



## **IMPACTOS DE ATIVIDADES CICLÍSTICAS NOS SOLOS DE AMBIENTES NATURAIS NO DISTRITO DE SÃO GONÇALO DO BAÇÃO, MUNICÍPIO DE ITABIRITO, MG**

Cycling activity impacts in soils of natural environments in the São Gonçalo do Bação district, Itabirito county, Minas Gerais State, Brazil

### **Ícaro de Assis Brito**

Escola Jayme de Souza Martins, Prefeitura Municipal de Itabirito

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1580-7494>

[icaro.a.brito@gmail.com](mailto:icaro.a.brito@gmail.com)

### **Múcio do Amaral Figueiredo**

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2682-2021>

[muciofigueiredo@ufsj.edu.br](mailto:muciofigueiredo@ufsj.edu.br)

Artigo recebido em mai/2023 e aceito em ago/2023

---

### **RESUMO**

Um número crescente de pessoas a fim de fugir do estresse dos grandes centros urbanos vem buscando o contato com a natureza, associando-o muitas vezes a prática de esportes como o ciclismