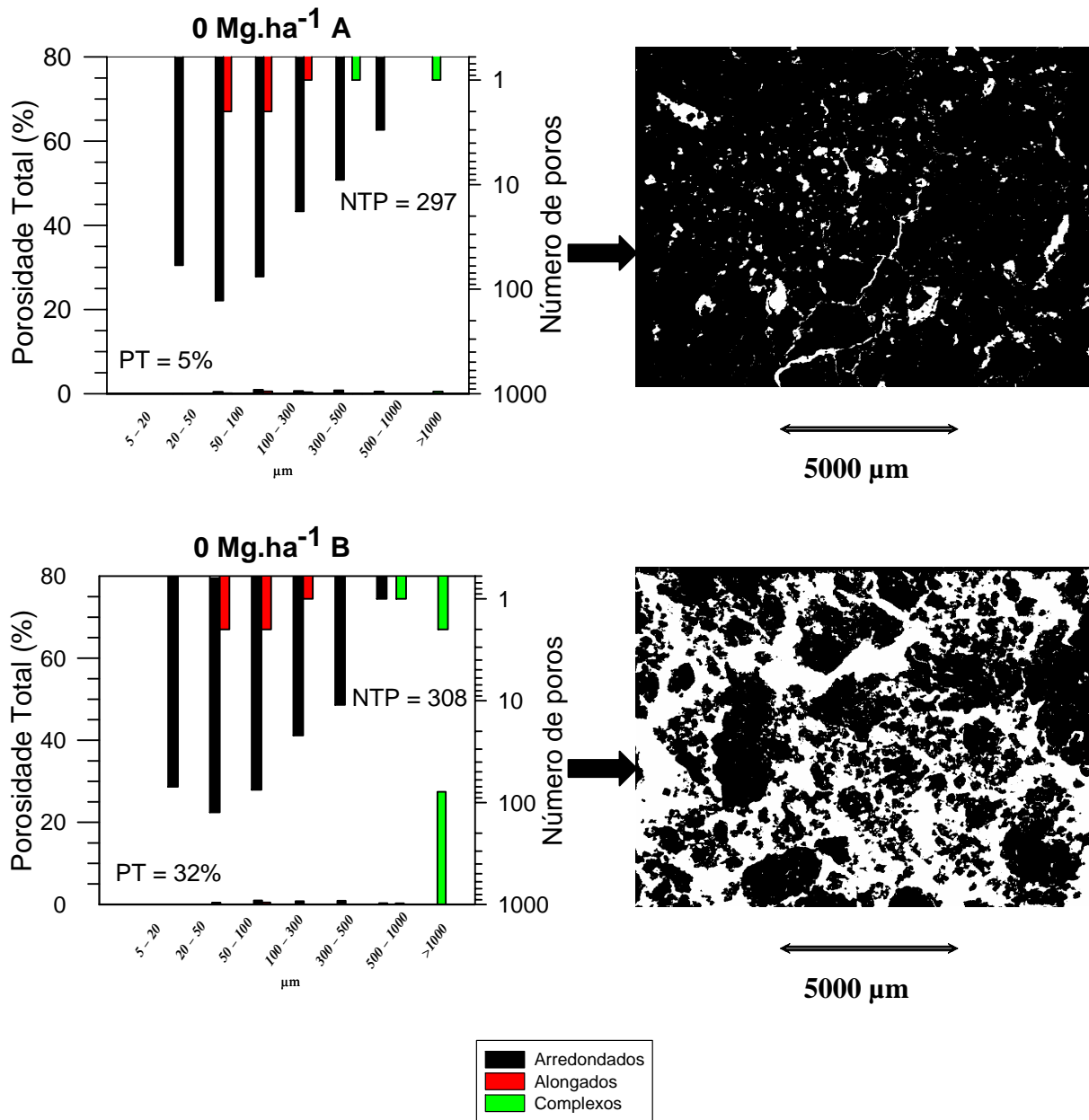


Figura 10 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 2. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

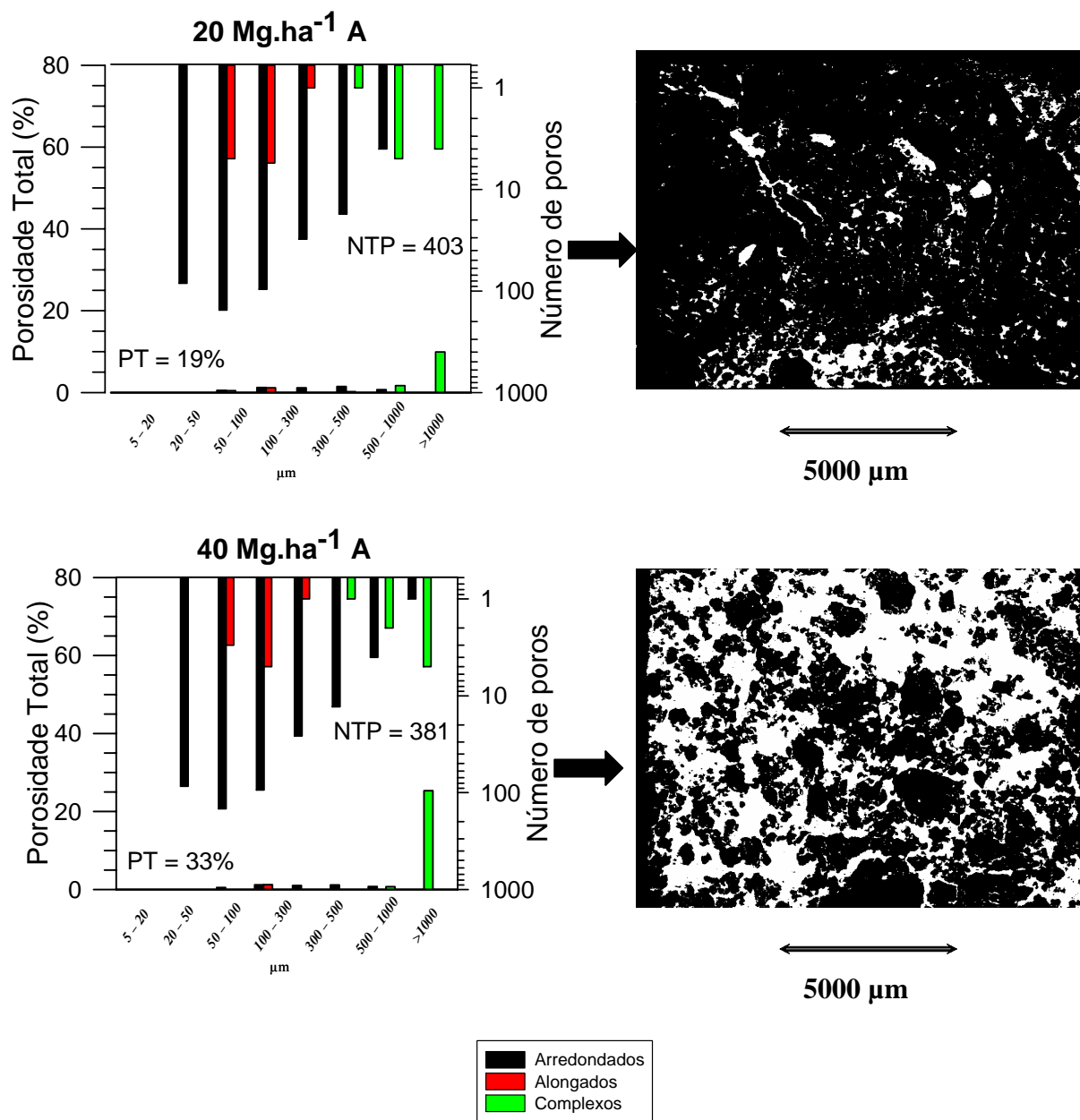


Figura 10 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 2. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

Repetindo o observado no experimento sem erosão, no experimento com erosão ocorreu também uma alta variabilidade na porosidade. Este fenômeno foi devido também à incorporação do composto que foi realizado na mesma data.

Na parte A da amostra representativa da dose de 0 Mg.ha⁻¹ a porosidade total é de apenas 5%, onde dominam os poros do tipo arredondados. Percebe-se pela foto que o número de poros totais também é baixa, sendo este número de 297 poros. Uma inversão na predominância dos poros ocorreu de A para B. Na porção B desta amostra passam a dominar os poros complexos. Estes colaboram com quase 32 % da porosidade total. Esta diferença fica bem visível nas fotos, que mostram a maior conectividade dos poros no B em relação a A.

Na dose de 20 Mg.ha⁻¹ A a porosidade ainda é baixa, sendo de 19%. Esta porosidade é conferida pela maior participação em área dos poros do tipo complexo. Dentre as amostras representadas na Figura 10, a dose de 40 Mg.ha⁻¹ A foi a que apresentou a maior porosidade total, sendo esta de 33%. A dominância dos poros do tipo complexo colaboram com a porosidade alta nesta amostra e juntamente com o número baixo de poros, sugere uma alta conectividade dos poros como visto na foto.

A Figura 11 apresenta os resultados da terceira coleta do experimento sem erosão. Nesta figura, já começamos a ver uma tendência de melhoria na porosidade do solo. Isto foi perceptível na dose de 100 Mg.ha⁻¹ porção A da amostra onde observa-se uma porosidade total bem superior (35%), sendo diferente estatisticamente quando comparada com as porosidades totais determinadas para os demais tratamentos (Tabela 4).

Comparando com a segunda coleta houve um aumento na porosidade, mostrando que esta dose de 100 Mg.ha⁻¹ colaborou bastante no aumento da porosidade em superfície. Além disso, houve um salto grande na quantidade de poros complexos grandes com relação às outras doses de composto. Esta tendência ainda não é perceptível no B, onde os valores de porosidade total ainda estão bastante heterogêneos.

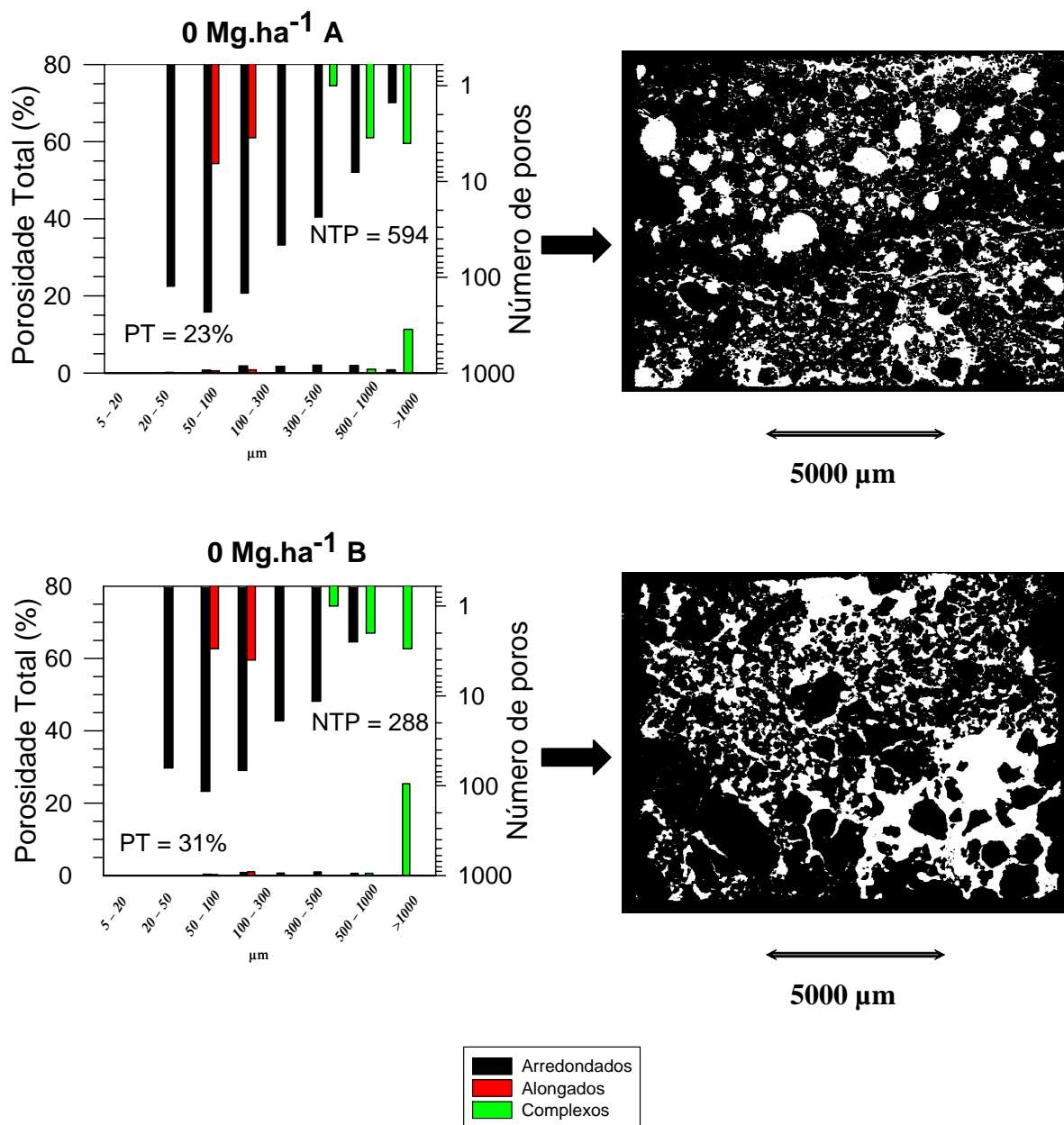


Figura 11 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

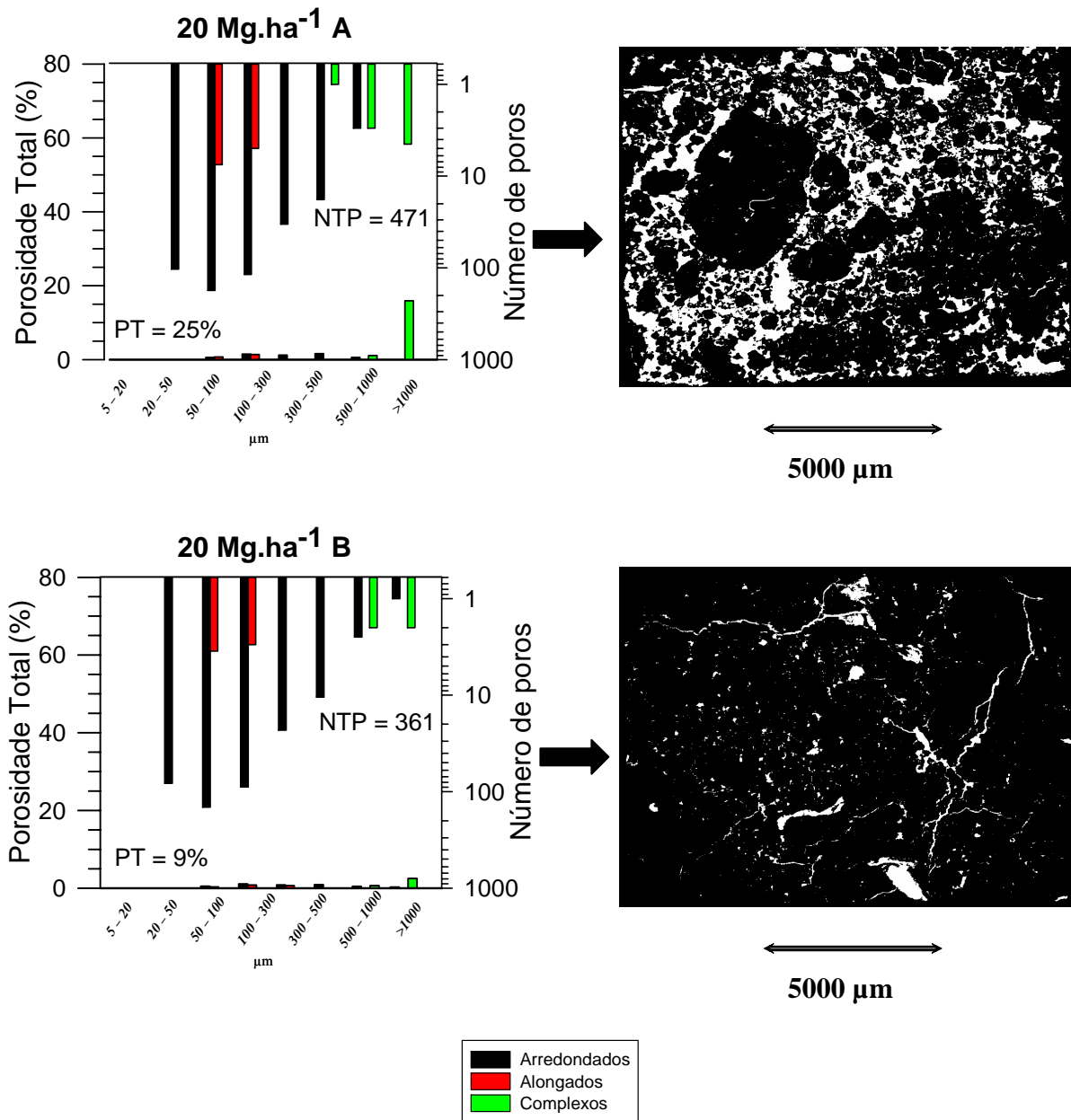


Figura 11 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

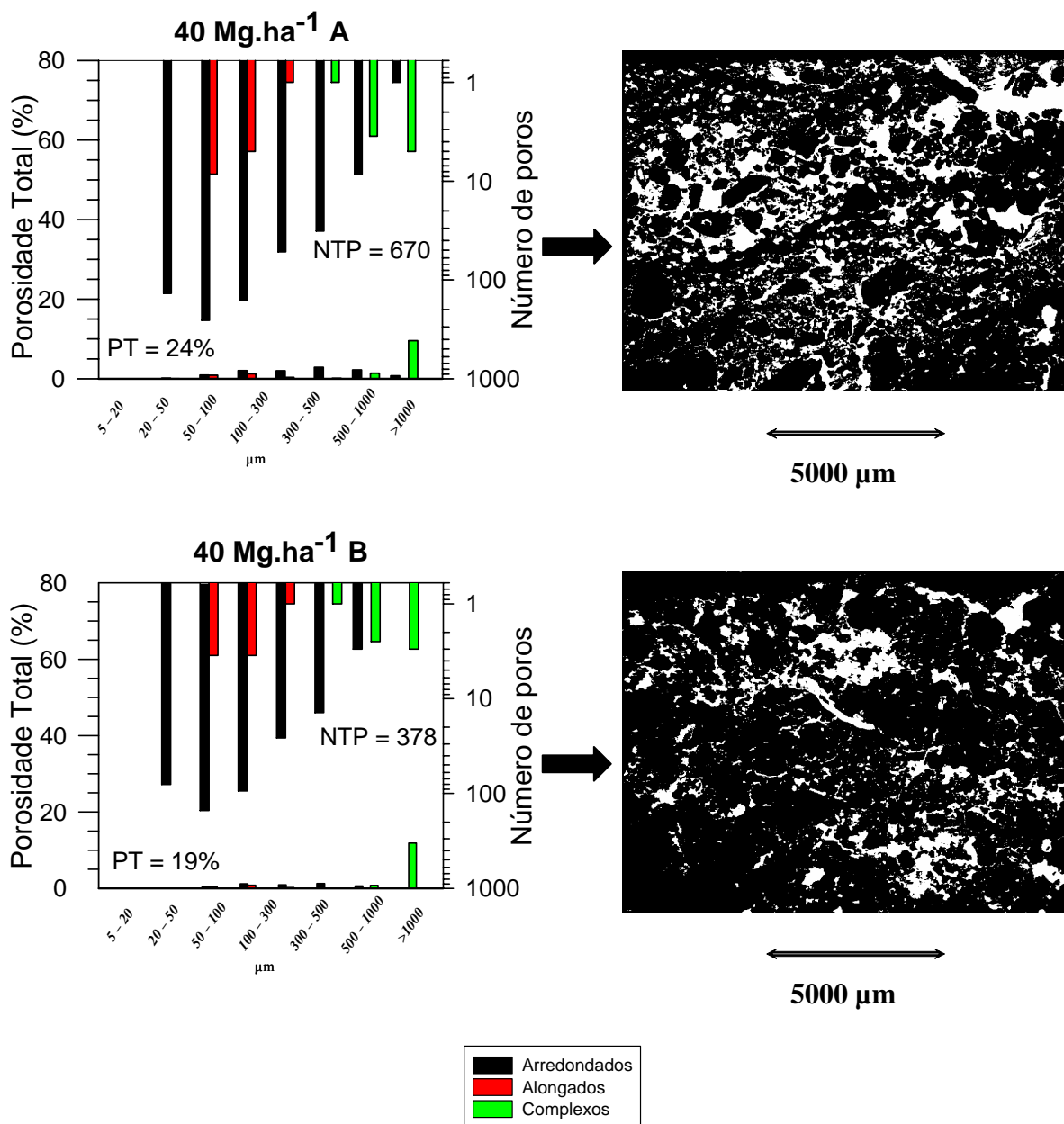


Figura 11 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

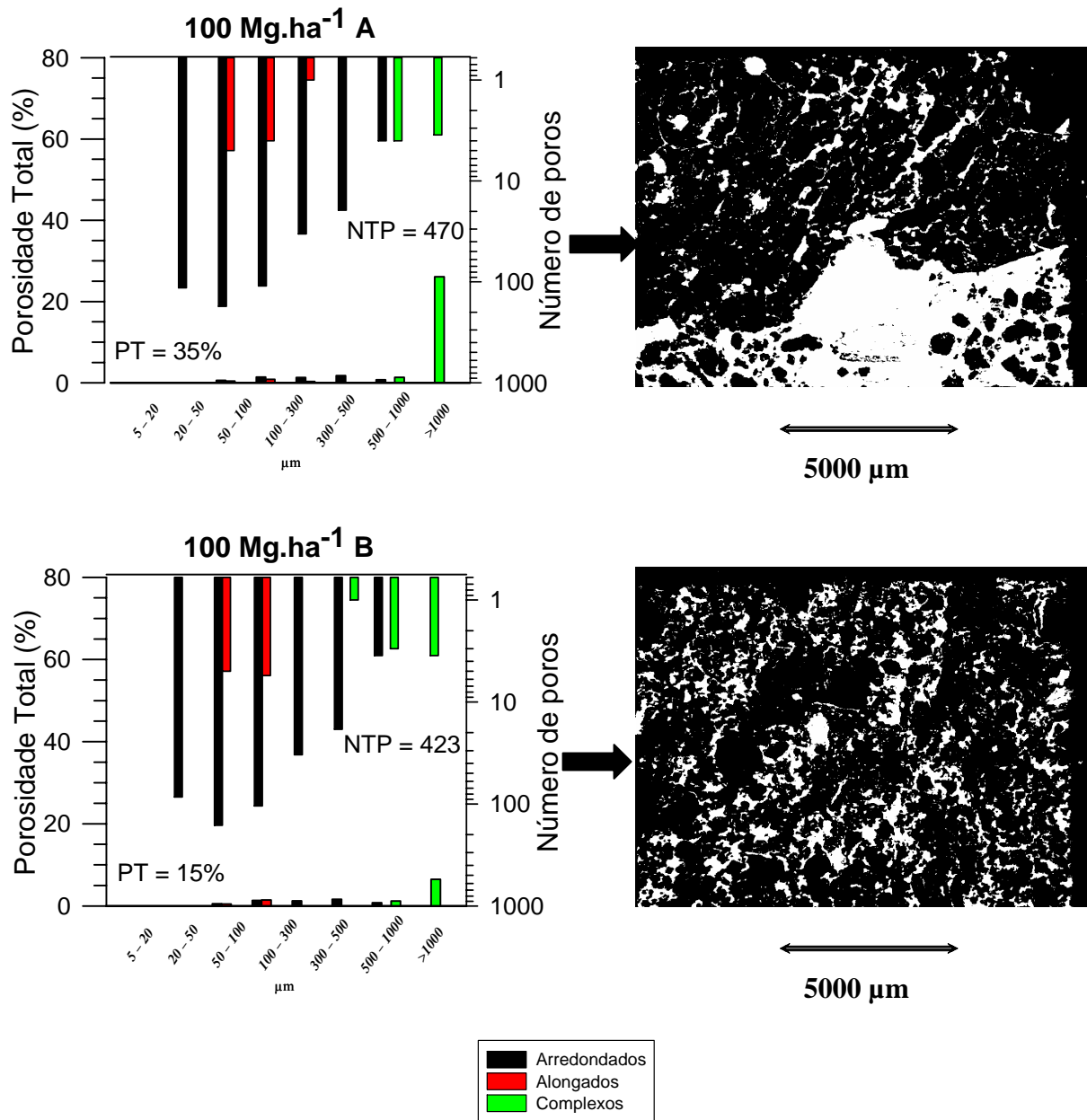


Figura 11 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

Tabela 4 – Porosidade da coleta 3 do experimento sem erosão

		Experimento	
Tratamentos		Sem erosão	
Mg.ha ⁻¹	-- % --		
0	23.00		b
20	25.00		b
40	24.00		b
100	35.00		a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Na dose de 0 Mg.ha⁻¹ porção A observamos na imagem a presença de vesículas formadas dentro das crostas superficiais (Figura 11). Estas vesículas conferem a esta amostra uma porosidade total alta, tanto que os valores de porosidade total acompanham os valores da parte A dos tratamentos de 20 e 40 Mg.ha⁻¹. A porosidade total da dose de 0 Mg.ha⁻¹ aumenta de A para B assim como a participação dos poros complexos. Na parte B da amostra não é vista a presença de vesículas, e sim uma alta conectividade dos poros em função do número baixo de poros e altos valores de área.

Observando a dose de 20 Mg.ha⁻¹ A, observa-se um pequeno encrostamento superficial e a presença de poucas vesículas. Nesta dose há um predomínio de poros do tipo complexo, que colaboram com quase 20% da porosidade total. No B há uma queda drástica na porosidade total e na participação dos poros complexos, sendo que os poros arredondados começam a contribuir mais com a porosidade.

A diferença no número de poros totais é bem perceptível na imagem da dose de 40 Mg.ha⁻¹, pois a porção A possui entorno de 300 poros a mais do que no B. Essa diferença contribui para que a porção A possua uma porosidade um pouco maior do que em B. Em ambos os poros complexos são predominantes, mas em A há uma pequena contribuição dos outros tipos de poros.

Não há diferença estatística na porosidade total entre as doses de 0, 20 e 40 Mg.ha⁻¹. As vesículas encontradas principalmente na dose de 0 Mg.ha⁻¹ A podem ser explicadas pela ausência de composto que poderia contribuir com uma melhor estabilidade dos agregados, assim como

pela baixa cobertura do solo com a cultura do tremoço, oferecendo uma menor proteção ao solo das chuvas que ocorreram neste período.

Os resultados da terceira coleta do experimento com erosão são apresentados na Figura 12. No experimento com erosão a melhora na porosidade fica bem mais visível. O efeito do composto colaborou com o aumento da porosidade neste experimento. Aqui fica bem claro que com o aumento da dose de composto há um aumento na porosidade, comprovado pela diferença estatística (Tabela 5) entre as doses de 0 e 20 com as doses de 40 e 100 Mg.ha^{-1} , isso tanto no A como no B.

O número de vesículas e a espessura das crostas superficiais na dose de 0 Mg.ha^{-1} A aumentam comparado com o experimento sem erosão desta mesma coleta. Em ambos A e B a participação dos poros complexos na porosidade é de quase 15 %, sendo mais representativo para o B que tem 19 % de porosidade total do que para o A que possui 29 %, onde a participação dos outros tipos de poros é mais significante. Percebe-se também que houve uma melhora significativa na porosidade das parcelas da dose de 0 Mg.ha^{-1} com relação a coleta anterior, isso pode ser explicado pela melhoria na estruturação do solo pelas raízes da cultura do tremoço branco, já que não houve a adição de composto orgânico nestas parcelas.

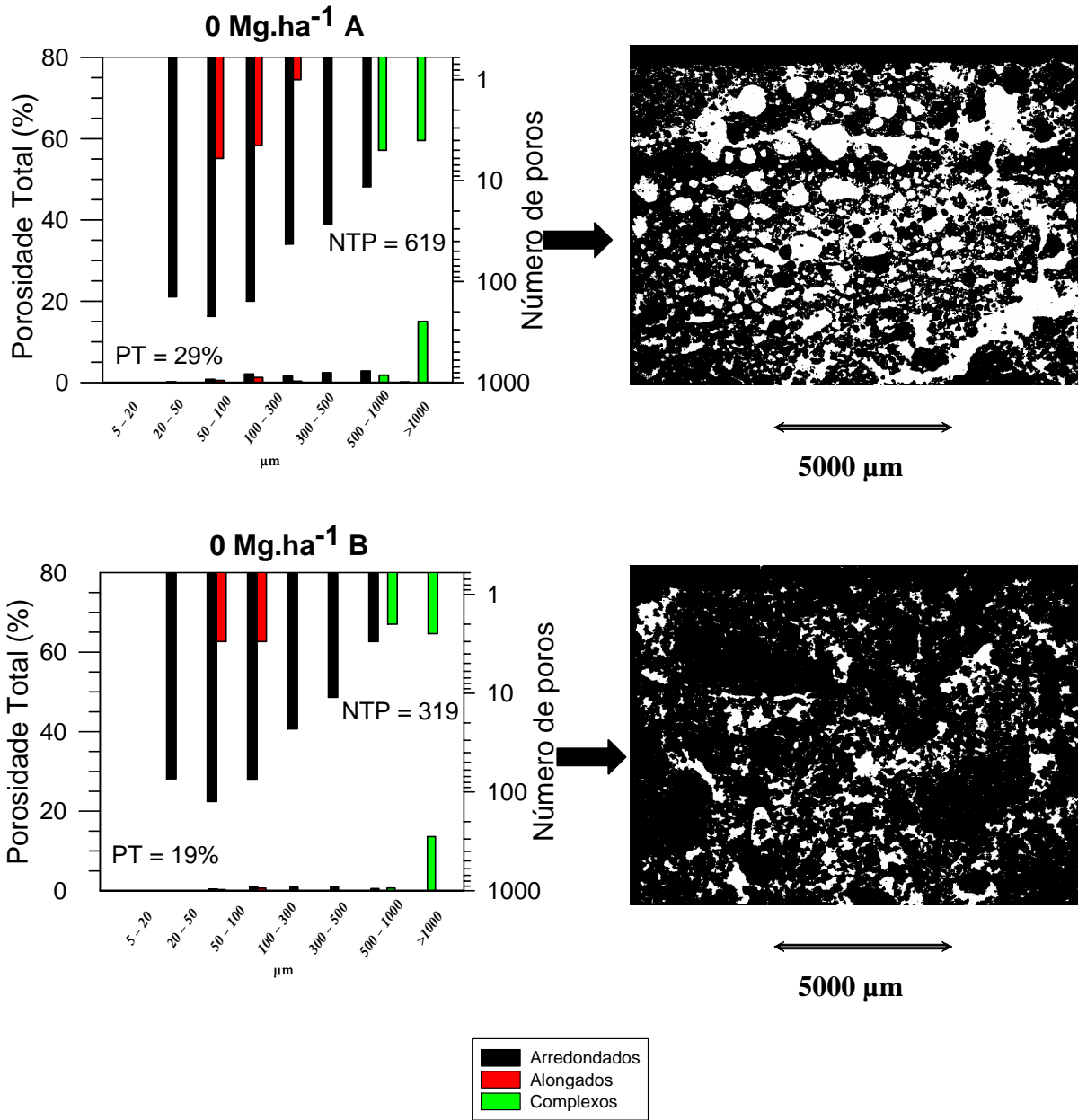


Figura 12 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

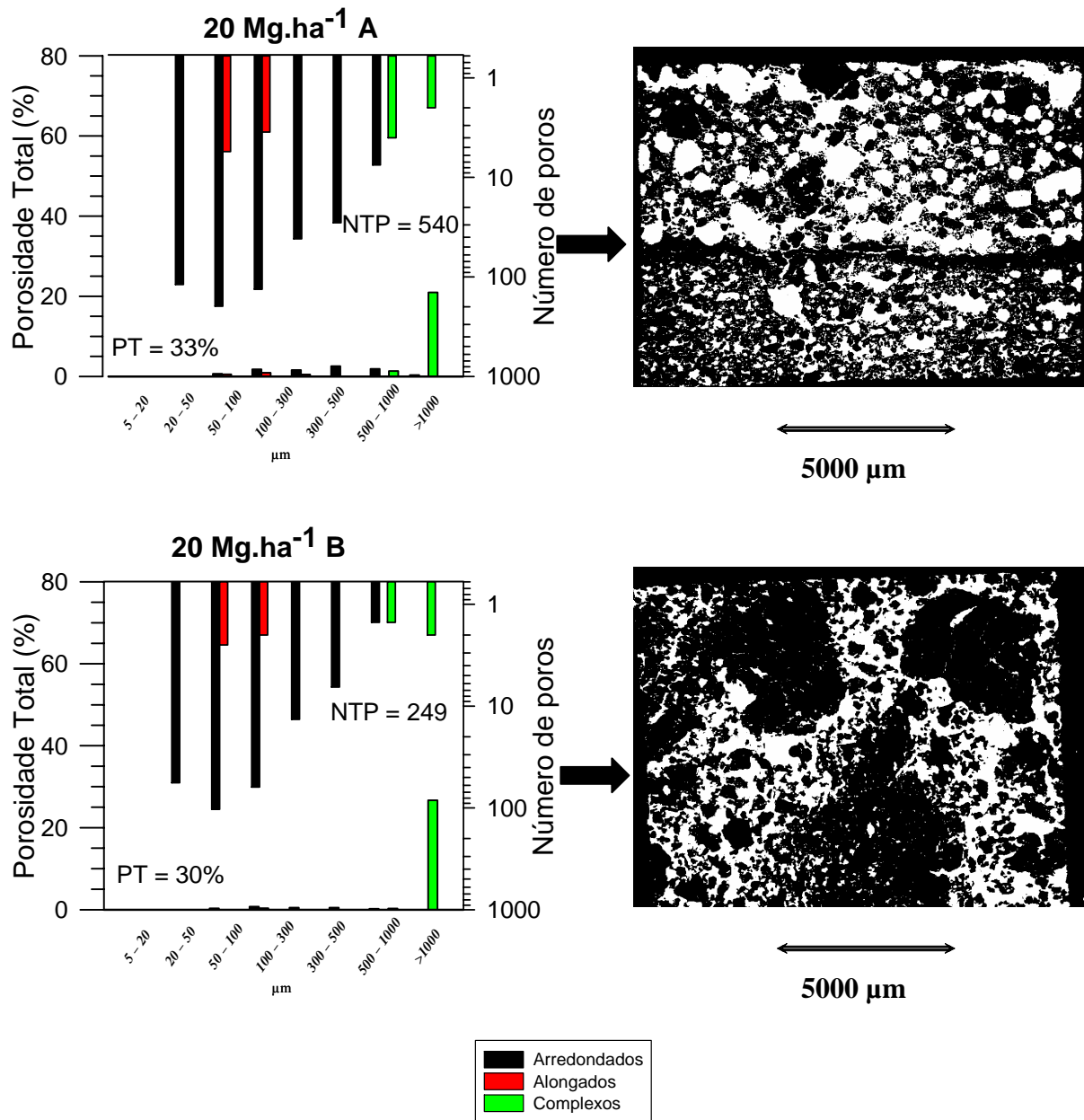


Figura 12 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

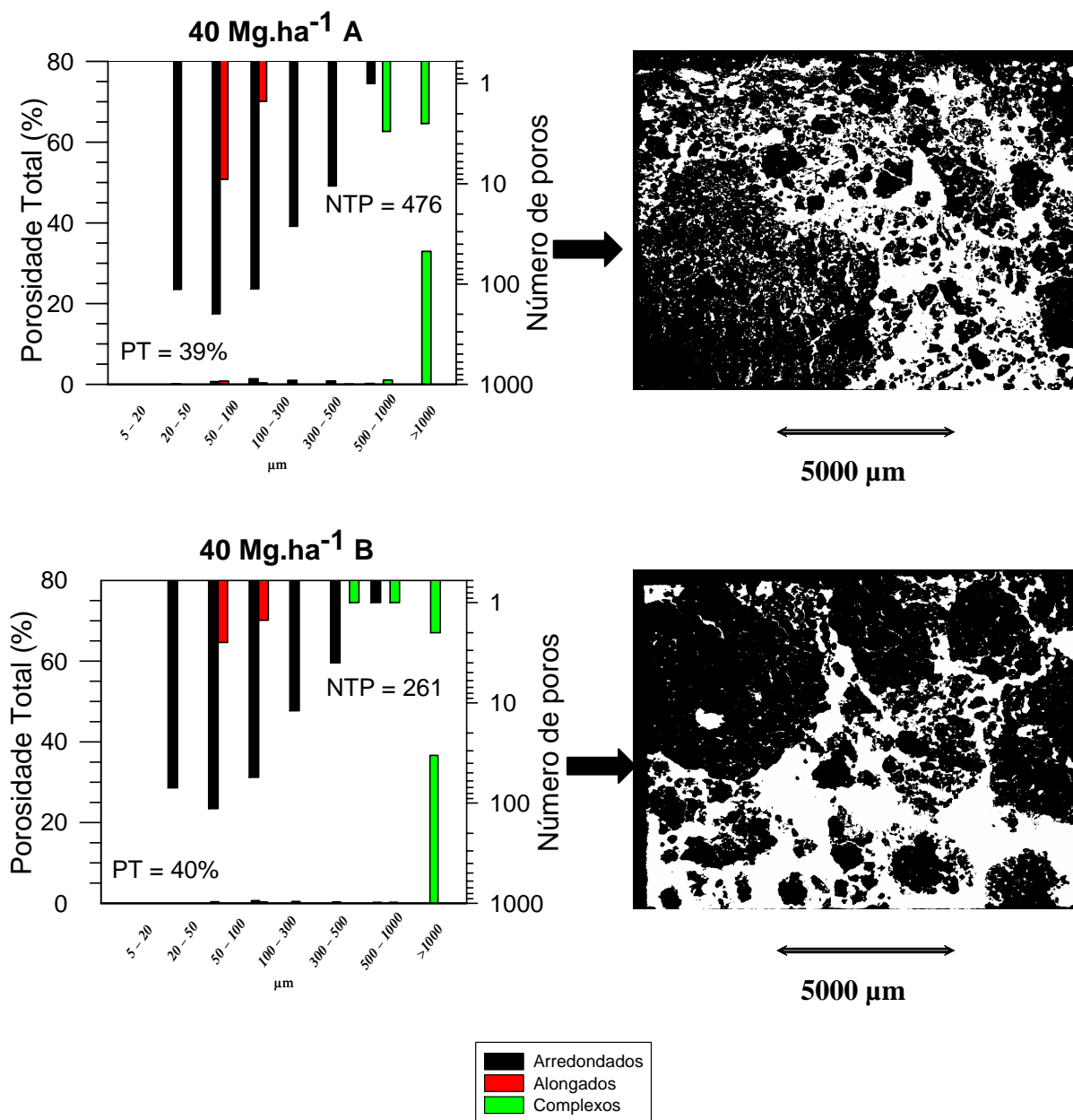


Figura 12 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

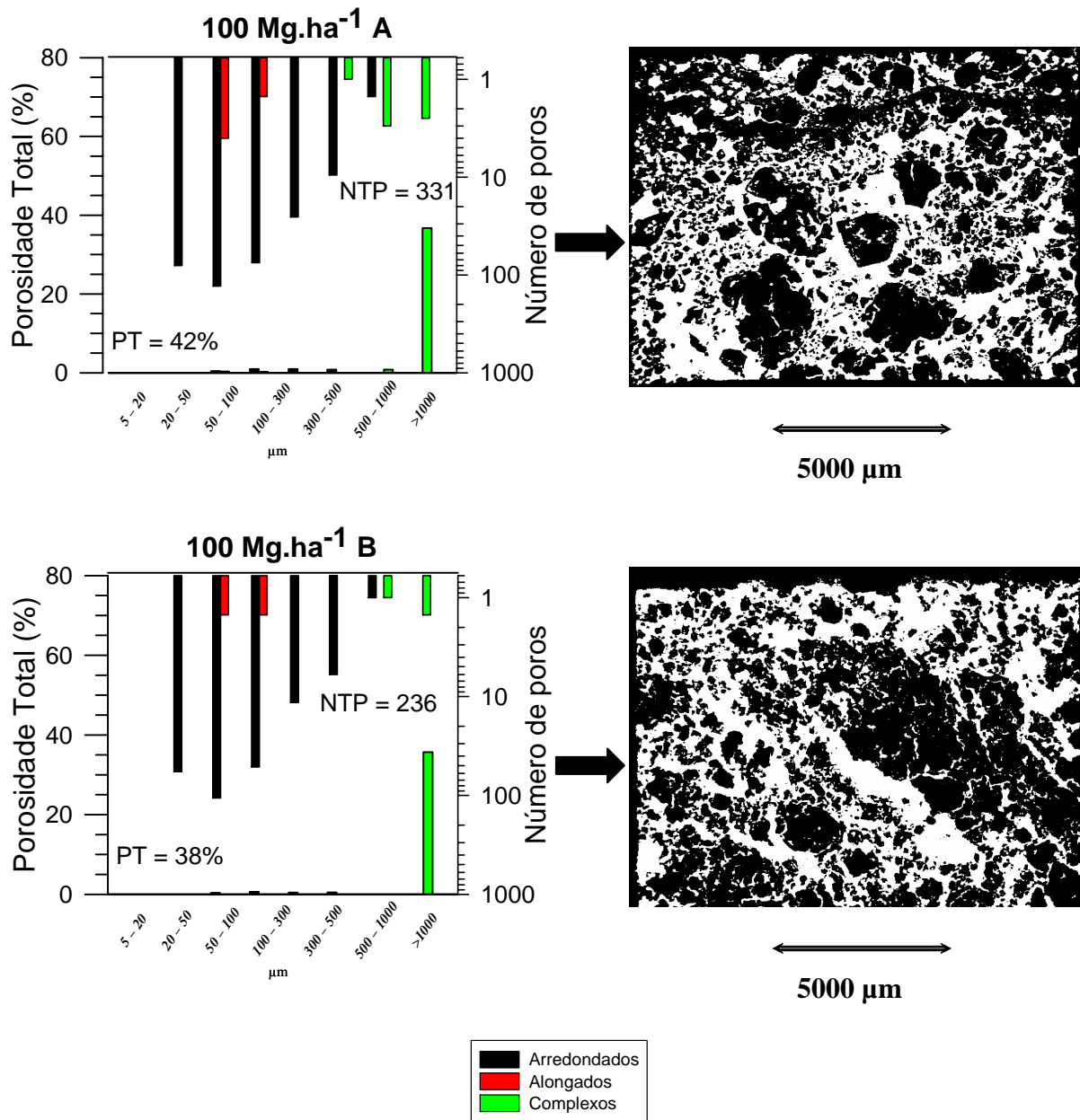


Figura 12 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 3. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

Tabela 5 - Porosidade da coleta 3 do experimento com erosão

----- Experimento -----		
Tratamentos	Com erosão	
Mg.ha ⁻¹	-- % --	
0	29.00	b
20	33.00	b
40	39.00	a
100	42.00	a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A dose de 20 Mg.ha⁻¹ A seguiu a mesma tendência da dose de 0 Mg.ha⁻¹, onde houve um acréscimo grande no número de vesículas e na espessura da crosta superficial comparando com o experimento anterior (Figura 11). Em A e B a dominância é dos poros complexos, sendo que em A este tipo de poro contribui com um pouco mais de 20% dos 33% totais, já em B a contribuição é maior, já que dos 30% da porosidade total mais de 25% é de poros complexos.

Nota-se um início de formação de pequenas vesículas na dose de 40 Mg.ha⁻¹ A, que possui uma alta porosidade devido a dominância dos poros complexos, assim como a formação de uma crosta superficial. Em B a porosidade também é alta e nota-se que o número total de poros é baixo e a áreas que estes poucos poros complexos ocupam é alta. Desta forma pode-se dizer que os poros estão bastante conectados. Este comportamento é bem visível na Figura 12.

A conectividade é bem elevada na dose de 100 Mg.ha⁻¹ de composto em A e B, pois em ambos, os poros do tipo complexo apresentam um número baixo de poros e uma área de ocupação alta. Foi detectada a presença de uma pequena formação de crosta superficial assim como de vesículas neste tratamento.

No experimento sem erosão desta mesma coleta, a expressão do encrostamento e a formação de vesículas, tanto nas doses de 40 e 100 Mg.ha⁻¹ A foi bem menor em comparação ao experimento com erosão. Podemos justificar este aparecimento pela baixa produção de cobertura vegetal da cultura, mesmo sendo doses de composto mais elevadas, a produção de matéria seca neste experimento, como será apresentada posteriormente, foi inferior do que o experimento sem erosão.

Pode-se notar pelos gráficos que o número total de poros vem diminuindo da dose de 0 para a dose de 100 Mg.ha⁻¹ na porção A da amostra. Existe uma tendência de aumento na porosidade total como também na quantidade de poros complexos grandes à medida que aumentamos a dose de composto aplicado. Isto mostra que quanto maior a dose de composto orgânico aplicado, maior é a conectividade entre os poros. Isso também é observado na Figura 11, só que com menor expressão.

A Figura 13 apresenta os resultados da quarta coleta do experimento sem erosão. A formação de crosta superficial e de vesículas continua na dose de 0 Mg.ha⁻¹ parte A nesta quarta coleta. Comparando as coletas 3 e 4 deste tratamento, observou-se um aumento na porosidade total e no número de poros para A e uma redução para B. Nesta coleta a predominância é a presença de poros do tipo complexos com uma pequena participação dos poros arredondados, que provavelmente são representados pelas vesículas. No B desta mesma dose, os poros complexos aumentam sua participação e os arredondados deixam de ser significantes, como mostrado na Figura 13.

Na dose de 20 Mg.ha⁻¹ parte A as vesículas estão em maior número comparado também com a coleta anterior, mostrando uma tendência de aumento na formação de vesículas para esta dose ao longo do tempo. Houve um aumento na porosidade em A e B para a dose de 20 Mg.ha⁻¹, principalmente para o B, que passou de 9% para 38%, reduzindo o número de poros, que podemos então afirmar que além de aumentar a porosidade aumentou também a conectividade destes poros nestas parcelas.

Nota-se um espessamento na crosta na dose de 40 Mg.ha⁻¹. Observou-se também um aumento da porosidade total da terceira para quarta coleta, assim como uma redução do número total de poros e, conseqüentemente, aumentando a conectividade entre eles. A dominância dos poros complexos é bem visível na Figura 13, assim como sua alta conectividade, tanto no A como no B.

Para a dose de 100 Mg.ha⁻¹ a mesma tendência é observada. O aumento da porosidade total ao longo das coletas também se faz verdadeiro tanto na parte A como na parte B, que aumentou de 15% de porosidade total para 35%. Verificou-se também o aumento da dominância dos poros do tipo complexo, que aumentam sua participação na porosidade. Houve como nas outras doses, uma redução no número de poros, confirmando também o aumento da conectividade dos poros.

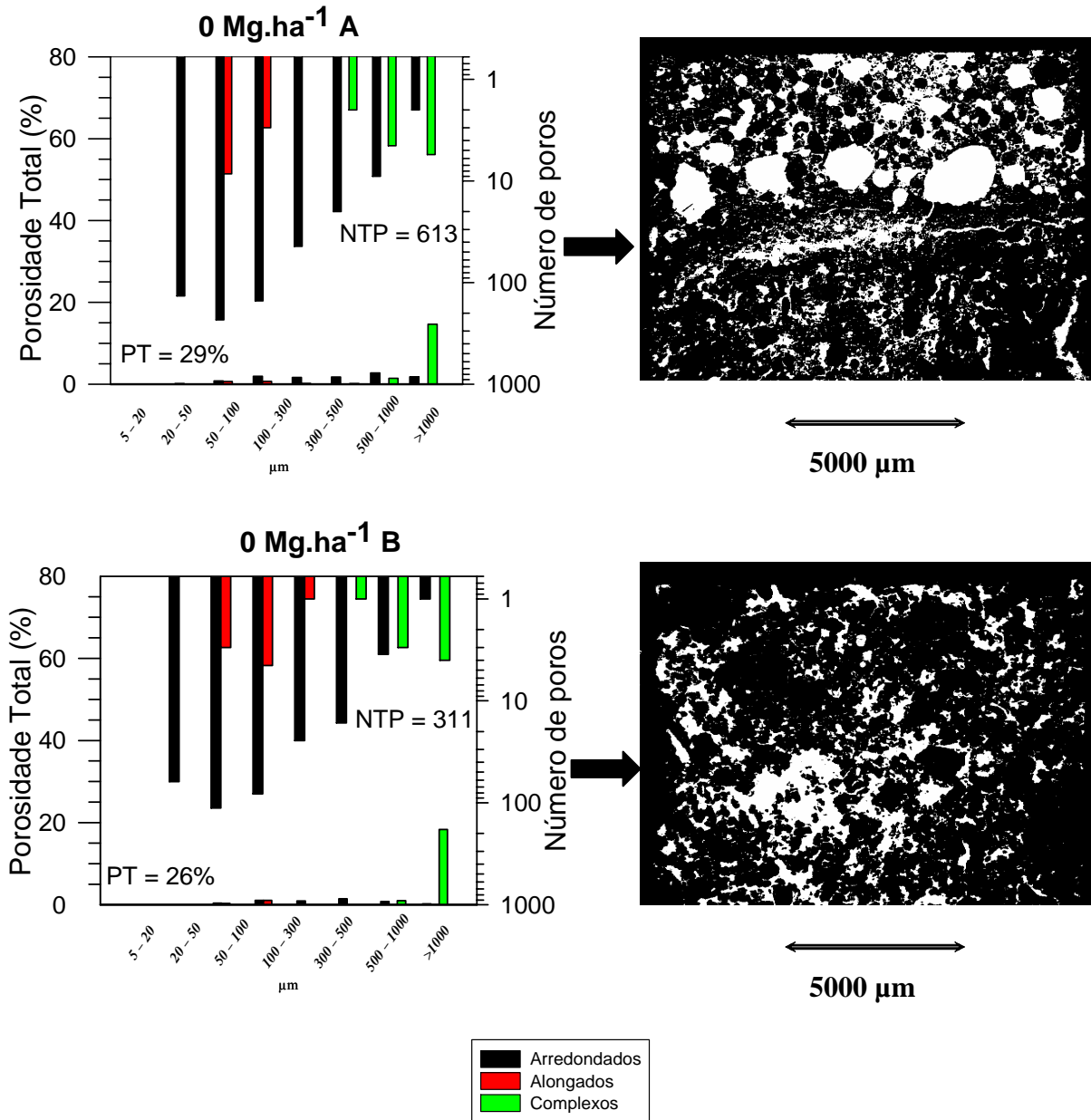


Figura 13 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

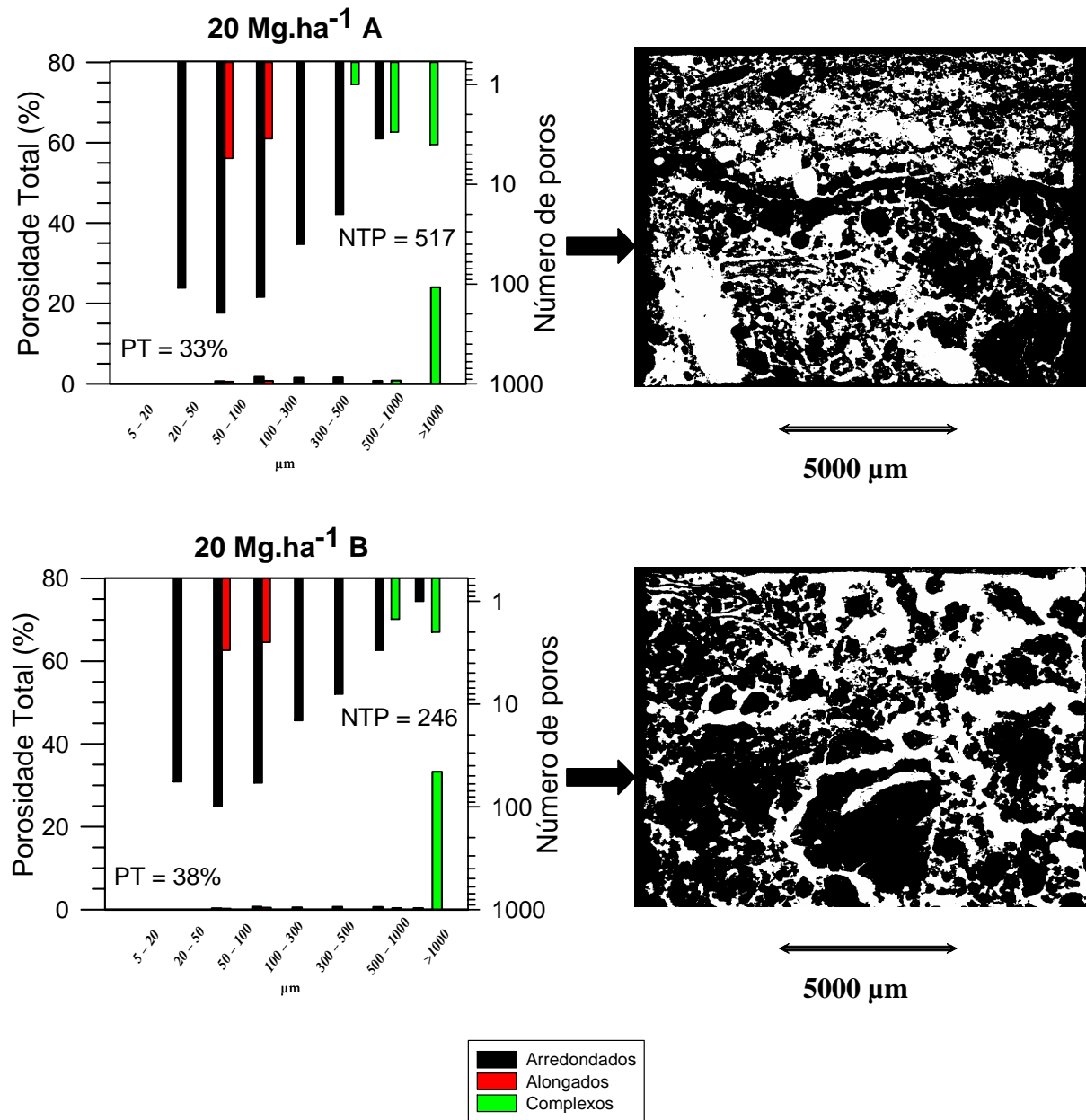


Figura 13 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

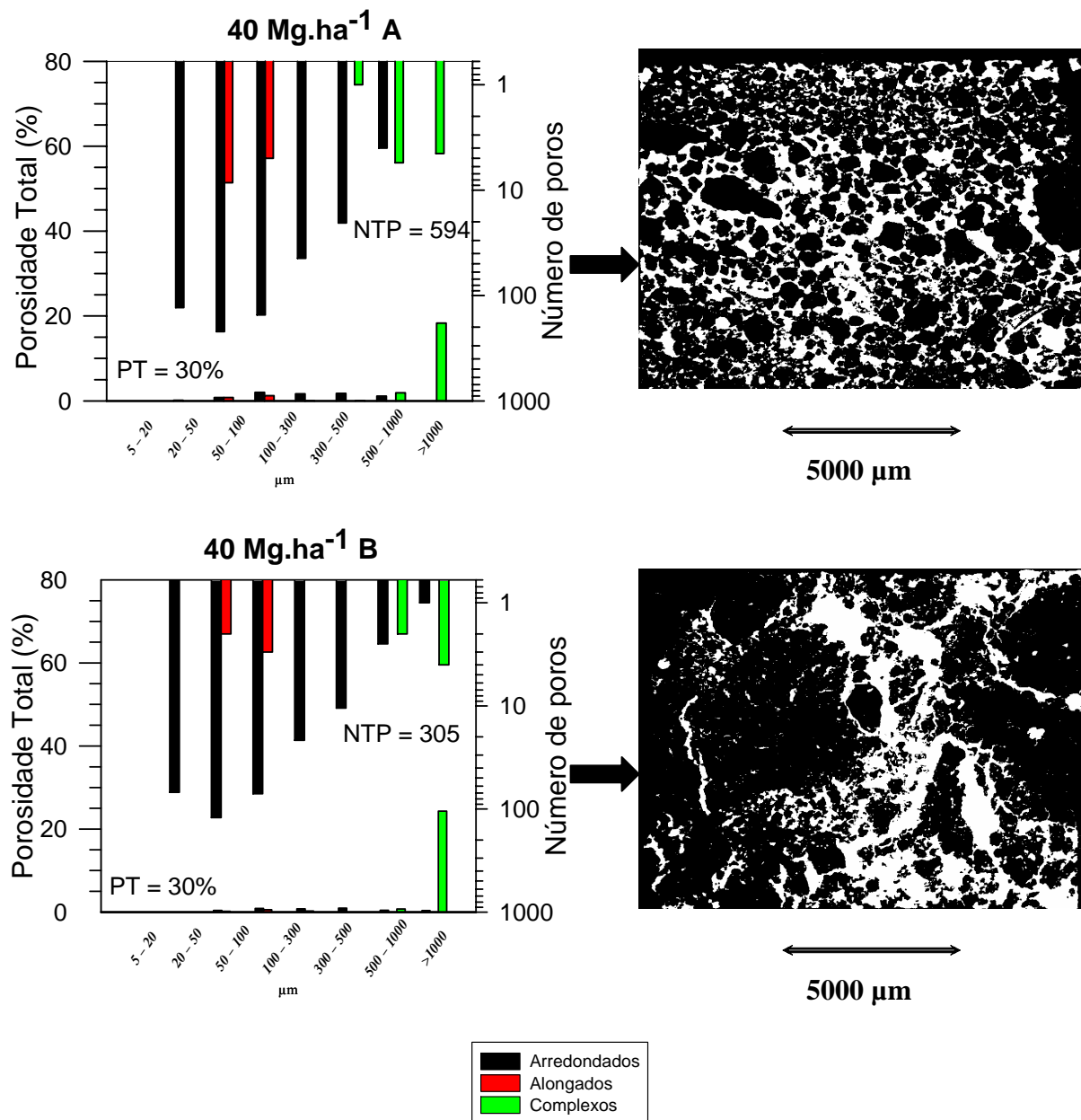


Figura 13 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

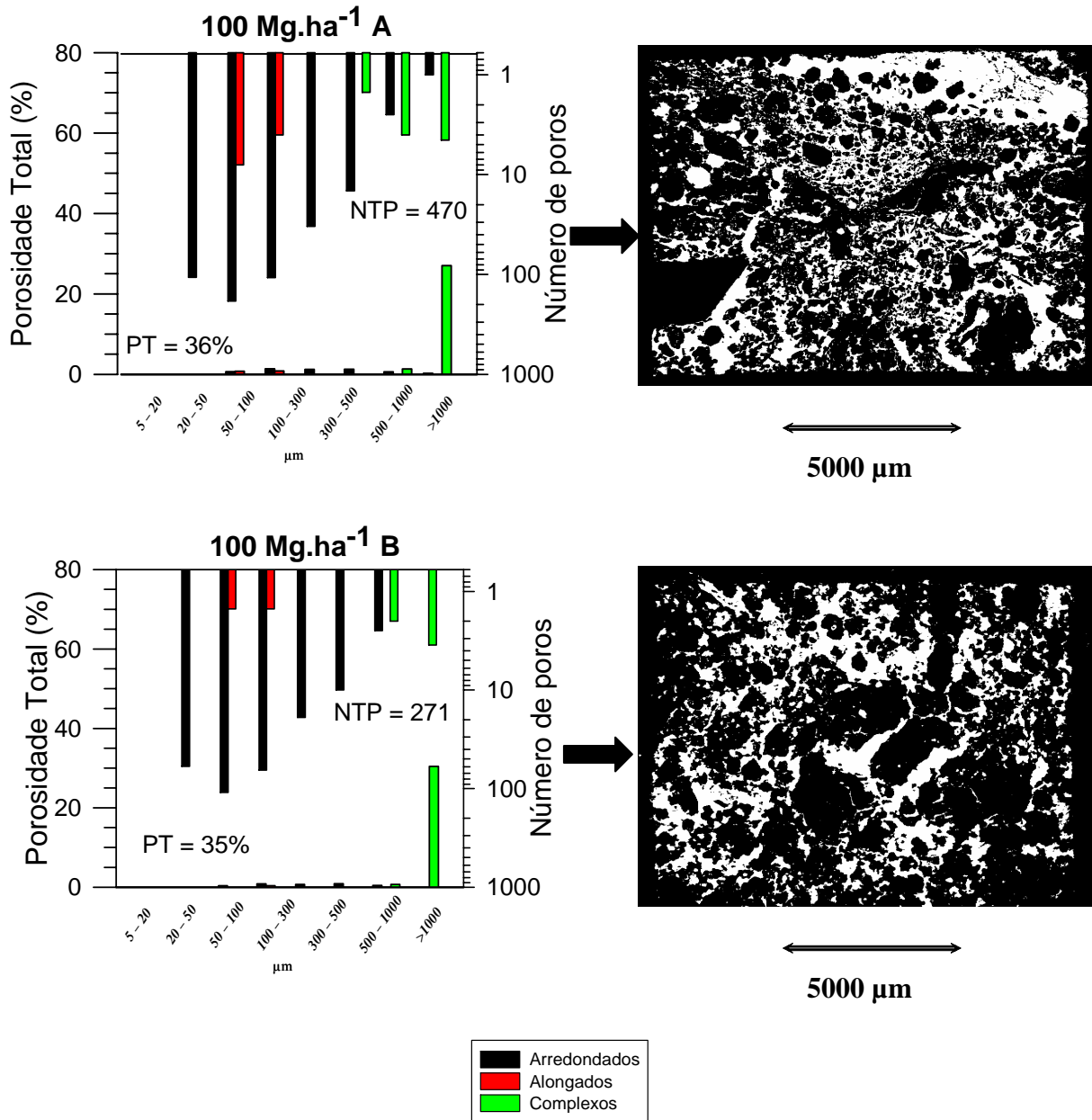


Figura 13 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento sem erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

A dose de 100 Mg.ha⁻¹ obteve a maior porosidade, se diferenciando estatisticamente das demais doses (Tabela 6). Já a dose de 20 Mg.ha⁻¹ ficou com um valor intermediário de porosidade, superando as dose de 40 e 0 Mg.ha⁻¹ que não diferenciaram estatisticamente e foram os valores mais baixos entre as doses.

A mesma tendência de melhoria da porosidade segue nesta Figura 13, tanto em A como em B, sendo mais expressivo em A, onde a acréscimo de matéria orgânica favoreceu uma melhor porosidade.

Tabela 6 - Porosidade da coleta 4 do experimento sem erosão

----- Experimento -----	
Tratamentos	Sem erosão
Mg.ha ⁻¹	-- % --
0	29.00 b
20	33.00 ab
40	30.00 b
100	36.00 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Observa-se na Figura 14, os resultados da quarta coleta do experimento com erosão. Entre as coletas 3 e 4, verificou-se um aumento na porosidade total da dose de 0 Mg.ha⁻¹. Esta passou de 29% para 31% no A e de 19% para 29% no B. A predominância dos poros complexos aumentou tanto em A como em B e ainda houve uma redução no número de poros ao longo das coletas, indicando o aumento na conectividade dos poros. Nas fotos podemos verificar a presenças de crostas superficiais e de vesículas, que vão se formando cada vez mais profundas. Esta dose se igualou estatisticamente em porosidade total com a dose de 40 Mg.ha⁻¹, sendo as duas com os valores mais baixos (Tabela 7).

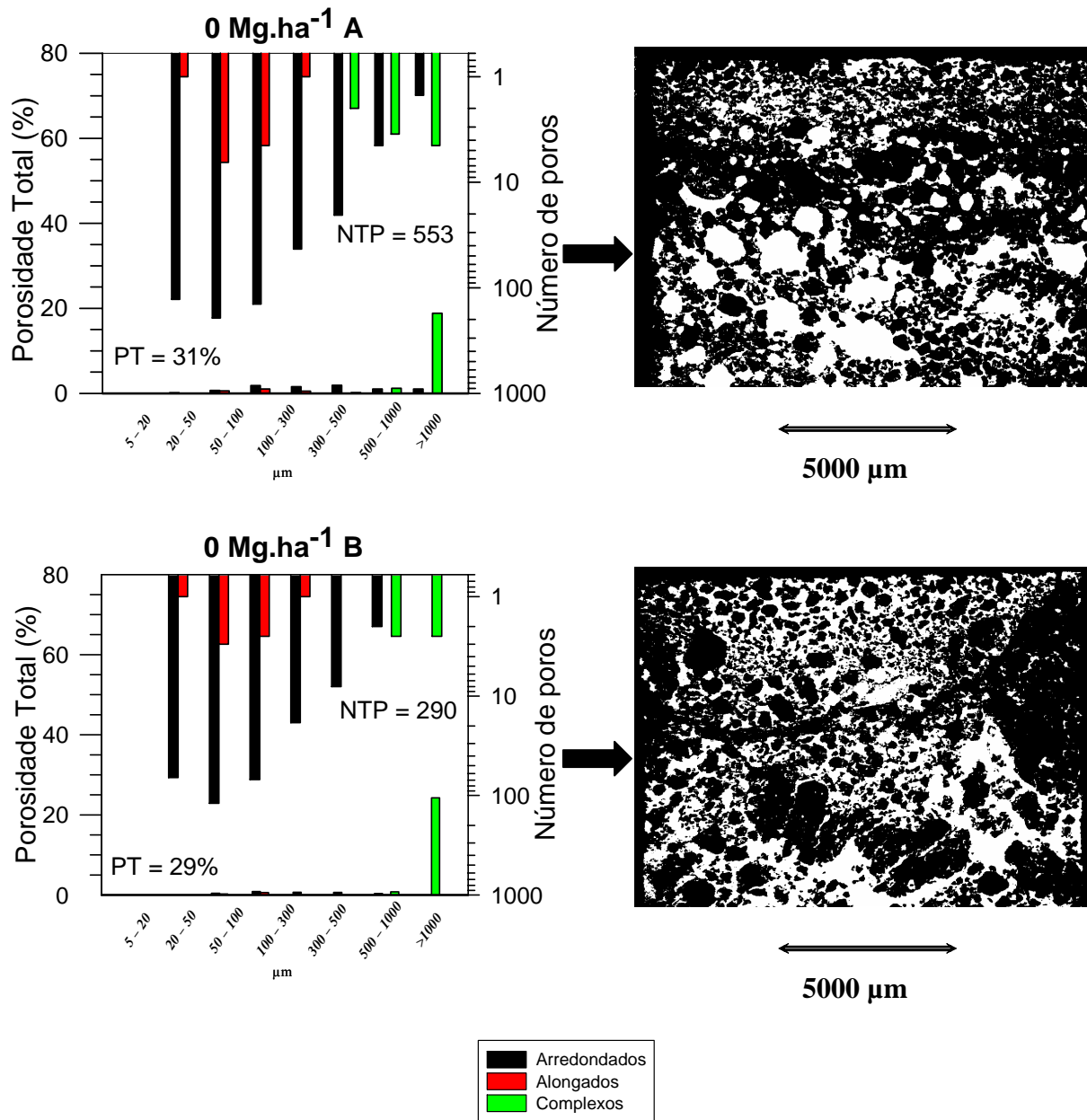


Figura 14 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

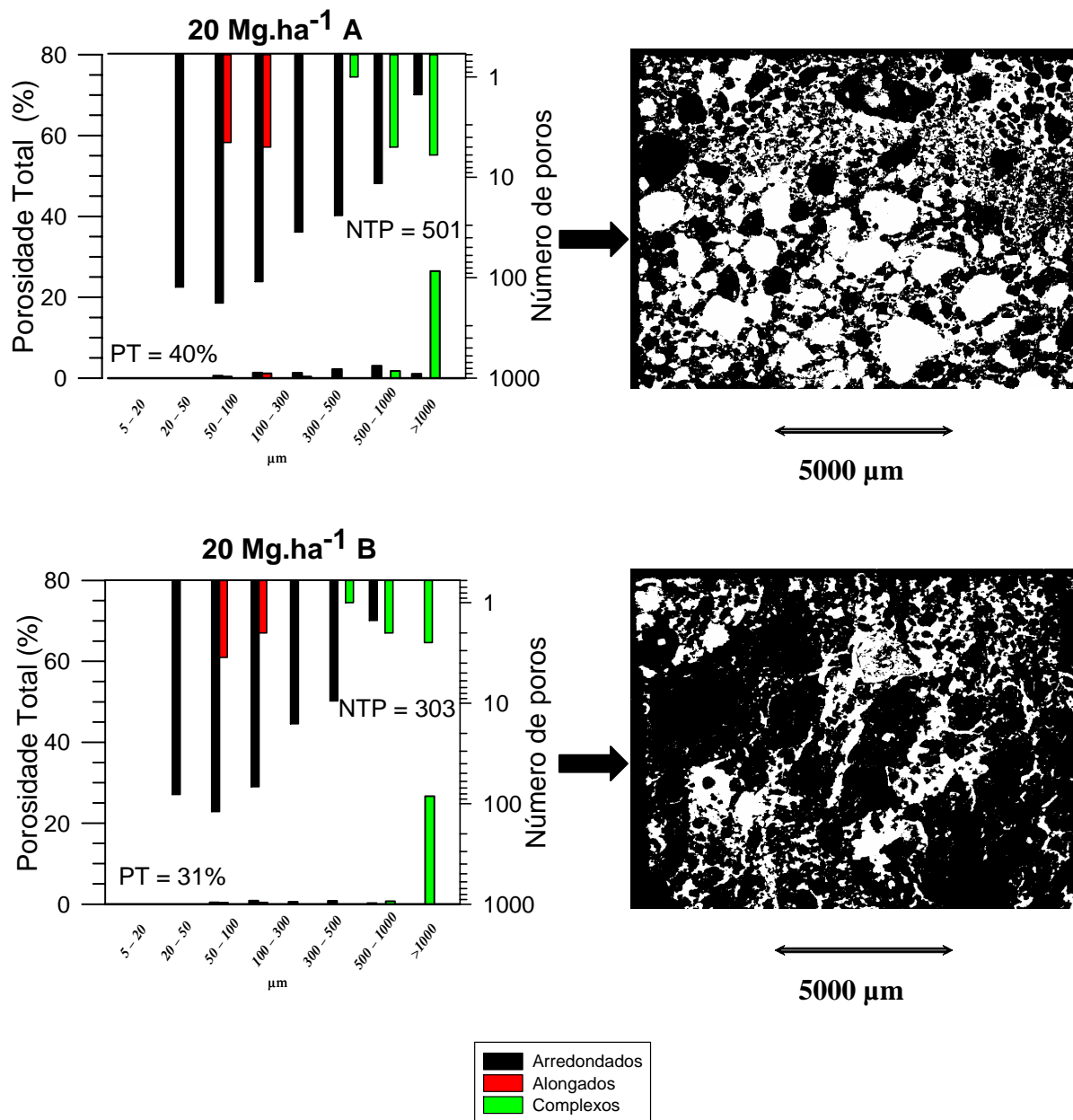


Figura 14 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

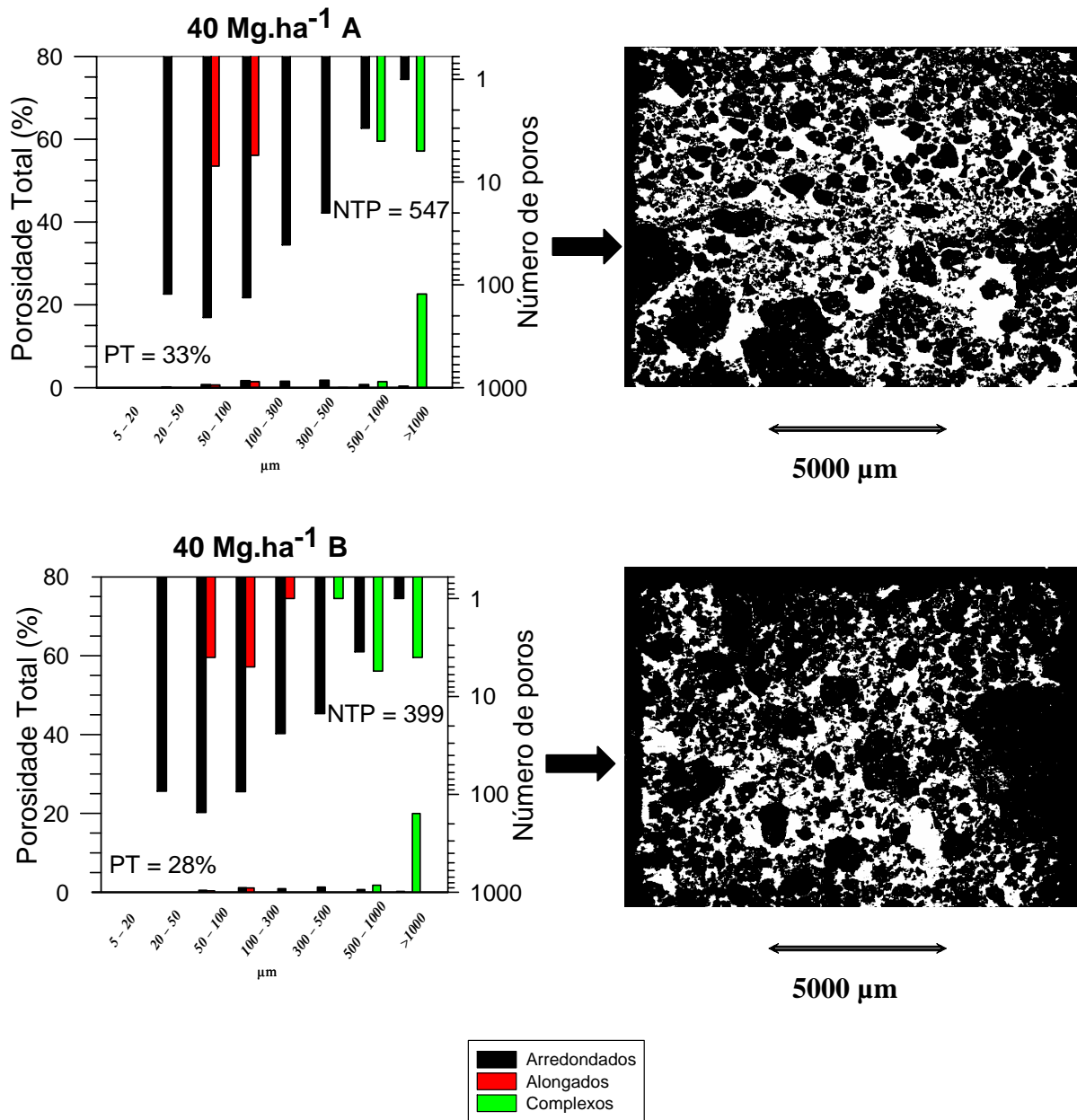


Figura 14 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

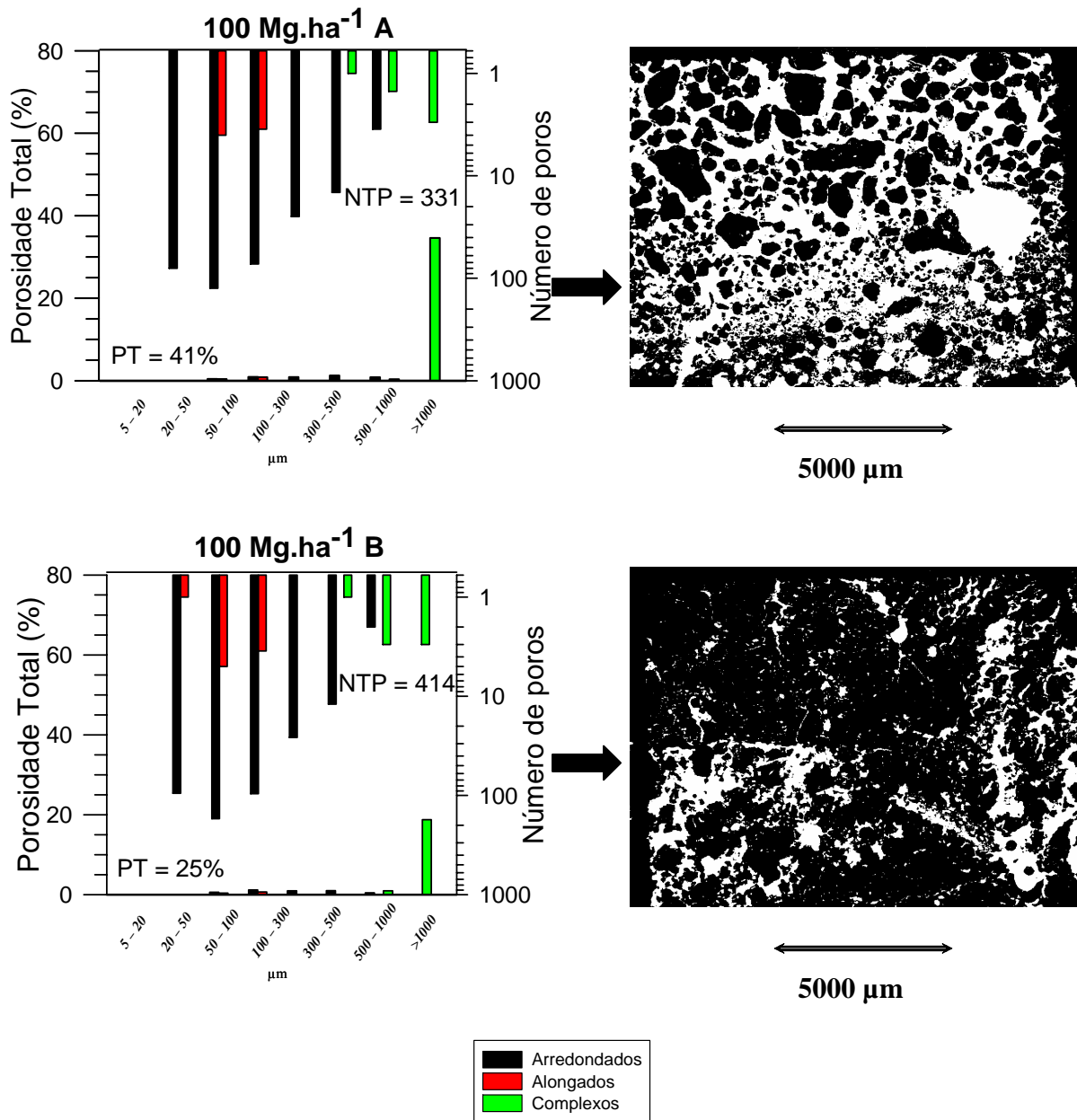


Figura 14 - Distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro de poros do experimento com erosão coleta 4. Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto). NTP=número total de poros, PT=porosidade total

Tabela 7 - Porosidade da coleta 4 do experimento com erosão

----- Experimento -----	
Tratamentos	Com erosão
Mg.ha ⁻¹	-- %--
0	31.00 b
20	40.00 a
40	33.00 b
100	41.00 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A dose de 20 Mg.ha⁻¹ parte A tem uma considerável melhoria na sua porosidade total comparando com a coleta anterior. Esta segue a tendência de quando aumenta a dose de composto, aumenta a porosidade. Ainda no A, percebemos que as vesículas são em grande número e cada vez maiores e mais profundas. No B houve um pequeno aumento na porosidade e no número de poros totais, indo contra a tendência de redução no número de poros. Nota-se ainda no B que o número total de poros foi maior do que nas doses mais altas de composto orgânico aplicado.

Na dose de 40 Mg.ha⁻¹ no B houve uma redução grande na porosidade, passando de 40% na terceira coleta para 28% nesta coleta. Isso também ocorreu no A, só que com uma queda menor, de 39% para 33%. Os poros complexos continuam dominando a porosidade em porcentagem tanto no A como no B deste tratamento.

Novamente a dose de 100 Mg.ha⁻¹ parte A é a que possui a maior porosidade total entre as demais doses, ficando estatisticamente semelhante à dose de 20 Mg.ha⁻¹. Nesta dose a porosidade é quase que totalmente atribuída a poucos poros complexos com tamanhos grandes, que garantem a amostra uma alta conectividade de poros. Perde-se um pouco da porosidade total no B, como representado na foto na Figura 14, e o número de poros aumenta.

A Figura 15 é um gráfico resumo da porosidade total para os dois experimentos, sem e com erosão. Em ambos, a porosidade, de maneira geral, aumentou ao longo do tempo e também em função da dose de composto aplicado.

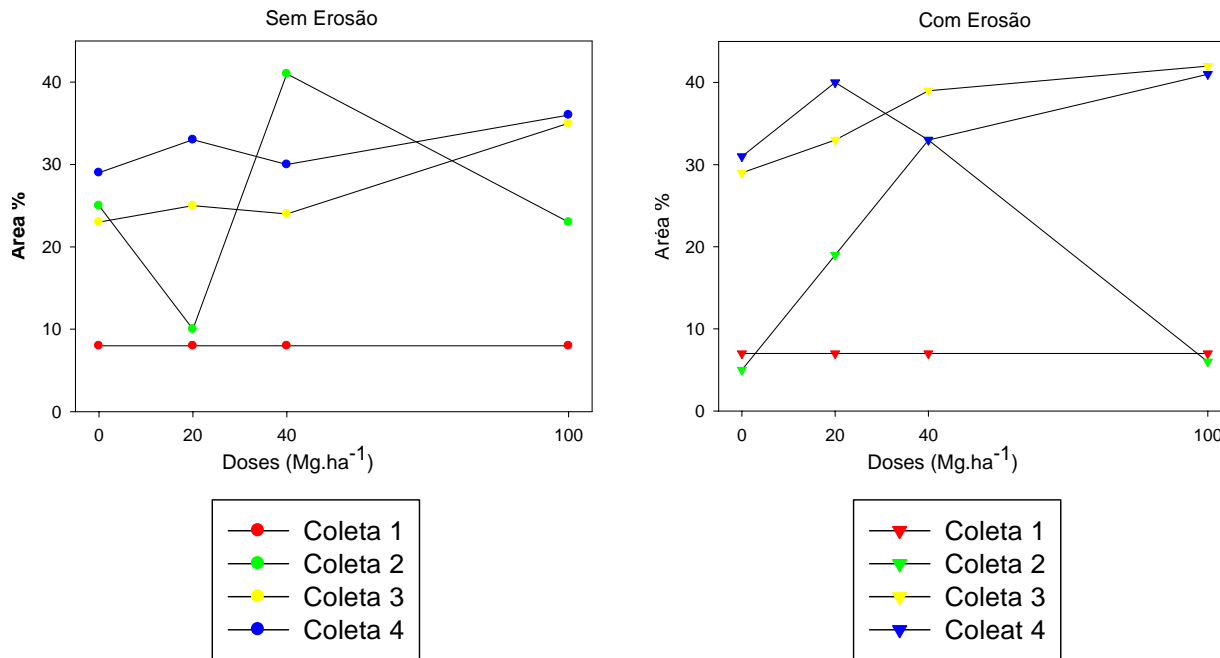


Figura 15 - Gráfico Porosidade Total x Doses de composto para os valores de A

A cada coleta a porosidade foi maior do que a observada anteriormente, com exceção da coleta 2 que existe uma grande variabilidade em função da incorporação do composto, mas a partir da terceira e quarta coleta a recuperação da porosidade foi satisfatória.

Nota-se que principalmente a dose de 100 Mg.ha⁻¹ foi responsável pelos maiores incrementos dos valores de porosidade total na terceira e quarta coleta em ambos os experimentos. Isto mostra que quanto maior a dose de composto maior o ganho na porosidade total do solo. As doses de 20 e 40 Mg.ha⁻¹ quase sempre obtiveram valores intermediários de porosidade, não obtendo diferença estatística no experimento sem erosão, mas sendo diferente no experimento com erosão. Entre as doses de composto orgânico aplicada no solo, a de 0 Mg.ha⁻¹ foi a que obteve os menores valores de porosidade total dentro da terceira e quarta coleta, com isso podemos inferir que a adição de matéria orgânica no solo colabora com o aumento da porosidade do solo.

2.3.3 Caracterização Física e Físico-hídrica

2.3.3.1 Granulometria

Os resultados das análises granulométricas são apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Valores médios da granulometria

Experimento	Profundidade	Argila	Silte	Areia
	----- m -----			
Sem erosão	0 – 0,12	60,5	13,5	26,0
	0,12 – 0,24	62,5	13,5	24,0
Com erosão	0 – 0,12	67,5	8,0	25,0
	0,12 – 0,24	70,5	7,5	22,0

Para ambos os experimentos a porcentagem de argila foi superior a 60%, sendo o horizonte classificado como de textura muito argilosa. No experimento com erosão a porcentagem de argila é um pouco maior com relação ao experimento sem erosão, pois com a simulação da erosão, foi removido aproximadamente 0,5 m de solo, sendo estas amostras retiradas dos horizontes Bn1 e Bn2. A porcentagem de silte é praticamente igual nas duas profundidades do mesmo experimento, sendo de valor menor no experimento com erosão comparando com o experimento sem erosão. Há uma redução no valor da porcentagem de areia à medida que passamos das profundidades de 0 – 0,12 m para 0,12 – 0,24 m para ambos os experimentos.

2.3.3.2 Densidade

Os valores plotados nos gráficos da Figura 16, são valores médios de densidade do solo, constituído de 8 repetições dentro de cada dose de composto orgânico.

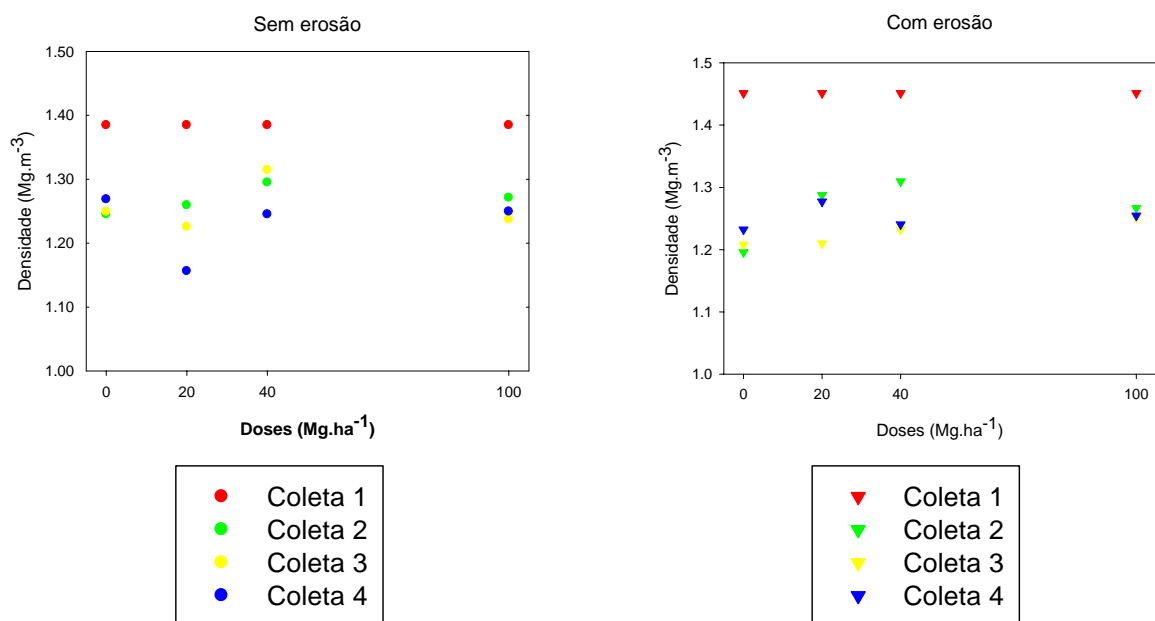


Figura 16 - Médias das densidades do solo

Como observado nos gráficos da Figura 16, a densidade do solo diminuiu bastante da primeira coleta com relação as demais. Uma explicação para isso é o revolvimento do solo pela incorporação do composto orgânico realizado após essa primeira coleta, ao desagregar o solo proporcionou a diminuição da densidade do solo.

Na dose de 0 Mg.ha⁻¹ observa-se que há um ligeiro aumento na densidade do solo a partir da segunda coleta ao longo do tempo e em ambos os experimentos. Mas este é uma exceção do que ocorreu de maneira geral com os valores de densidade do solo, que diminuiriam ao longo do tempo.

Nota-se que nas doses de 20 e 40 Mg.ha⁻¹ os valores de densidade variam bastante e seguem a mesma tendência geral de serem mais baixos ao longo do tempo, mas possuem uma ampla variação. Este comportamento não é percebido pela dose de 100 Mg.ha⁻¹, que após a redução da densidade da segunda coleta em diante permaneceu quase que sempre com o mesmo valor de densidade, sofrendo um pequeno decréscimo nas últimas coletas. Poderíamos afirmar que com uma alta dose de composto garantiríamos uma menor variação da densidade do solo ao longo do tempo.

Quando comparamos os dados de densidade da Figura 16 com os dados da porosidade total da Figura 15, comprova-se a relação entre estes dados, pois com o aumento da porosidade total houve uma diminuição da densidade do solo.

2.3.3.3 Retenção de Água no Solo

No gráfico $0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ da Figura 17, nota-se que ao longo do tempo, existe uma melhoria na retenção da água no solo. Visto que neste tratamento não houve incorporação de dose de composto orgânico nas parcelas, esta diferença nos valores de cada coleta, principalmente nas coletas 3 e 4, pode ser explicada pela ação dos plantios de adubos verdes que colaboraram um pouco com o fornecimento de matéria orgânica e na melhor estruturação do solo.

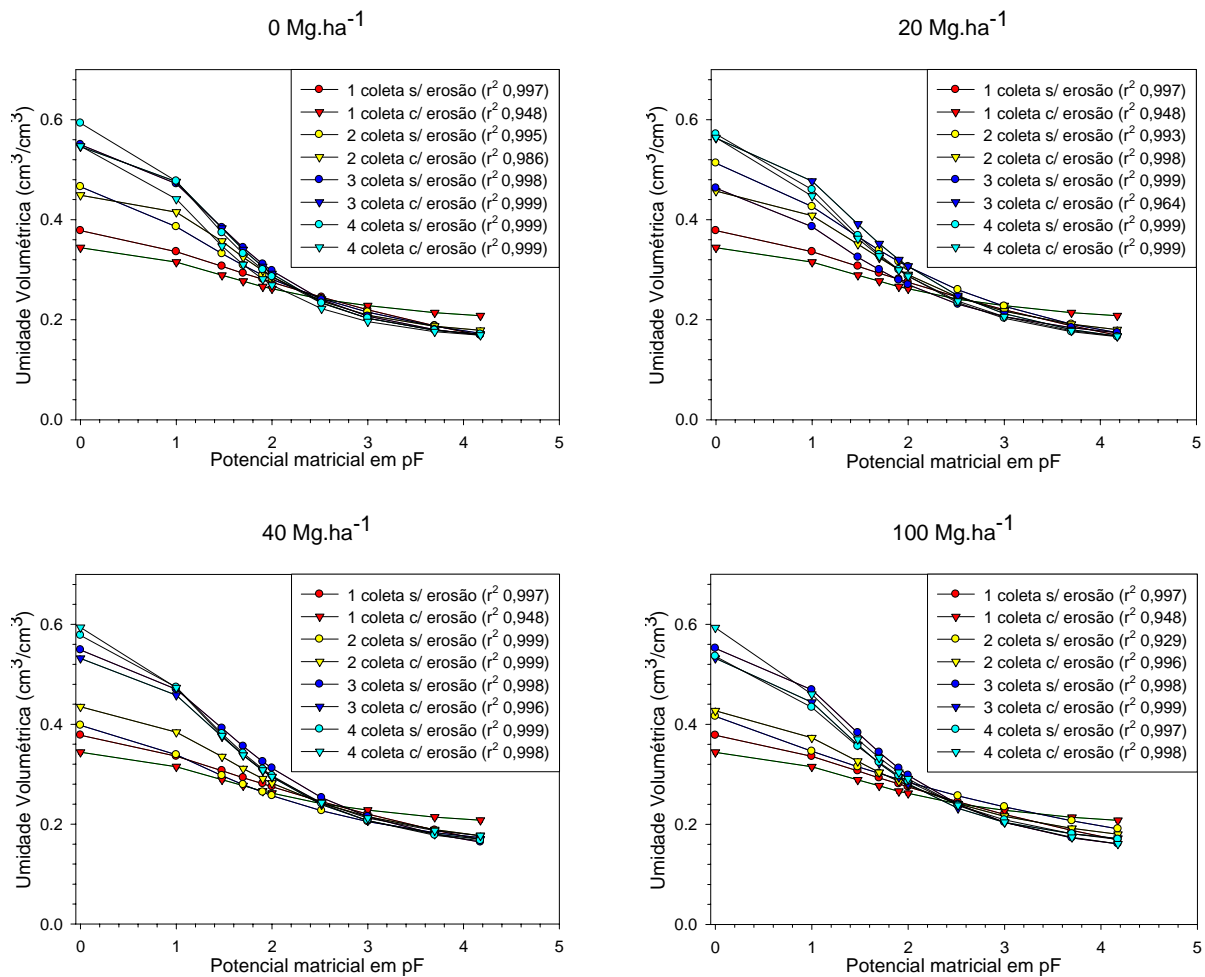


Figura 17 - Gráfico da curva de retenção de água no solo com os valores ajustados e o r^2

Com a aplicação de $20 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ nota-se uma pequena melhoria na retenção de água nos potenciais mais altos, mas esta diferença é bem pequena. Já na dose de $40 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ começa a haver uma diferença um pouco mais evidente da retenção de água, mantendo o mesmo padrão.

Esta diferença inicia-se nos potenciais intermediários observando-se uma separação mais pronunciada entre a primeira e segunda coleta com a terceira e quarta. Os valores de umidade na primeira e segunda coleta ainda estão mais próximos, e a partir da aplicação de 40 Mg.ha^{-1} de composto começa a diferenciar, mostrando que a aplicação desta dose melhora a retenção de água nos potenciais até 1,8 pF. Este comportamento também evidente na dose de 100 Mg.ha^{-1} , onde esta separação entre as coletas aumenta nos potenciais até 1,8 pF.

Após analisar os gráficos podemos então ver que com o passar do tempo a retenção de água no solo aumenta nos potenciais até 1,8 pF e, além disso, observa-se também que nos tratamentos com 40 e 100 Mg.ha^{-1} as curvas de retenção diferenciam-se dos outros tratamentos melhorando a retenção de água nos potenciais mais baixos.

Esse comportamento foi bem observado a campo na realização da irrigação do solo no período seco do ano quando estava instalada a cultura do Tremoço branco. Nas parcelas de 40 e principalmente de 100 Mg.ha^{-1} as plantas apresentavam-se visualmente com menos necessidade de água do que nos tratamentos de 0 e 20 Mg.ha^{-1} , as quais ocorreu uma mortalidade grande de plantas. Esse comportamento foi refletido nas diferenças dos pesos de matéria seca que serão apresentados adiante nas Tabelas 9 a 11.

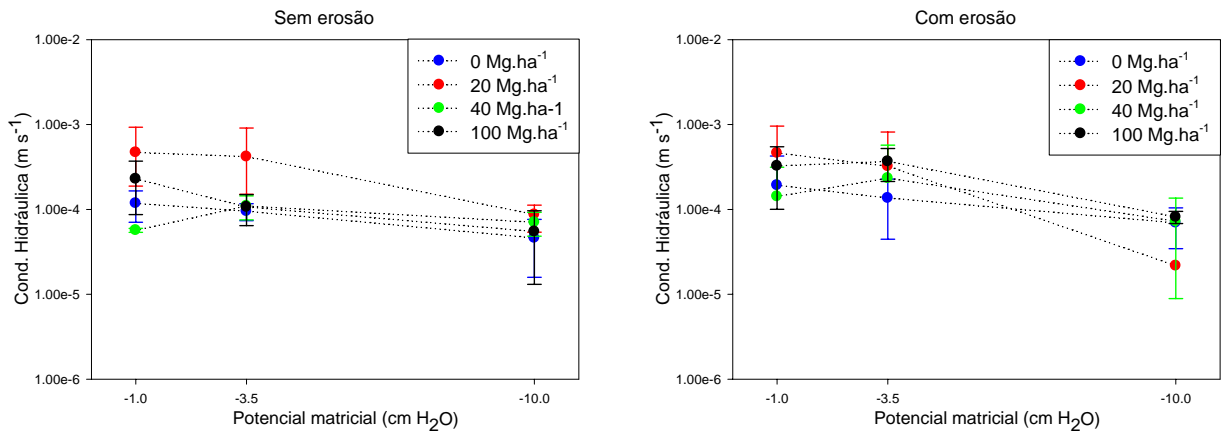
Nos gráficos da Figura 17 podemos também obter informações sobre a evolução da porosidade destes solos nos diferentes tratamentos. Os meso e macroporos são os que possuem diâmetro superior a $50\mu\text{m}$ (BULLOCK et al., 1985) e os micro poros diâmetros menores que $50\mu\text{m}$. Este diâmetro de poro corresponde ao potencial matricial de 6 Kpa ou aproximadamente 1,8pF (RESCK, 2002). Observa-se na Figura 17 um aumento da retenção de água nos potenciais abaixo deste limiar nos tratamentos e 40 e 100 Mg.ha^{-1} o que resulta num melhor desenvolvimento dos macro e mesoporos em função da adição do composto nestas doses. Este comportamento se deve principalmente à melhoria no desenvolvimento de poros do tipo complexos de diâmetro equivalente maior que $1000\mu\text{m}$ como foi discutido nas Figuras 11 a 14.

Os gráficos da curva de retenção de água no solo da Figura 17 juntamente com os dados de porosidade total do solo (Figura 15) reforçam a melhoria na porosidade, principalmente dos meso e macroporos.

2.3.3.4 Condutividade Hidráulica Saturada

A Figura 18 apresenta os resultados da condutividade hidráulica por coleta (2, 3 e 4) e por experimento (sem e com erosão) para cada dose de composto (0, 20, 40 e 100 Mg.ha⁻¹).

Coleta 2



Coleta 3

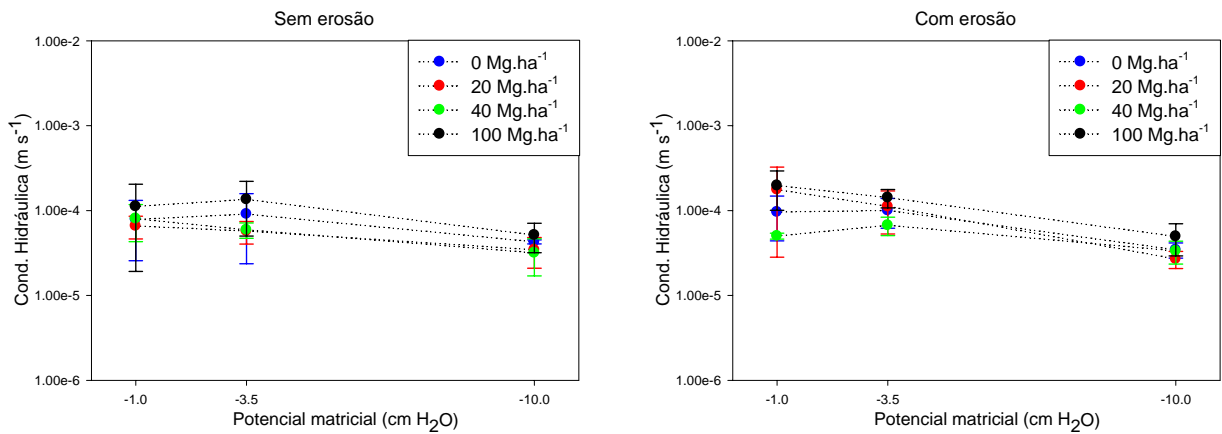


Figura 18 - Gráficos de condutividade hidráulica tratamentos x coleta

Coleta 4

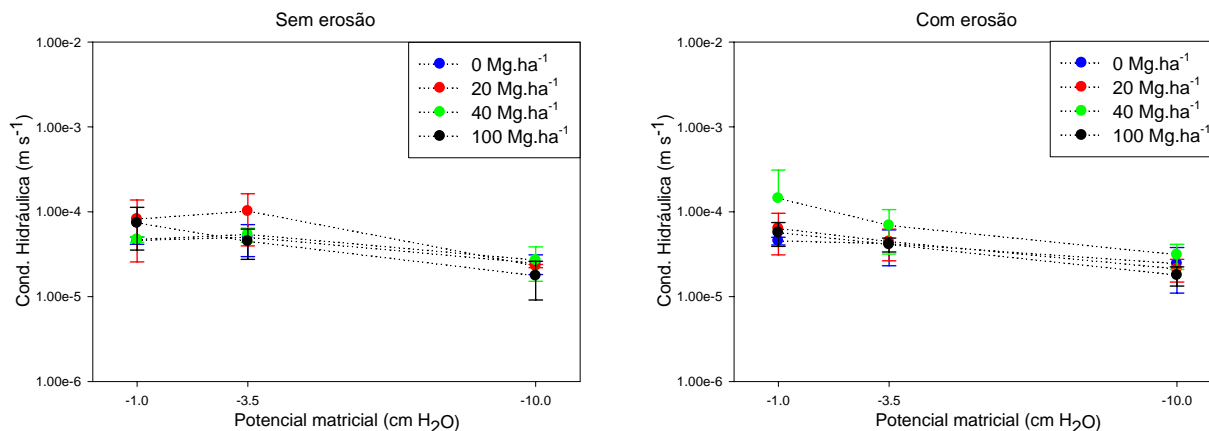


Figura 18 - Gráficos de condutividade hidráulica tratamentos x coleta

Analisando os gráficos que representam a segunda coleta de condutividade hidráulica (Figura 18), observa-se que, tanto no gráfico do experimento sem erosão assim como no gráfico do experimento com erosão, os valores de condutividade hidráulica apresentam uma alta variabilidade. Apesar da alta variabilidade nos valores, não houve diferença estatística (Anexo E) entre as doses e entre os experimentos nos valores de condutividade hidráulica para os três potenciais. Nesta segunda coleta o composto foi aplicado e incorporado um mês antes desta leitura com o aparelho, portanto o solo se apresentava com sua estrutura ainda muito modificada devido a incorporação do composto e ao pouco tempo para que o composto pudesse fazer efeito na agregação do solo, garantindo assim a alta variabilidade nos valores encontrados.

Já na terceira coleta, a dose de 100 Mg.ha⁻¹ apresentou a melhor condutividade hidráulica nos dois experimentos, apesar de não ter havido diferença estatística nos valores calculados de condutividade hidráulica entre os tratamentos e experimentos para os três potenciais matriciais (Anexo F). Este comportamento já mostra indícios de que a matéria orgânica do composto poderia ter protegido os agregados, fazendo com que houvesse pouca formação de crostas na superfície na dose de 100 Mg.ha⁻¹, assim como mostrado nas imagens da porosidade do solo da Figura 11 a 12, melhorando assim a condutividade do solo. Mas a princípio foi necessária uma dose bem elevada para que ocorresse uma melhora, mas sem significância.

Na quarta coleta, novamente não apresenta diferença estatística nos valores de condutividade hidráulica para os três potenciais nos tratamentos e entre experimentos (ANEXO G). Os valores medidos e calculados são muito próximos entre as doses de composto, exceto o potencial -3,5 da dose 20 Mg.ha⁻¹ do gráfico do experimento sem erosão da Figura 18, que acabou ficando com maior valor de condutividade do que as demais doses de composto.

No experimento com erosão da quarta coleta, o gráfico da Figura 18 mostra que a dose de 40 Mg.ha⁻¹ apresentou uma melhor condutividade em todos os potenciais do que as demais doses de composto, que foram bastante semelhantes na condução de água no solo.

Este comportamento parte contra os valores e as tendências apresentadas de retenção de água no solo assim como os de porosidade. Nestes outros resultados a tendência foi a melhoria na recuperação do solo no experimento com erosão, onde nas maiores doses de composto, principalmente a de 100 Mg.ha⁻¹, foram obtidas os melhores resultados nas coletas, e à medida que aumentava o tempo, ou seja, ao longo das coletas, a melhoria era mais perceptível.

Os gráficos da Figura 19 apresentam os valores de condutividade hidráulica do solo. Nestes, observa-se a distribuição da condutividade ao longo das coletas, divididas pelas doses de composto orgânico.

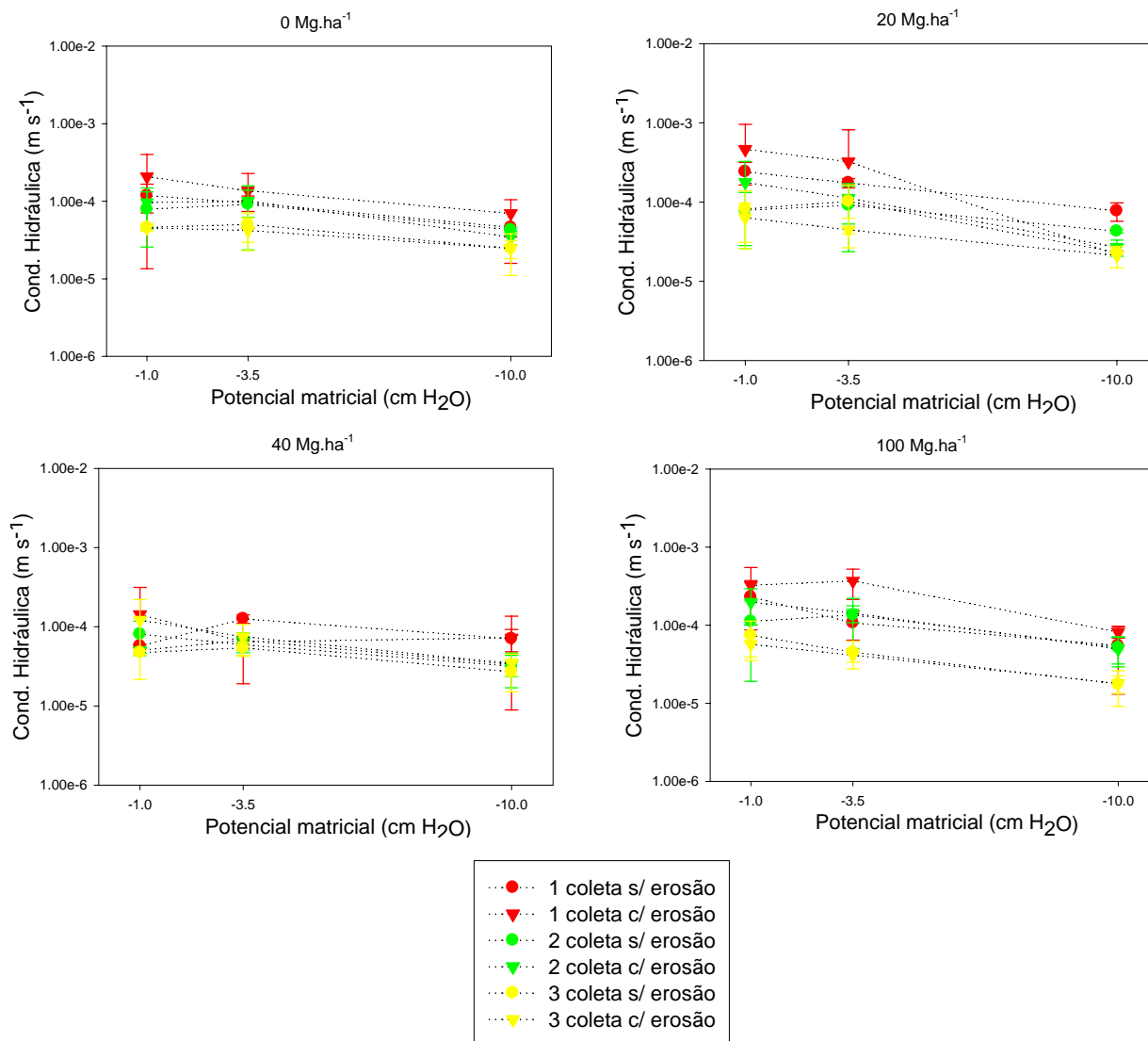


Figura 19 - Gráficos de condutividade hidráulica tratamentos x coleta

A coleta 2 de maneira geral apresentou valores superiores de condutividade hidráulica do que as demais coletas em todas as doses de composto aplicada e ainda em ambos os experimentos. Isso pode ser explicado pelo revolvimento do solo para a incorporação do composto no solo. Essa ação quebrou toda a estrutura da superfície inclusive as crostas que por ventura estivessem por lá, conferindo assim uma maior condução de água no solo.

Na terceira coleta os valores de condutividade caem um pouco com relação a segunda coleta nos dois experimentos, mas esta queda não é muito grande, principalmente nas doses de 0 e 40 Mg.ha⁻¹ como mostrado nos gráficos da Figura 19.

Quando observamos a quarta coleta notamos a mesma tendência de redução da condutividade nos experimentos sem e com erosão com relação às demais coletas. No gráfico de 40 Mg. ha^{-1} esta diferença é bem pequena, sendo quase inexistente entre a coleta 3 e coleta 4, mas mesmo assim notasse esta pequena queda nos valores de condutividade.

De modo geral, nos gráficos da Figura 19 nota-se um decréscimo dos valores de condutividade hidráulica do solo dos dois experimentos e em todas as doses de composto orgânico aplicado ao longo do tempo. Uma explicação para a redução da condutividade hidráulica do solo nos experimentos é o efeito do encrostamento na superfície do solo. Ao olharmos as imagens das Figuras 8 a 14 percebemos que ao longo das coletas há um aumento na formação de crostas superficiais nas parcelas. Cada coleta e cada dose de composto o efeito do encrostamento é diferente, devido à rapidez com que foi formada a crosta (espessura).

Em algumas amostras que apresentavam um aumento na porosidade total, foi mostrado e discutido sobre o aumento também das vesículas. Estas vesículas no plano bidimensional são contadas como sendo poros principalmente do tipo arredondados. A porosidade neste caso aumenta, mas ao passarmos esta informação para o plano tridimensional estas vesículas não estão conectadas, reduzindo assim a condução de água ao longo do solo.

Talvez o efeito do composto orgânico na condutividade hidráulica poderia ser melhor, caso tivéssemos mais tempo de coletas. Espera-se que com uma reaplicação do composto e o monitoramento por mais alguns anos de experimento, poderíamos talvez notar uma melhoria na condução de água pelo acréscimo do composto. Isto em função do aumento da estabilidade do agregado com a ação do composto orgânico, diminuindo o desprendimento de partículas do solo durante as chuvas. Assim a formação de crostas superficiais seria bastante reduzida e a infiltração de água no solo seria maior.

2.3.4 Matéria Seca

Nas Tabelas 9 a 11 estão apresentados os valores médios dos pesos secos do material vegetal das culturas e também o teste de médias entre os experimentos e as doses de composto aplicado.

Tabela 9 – Teste de médias dos valores de peso seco do Tremoço branco coleta 1

----- Experimento -----						
Tratamentos	Sem erosão			Com erosão		
Mg.ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹			Mg.ha ⁻¹		
0	0,13	b	A	0,07	b	A
20	0,14	b	A	0,08	b	A
40	0,19	b	A	0,14	ab	A
100	0,33	a	A	0,21	a	B

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

No experimento sem erosão da primeira coleta, apenas a dose de 100 Mg.ha⁻¹ obteve diferença estatística na produção de matéria seca. As outras doses não tiveram diferença significativa entre si, apesar de haver uma tendência no aumento da matéria seca à medida que aumentamos a dose de composto orgânico aplicado no solo.

A maior produção de matéria seca no experimento com erosão da primeira coleta foi obtida pela dose de 100 Mg.ha⁻¹. E as doses de 0 e 20 Mg.ha⁻¹ obtiveram as menores produções de matéria seca não sendo diferentes entre si estatisticamente. Com uma produção intermediária ficou a dose de 40 Mg.ha⁻¹ de composto.

Comparando a produção de matéria seca entre os experimentos e entre as mesmas doses de composto orgânico, a única dose que obteve diferença estatística foi a de 100 Mg.ha⁻¹. As outras doses não tiveram diferença significativa de produção entre os dois experimentos. Ou seja, até a dose de 40 Mg.ha⁻¹ no experimento com erosão, obtemos uma produção de matéria seca semelhante ao experimento sem erosão. Podemos dizer que para esta produção as doses de 0, 20 e 40 Mg.ha⁻¹ foram iguais na produção de matéria seca entre os experimentos. Já não sendo verdadeira esta afirmação para a dose de 100 Mg.ha⁻¹. Ela obteve diferença estatística entre os dois experimentos. Sendo que o experimento sem erosão é superior ao experimento com erosão na produção de matéria seca.

Na Figura 20 é possível ver os dois experimentos e as diferenças no crescimento da cultura do Tremoço branco no campo. Na parte de cima de ambas as fotos pode-se observar o experimento sem erosão e logo abaixo o experimento com erosão.



Foto 25 – Vista dos dois experimentos



Foto 26 – Vista dos dois experimentos

Figura 20 - Fotos dos experimentos e o crescimento da cultura do Tremoço branco

A dose de 100 Mg.ha^{-1} no experimento sem erosão apresentou a maior produção de matéria seca da cultura da Crotalária, mas não diferenciando-se estatisticamente da dose de 40 Mg.ha^{-1} . Este comportamento também ocorreu no experimento com erosão. Para estas mesmas doses de composto não houve diferença significativa quando comparamos a mesma dose entre os experimentos (Tabela 10).

Tabela 10 - Teste de médias dos valores de peso seco do Crotalária juncea coleta 2

Tratamentos	----- Experimento -----					
	Sem erosão			Com erosão		
	Mg.ha^{-1}	Mg.ha^{-1}		Mg.ha^{-1}		
0	2,96	b	A	1,14	b	B
20	3,75	ab	A	1,98	ab	B
40	4,67	a	A	3,28	a	A
100	4,79	a	A	4,60	a	A

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Podemos dizer que só foi possível atingir no experimento com erosão o mesmo nível de produção matéria seca de *Crotalaria juncea* do experimento sem erosão quando aplicado a dose de 40 e 100 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

A dose de 20 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ficou com valor intermediário de matéria seca em ambos os experimento, assim como a dose de 0 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ foi a que menos produziu também nos dois experimentos. Para as duas doses, quando comparadas entre os dois experimentos, há diferença estatística, ou seja, as produções do experimento com erosão está em um patamar mais baixo do que as produções do experimento sem erosão.

Para esta coleta também nota-se a tendência de aumento na produção de matéria seca na cultura à medida que aumentamos a dose de composto orgânica aplicado no solo em ambos os experimentos.

Na Figura 21 podemos observar o desenvolvimento da cultura da *Crotalaria juncea* nos dois experimentos a campo e as diferenças nos tratamentos aplicados.



Foto 27 – Vista dos dois experimentos



Foto 28 – Vista dos dois experimentos

Figura 21 - Fotos dos experimentos e o crescimento da cultura da *Crotalaria juncea*

Novamente a dose de 100 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no experimento sem erosão possui a maior produção de matéria seca (Tabela 11). Ela se destaca e difere estatisticamente das demais doses que não diferem entre si. No experimento com erosão as produções das diferentes doses de composto não se diferenciaram estatisticamente entre si.

Tabela 11 - Teste de médias dos valores de peso seco do Tremoço branco coleta 3

----- Experimento -----						
Tratamentos	Sem erosão			Com erosão		
Mg.ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹			Mg.ha ⁻¹		
0	0,65	b	A	0,16	a	B
20	0,77	b	A	0,14	a	B
40	0,82	b	A	0,30	a	B
100	1,45	a	A	0,35	a	B

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nota-se um aumento da produção de matéria seca quando aumentamos a dose de composto aplicado em ambos os experimentos, seguindo a mesma tendência observada desde a primeira coleta de matéria seca (Tabelas 9 e 10).

Ao fazermos a análise conjunta, os dois experimento diferem entre si entre as mesmas doses, mostrando o baixo rendimento do experimento com erosão. Onde não foi possível estabelecer o mesmo padrão de produção de matéria seca neste experimento comparado com o sem erosão.

Na Figura 22 vemos esta diferença no campo no crescimento da cultura do Tremoço branco em ambos os experimentos.



Foto 29 – Vista dos dois experimentos ao fundo sem erosão



Foto 30 – Vista dos dois experimentos ao fundo com erosão

Figura 22 - Fotos dos experimentos e o crescimento da cultura do Tremoço branco

2.4 Discussão Geral

O solo no local estudado possui uma boa fertilidade na camada superficial e à medida que passamos para as camadas mais subsuperficiais os valores dos elementos diminuem. No experimento com erosão nota-se uma recuperação da fertilidade química interessante, pois em todas as coletas houve um aumento nos teores dos elementos analisados (Tabela 3). Estes ficavam abaixo dos valores do experimento sem erosão, mas sempre próximo deles. Uma tendência observada foi que quanto maior a dose de composto orgânico aplicado no solo, maior era o valor dos elementos analisados, como por exemplo, a matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Fazendo uma análise um pouco mais aprofundada da matéria orgânica no solo, de maneira geral houve um aumento nos valores absolutos ao longo dos dois experimentos. Não houve diferença estatística nos valores de matéria orgânica entres as doses e entre os experimentos (ANEXOS C e D). Apesar disso, notou-se um aumento gradativo nos valores de matéria orgânica à medida que aumentávamos a dose de composto orgânico. Essa pequena diferença possibilitou uma diferenciação na retenção de água no solo (Figura 17) e de outros parâmetros estudados.

A ação da matéria orgânica no solo colaborou com um aumento na retenção de água no solo a partir das doses de 40 e 100 Mg.ha⁻¹ (Figura 17) ao longo do tempo. Nota-se que nestas duas doses as curvas de retenção de água diferenciam-se das doses de 0 e 20 Mg.ha⁻¹ principalmente nos potenciais abaixo de 1,8 pF. Este comportamento foi registrado em ambos os experimentos mostrando que há recuperação da retenção de água no solo em níveis semelhantes a quando não temos a erosão.

Esta melhor retenção de água favoreceu juntamente com a melhoria da fertilidade química, o crescimento das culturas no período seco garantindo assim uma maior produção de matéria seca da cultura implantada, principalmente na dose de 100 Mg.ha⁻¹ (Tabela 9). Este resultado foi observado na primeira coleta de matéria seca da cultura do Tremoço, onde no intervalo das doses de 0 a 40 Mg.ha⁻¹ as produções de matéria seca foram iguais estatisticamente entre os experimentos. Mesmo observando os valores de peso seco e notarmos a tendência de aumento à medida que aumentamos a dose de composto, elas não diferem estatisticamente. A única dose nesta coleta que obteve diferença foi a de 100 Mg.ha⁻¹ do experimento sem erosão. Já na segunda coleta as doses de 0 e de 20 Mg.ha⁻¹ foram diferentes entre os dois experimentos.

Mostrando que é necessária uma dose mais elevada para que as produções fossem semelhantes entre os experimentos, assim como foram as doses de 40 e 100 Mg.ha⁻¹ (Tabela 10). Diferentemente da terceira coleta que não foi possível obter uma dose de composto que fosse suficiente para estabelecer um mesmo patamar de produção de matéria seca da cultura do Tremoço (Tabela 11).

Após 8 meses de composto aplicado no solo, observou-se um aumento na porosidade total ao longo do experimento comparando com os valores iniciais da primeira coleta (Figura 8). Quando comparamos os valores dos dois experimentos com relação à porosidade, notamos que no experimento com erosão os valores foram superiores aos experimentos sem erosão entre as mesmas doses de composto (Figura 15).

Quando comparamos por doses de composto orgânico aplicado no solo, a dose de 100 Mg.ha⁻¹ é a principal responsável pela melhoria nos valores de porosidade a partir da terceira e quarta coleta (Figuras 11 a 14) para ambos os experimentos. Logo abaixo, estão as doses de 20 e 40 Mg.ha⁻¹ onde se observou melhorias intermediárias na porosidade. A dose de 0 Mg.ha⁻¹ foi a que obteve os menores valores de porosidade total dentro da terceira e quarta coleta. Houve também evolução das formas e tamanhos dos poros ao longo dos experimentos. No início, o tipo de poro predominante era o arredondado de tamanho médio (Figura 8). Após o distúrbio do preparo do solo houve uma mudança para os complexos de tamanho grande, sendo ainda maior essa dominância a partir da terceira coleta em ambos os experimentos (Figuras 9 a 14). De forma geral os poros arredondados e os alongados são dominantes nos tamanhos médios e os complexos no tamanho grande. Portanto, infere-se que a adição de matéria orgânica no solo provoca um aumento da porosidade do solo.

De maneira geral o aumento na porosidade total proporcionou uma redução na densidade do solo ao longo do tempo para as doses de 20, 40 e 100 Mg.ha⁻¹ de composto (Figura 16). Diferentemente a dose de 0 Mg.ha⁻¹ apresentou uma leve tendência de aumentar seus valores de densidade. Este comportamento foi observado nos dois experimentos, que obtiveram valores próximos entre eles. Notou-se também que com uma alta dose de composto há uma menor variação da densidade do solo ao longo do tempo, sugerindo uma estabilidade maior da estrutura do solo.

Na Figura 19 observamos um decréscimo dos valores de condutividade hidráulica do solo dos dois experimentos e em todas as doses de composto orgânico aplicado ao longo do tempo.

Essa redução pode ser explicada pelo aumento do encrostamento superficial do solo durante os experimentos principalmente nas doses de 0 e 20 Mg.ha⁻¹, dificultando a infiltração de água no solo. Observando as Figuras 8 a 14 percebe-se que ao longo das coletas há um aumento na formação de crostas superficiais nas parcelas. Para cada coleta e para cada dose de composto o efeito do encrostamento foi diferente. Verificou-se uma velocidade de formação e espessamento da crosta diferenciada entre os tratamentos e os experimentos nas diferentes épocas de coleta.

Imagina-se que com o aumento da porosidade a condução de água seria mais facilitada, só que em muitas das amostras houve a presença de vesículas, principalmente nas doses de 0 e 20 Mg.ha⁻¹. Estas vesículas no plano bidimensional são contadas na análise de imagens como sendo poros principalmente do tipo arredondados. A porosidade neste caso aumenta, mas ao passarmos esta informação para o plano tridimensional estas vesículas não estão conectadas, reduzindo assim a condução de água no solo. Espera-se que com a reaplicação do composto orgânico nesta área, haverá uma maior estabilidade dos agregados, reduzindo assim a formação de crostas superficiais que reduzem a infiltração de água no solo.

3 CONCLUSÕES

1. A aplicação de doses de $100 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de composto orgânico colabora com uma aceleração na recuperação dos atributos químicos e físicos do solo degradado pelo processo erosivo.
2. As maiores doses de composto orgânico aplicado implicam em maiores produções de matéria seca.
3. Há um aumento na porosidade do solo com a aplicação de composto orgânico.
4. Há uma redução na formação de vesículas nas crostas superficiais com aplicação de doses de 40 e $100 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de composto orgânico.
5. Ausência ou menores doses de composto evidenciam o efeito do impacto da gota de chuva no aumento na formação de vesículas das crostas superficiais.
6. A aplicação de maiores doses de composto proporciona uma maior retenção de água nos potenciais mais intermediários.

REFERÊNCIAS

- ANKENY, M.D.; AHMED, M.; KASPAR, T.C.; HORTON, R. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 467-470, 1991.
- BAHIA, V.G.; CURTI, N.; CARMO, D.N. Fundamentos de erosão do solo (tipos, formas mecanismos, fatores determinantes e controle). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 176, n. 16, p. 25-31, 1992.
- BAJRACHARYA, R.M.; LAL, R. Land use effects on soil crusting and hydraulic response of surface crusts on a tropical Alfisol. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 13, p. 50-72, 1999.
- BARROSO, D.G.; SILVA, M.L.N. Poluição e conservação dos recursos naturais: solo e água. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 176, n. 16, p. 17-24, 1992.
- BENITO, E.; DIAZ-FIERROS, F. Effects of cropping on the structural stability of soils rich in organic matter. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 23, p. 153-161, 1992.
- BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Campinas: CATI, 1993. 15 p. (Manual Técnico, 38).
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 2005. 355 p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. Prentice Hall: Upper Saddle River, 1999. 881 p.
- BRESSON, L.M.; BOIFFIN, J. Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field. **Geoderma**, Amsterdam, v. 47, p. 301-325, 1990.
- BRYAN, R.B. Water erosion by splash and the erodibility of Albertan soils. **Geografiska Annaler**, Stockholm, v. 56, p. 159-181, 1974.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine Research Publication, 1985. 152 p.
- CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106).
- CARVALHO, P.E.R. Técnicas de recuperação e manejo de áreas degradadas. In: GALVÃO, A.P.M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p. 251-268.

CASENAVE, A.; VALENTIN, C. **Les états de surface de la zone sahélienne**: influence sur l'infiltration. Paris: l'ORSTOM, 1989. 229 p.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 107-164, 2003.

CHANEY, K.; SWIFT, R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 35, p. 223-230. 1984.

CHEN, Y.; TARCHITZKY, J.; BROUWER, J.; MORIN, J.; BANIN, A. Scanning electron microscope observations on soil crusts and their formation. **Soil Science**, New Brunswick, v. 130, p. 49-55, 1980.

CHERTKOV, V.Y. A physically based model for the water retention curve of clay pastes. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 286, p. 203-226, 2004.

CHESWORTH, W. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. Dordrecht: Springer, 2008. 902 p.

COGO, N.P.; DENARDIN, J.E.; BERTOL, I.; KOCHHANN, R.A. Retomada, redefinição e intensificação da pesquisa em erosão do solo no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais ...** Santa Maria: SBCS; UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólico e B textural sobre diabásio**. 1999. 127 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

COSTA, M.P. da. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo**. 1983. 137 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

DARBOUX, F.; DAVY, P.; GASCUEL-ODOUX, C.; HUANG, C. Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments. **Catena**, Amsterdam, v. 46, p. 125-139, 2001.

DePLOEY, J. Some experimental data on slopewash and wind action, with reference to quaternary morphogenesis in Belgium. **Earth Surface Processes**, Chichester, v. 2, p.101-115, 1977.

DEXTER, A.R. Soil structure: the key to soil function. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed.). **Sustainable land management – environmental protection**: a soil physical approach. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p. 57-69. (Advances in GeoEcology, 35).

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 191-192, 2000.

- DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 4, p. 60-64, 1939.
- EKWE, E.I. The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregates size on soil detachment. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 4, p. 197-207, 1991.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies – part I. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 145-146, Apr. 1947.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- EMERSON, W.W. Physical properties and structure. In: RUSSELL, J.S.; GREACEN, E.L. (Ed.). **Soil factors in crop production in a semi-arid environment**. St. Lucia: University of Queensland Press, 1977. p. 78-104.
- FOX, D.M.; LE BISSONNAIS, Y.; BRUAND, A. The effect of ponding depth on infiltration in a crusted surface depression. **Catena**, Amsterdam, v. 32, p. 87-100, 1998.
- FREIRE, O. **Agregação de solos, efeito da matéria orgânica, calagem, adubação e vegetação**. 1967. 103 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1967.
- GHILBERTO, P.J. **Metodologias para obtenção de parâmetros utilizados em modelos de infiltração da água no solo**. 1999. 79 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- GOLCHIN, A.; CLARKE, P.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 33, p. 975-993, 1995.
- HAUG, R.T. **The practical handbook of compost engineering**. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. 717 p.
- HUANG, C.; BRADFORD, J.M.; CUSHMAN, J.H. A numerical study of raindrop impact phenomena: the elastic deformation case. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 855-861, 1983.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Código Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 05 out. 2005.
- JONES, R.J.A. Assessing the vulnerability of soils to degradation. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed.). **Sustainable land management – environmental protection: a soil physical approach**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p. 33-44. (Advances in Geoecology, 35).

JUHÁSZ, C.E.P. **Relação solo-água-vegetação em uma topossequência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP**. 2005. 110 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 3.ed. Piracicaba: O Autor, 2002. 171 p.

LAL, R. Agronomic consequences of soil erosion. In: DE VRIES, P.; AGUS, F.; KERR, J., (Ed.). **Soil erosion at multiple scales**: principals and methods for assessing causes and impacts. Wallingford: International Board for Soil Research and Management; CABI Publ., 1998. p. 149-160.

LE BISSONNAIS, Y.; ARROUAYS, D. Aggregate stability assessment of soil crustability and erodibility. II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 48, p. 39-48, 1997.

LE BISSONNAIS, Y.; BRUAND, A. Crust micromorphology and runoff generation on silty soil materials during different seasons. In: POESEN, J.W.A.; NEARING, M.A. (Ed.). **Soil surface sealing and crusting**. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1993. p. 1-16. (Catena Supplement, 24).

LOGAN, T.J., Chemical degradation of soil. In: LAL, R.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil degradation**. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 187-221. (Advances in Soil Science, 11).

MACEDO, A.; CRESTANA, S.; VAZ, C.M.P. X-ray microtomography to investigate thin layers of soil clod. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, p. 249-253, 1998.

McINTYRE, D.C. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v. 85, n. 5, p. 185-189, 1958.

MERMUT, A.R.; LUK, S.H.; RÖMKENS, M.J.M.; POESEN J.W.A. Micromorphological and mineralogical components of surface sealing in loess soils from different geographic regions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 66, p. 71-84, 1995.

MERTEN G.H.; NEARING, M.A. Effect of sediment load on soil detachment and deposition in rills. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 861-868, 2001.

MOLLOY, P.; PEREIRA, J. C.; SPAROVEK, G.; LAMBAIS, M. R. Efeitos de minhocas e microrganismos na recuperação de áreas degradadas após a aplicação de matéria orgânica no solo In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Solo-suelo 96**: trabalhos. Piracicaba: SBCS; SLCS, 1996. 1 CD-ROM.

MORGAN, R.P.C. **Erosi'on y conservaci'on del suelo**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1997. 343 p.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Rothamsted: A.B. Academic Publ., 1986. 149 p.

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 498-508, 1977.

NEARING, M.A.; PARKER, S.C. Detachment of soil by flowing water under turbulent and laminar conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1612-1614, 1994.

NOLLA, D. **Erosão do solo: o grande desafio**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1982. 412 p.

OLDEMAN, L.R.; HAKKELINK, R.T.A.; SOMBROEK, W. **World map of the status of human induced soil degradation: an explanatory note**. Amsterdam: International Soil Reference and Information Centre, 1990. 27 p.

PAGLIAI, M. Soil crusting. In: GHIRARDI, G.C. (Org.). **College on soil physics**. Trieste: ICTP, 2003. 24 p. (Lecture Notes).

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. The pore system as an indicator of soil quality. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed.). **Sustainable land management – environmental protection: a soil physical approach**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p.71-82. (Advances in Geoecology, 35)

PAGLIAI, M.; BIISDOM, E.B.A.; LEDIN, S. Changes in surface structure (crusting) after application of sewage sludge and pig slurry to cultivated agricultural soils in northern Italy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 30, p. 35-53, 1983a.

PENTEADO, S.R. **Adubação orgânica: compostos orgânicos e biofertilizantes**. 2.ed. Campinas: Viaverde Agroecologia, 2006. 150 p.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

PERROUX, K.M.; WHITE, I. Designs for disk permeameters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 5, p. 1205-1215, 1988.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; McNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. **Science**, Washington, v. 267, p. 1117-1123, 1995.

POESEN, J.W. Mechanisms of overland flow generation and sediment production on loamy and sandy soils with and without rock fragments. In: PARSONS, A.; ABRAHAMS A. (Ed.). **Overland flow hydraulics and erosion mechanics**. London: U.C.L. Press, 1992. p. 275-305.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.A. **Análise de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 165 p.

RAMOS, L.N.; SILVA, R.R.; LIMA, O.S.; COSTA, J.S.; NACIMENTO, M.S.; GOTZ, G.; CORREIA, M.A.R.; NUNES, T.V. Levantamento de aptidão agrícola no assentamento vale verde no sul do estado do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais ...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

RESCK, D.V.S. Perspectivas do uso e manejo dos solos no Cerrado. In: ARAÚJO, Q.R. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 218-237.

RINGROSE-VOASE, A.J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, p. 777-813, 1991.

RINGROSE-VOASE, A.J.; BULLOCK, P. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 35, p. 673-684, 1984.

SÁ, J.C.M. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto**. 2001 141 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. 508 p.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Ed. Rima, 2003. 138 p.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M.; LIMA, L.A.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M. Resistência ao salpico provocado por impacto de gotas de chuva simulada em latossolos e sua relação com características químicas e mineralógicas. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 176-182, 1995.

THORNES, J.B. Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint. In: KIRKBI, M.J.; MORGAN, R.P.C. (Ed.). **Soil erosion**. Chichester: John Wiley, 1980. p. 129-182.

TIBAU, A.O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1978. 172 p.

TOY, T.J.; FOSTER, G.R.; RENARD, K.G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control**. New York: John Wiley, 2002. 338 p.

TUON, R.L. **Base de dados estação automática**. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/postoaut.html>>. Acesso em: 03 jan. 2008.

- VALENTIN, C.; BRESSON, L.M. Soil crusting. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C.; STEWART, B.A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 89-107. (Advances in Soil Science).
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- WEST, L.T.; CHIANG, S.C.; NORTON, L.D. The morphology of surface crusts. In: SUMNER, M.E., STEWART, B.A. (Ed.). **Soil crusting, chemical and physical processes**. Boca Raton: Lewis Publ., 1992. p. 73-92. (Advances in Soil Science).
- WOODING, R.A. Steady infiltration from a shallow circular pond. **Water Resources Research**, Washington, v. 4, p. 1259-1273, 1968.
- YOUNG, R.A.; OLNESS, A.E.; MUTCHLER, C.K.; MOLDENHAUER, W.C. Chemical and physical enrichments of sediment from cropland. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, p. 165-169, 1986.

ANEXOS

Anexo A - Descrição completa do solo estudado

Localização: Fazenda Areão

Data: Janeiro de 2006

Classificação: NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico

Relevo Local: Suave ondulado

Regional: Suave ondulado

Geologia: Formação Corumbataí

Período: Permiano

Material de origem: Siltito

Clima: Cwa

Vegetação: Milho

Drenagem: boa

Pedregosidade: Não pedregosa

Rochosidade: Não rochosa

Erosão: não aparente

Características Morfológicas:

A 0-8cm; 2,5YR 3/4 (cor seca); textura muito argilosa; estrutura forte blocos grandes sub-angulares compactado; consistência duro (seco); firme (úmido); muito pegajoso e muito plástico (molhado); cerosidade ausente; transição difusa.

AB 8-20cm; 2,5YR 3/4 (cor seca); textura muito argilosa; estrutura forte blocos grandes a médios sub angulares; consistência duro (seco); firme (úmido); muito pegajoso e muito plástico (molhado); cerosidade ausente; transição difusa.

Bn1 20-60cm; 2,5YR 3/4 (cor seca); textura muito argilosa; estrutura forte blocos angulares grandes a médios; consistência ligeiramente duro (seco); firme (úmido); muito pegajoso e muito plástico (molhado); cerosidade moderada e comum; transição difusa.

Bn2 60-110cm; 2,5YR 3/6 (cor seca); textura argilosa; estrutura forte granular muito pequena; consistência macio (seco); firme (úmido); muito pegajoso e muito plástico (molhado); cerosidade ausente.

Anexo B – Tabela com a análise química do composto utilizado

Determinações	Umidade Natural	Base Seca	
		60 – 65 °C	110 °C
pH em CaCl ₂ 0,01 M	7,2	..	..
Densidade (g/cm ³)	0,96	..	..
Umidade perdida a 60 – 65 °C (%)	35,34	..	..
Umidade perdida a 65 – 110 °C (%)	1,16	..	..
Umidade Total (%)	36,50	..	..
Inertes	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica Total (combustão) (%)	9,63	14,89	15,17
Materia orgânica compostavel (%)	7,63	11,80	12,02
Matéria org. resistente á compost. (%)	2,00	3,09	3,15
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	5,35	8,27	8,43
Carbono orgânico (%)	4,24	6,56	6,68
Resíduo mineral Total (%)	53,87	83,31	84,83
Resíduo mineral insolúvel (%)	42,65	65,96	67,17
Resíduo mineral solúvel (%)	11,22	17,35	17,67
Nitrogênio Total (%)	0,44	0,68	0,69
Fósforo (P ₂ O ₅) Total (%)	0,23	0,36	0,36
Potássio (K ₂ O) Total (%)	0,64	0,99	1,01
Cálcio (Ca) Total (%)	2,01	3,11	3,17
Magnésio (Mg) Total (%)	0,31	0,48	0,49
Enxofre (S) Total (%)	0,14	0,22	0,22
Relação C/N (C Total e N Total)	12/1	12/1	12/1
Relação C/N (C orgânico e N Total)	10/1	10/1	10/1
Cobre (Cu) Total (mg/kg)	34	53	54
Manganês (Mn) Total (mg/kg)	353	546	556
Zinco (Zn) Total (mg/kg)	111	172	175
Ferro (Fe) Total (mg/kg)	27462	42471	43247
Boro (B) Total (mg/kg)	3	5	5
Sódio (Na) Total (mg/kg)	642	993	1011

Anexo C - Tabela com a análise estatística dos teores de matéria orgânica da coleta 2

----- Experimento -----						
Tratamentos	Sem erosão			Com erosão		
Mg.ha ⁻¹	mg.dm ⁻³			mg.dm ⁻³		
0	18.37	a	A	13.95	a	A
20	23.95	a	A	18.37	a	A
40	23.72	a	A	21.39	a	A
100	29.76	a	A	25.34	a	A

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Anexo D - Tabela com a análise estatística dos teores de matéria orgânica da coleta 4

----- Experimento -----						
Tratamentos	Sem erosão			Com erosão		
Mg.ha ⁻¹	mg.dm ⁻³			mg.dm ⁻³		
0	29.30	a	A	27.44	a	A
20	35.57	a	A	32.78	a	A
40	34.10	a	A	31.16	a	A
100	40.46	a	A	39.76	a	A

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Anexo E - Tabela com a análise estatística dos valores de condutividade hidráulica da coleta 2

Tratamentos	----- Experimento -----					
	Sem erosão			Com erosão		
	K (m.s ⁻¹)			K (m.s ⁻¹)		
Mg.ha ⁻¹	-1			-1		
0	1.1798E-04	a	A	2.0711E-04	a	A
20	4.6998E-04	a	A	4.6274E-04	a	A
40	5.6759E-05	a	A	1.4240E-04	a	A
100	3.2102E-04	a	A	3.2471E-04	a	A
	-3,5			-3,5		
0	9.5208E-05	a	A	1.3607E-04	a	A
20	4.1969E-04	a	A	3.2278E-04	a	A
40	1.0973E-04	a	A	2.3324E-04	a	A
100	1.6534E-04	a	A	2.8517E-04	a	A
	-10,0			-10,0		
0	4.6058E-05	a	A	6.9406E-05	a	A
20	8.6961E-05	a	A	4.3170E-05	a	A
40	7.0411E-05	a	A	7.2340E-05	a	A
100	5.4814E-05	a	A	6.6408E-05	a	A

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Anexo F - Tabela com a análise estatística dos valores de condutividade hidráulica da coleta 3

Tratamentos	----- Experimento -----					
	Sem erosão			Com erosão		
	K (m.s ⁻¹)			K (m.s ⁻¹)		
Mg.ha ⁻¹	-1			-1		
0	7.8722E-05	a	A	9.6046E-05	a	A
20	6.6031E-05	a	A	1.7692E-04	a	A
40	8.0316E-05	a	A	5.0142E-05	a	A
100	1.1189E-04	a	A	1.9704E-04	a	A
	-3,5			-3,5		
0	9.0991E-05	a	A	1.0028E-04	a	A
20	5.7261E-05	a	A	1.1173E-04	a	A
40	5.9203E-05	a	A	6.7151E-05	a	A
100	1.3541E-04	a	A	1.4235E-04	a	A
	-10,0			-10,0		
0	4.2706E-05	a	A	3.4511E-05	a	A
20	3.4493E-05	a	A	2.6875E-05	a	A
40	3.1761E-05	a	A	3.3477E-05	a	A
100	5.1418E-05	a	A	4.9582E-05	a	A

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Anexo G - Tabela com a análise estatística dos valores de condutividade hidráulica da coleta 4

Tratamentos Mg.ha ⁻¹	----- Experimento -----					
	Sem erosão			Com erosão		
	K (m.s ⁻¹)			K (m.s ⁻¹)		
	-1			-1		
0	4.5953E-05	a	A	4.5388E-05	a	A
20	8.1833E-05	a	A	6.3482E-05	a	A
40	4.7223E-05	a	A	1.2128E-04	a	A
100	7.3926E-05	a	A	5.6886E-05	a	A
	-3,5			-3,5		
0	5.0104E-05	a	A	4.2028E-05	a	A
20	1.0162E-04	a	A	4.4569E-05	a	A
40	5.4035E-05	a	A	7.4684E-05	a	A
100	4.4928E-05	a	A	4.1234E-05	a	A
	-10,0			-10,0		
0	2.4658E-05	a	A	2.4490E-05	a	A
20	2.6501E-04	a	A	2.1170E-05	a	A
40	2.6944E-05	a	A	3.4514E-05	a	A
100	1.7613E-05	a	A	1.7900E-05	a	A

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de cada coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de cada linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).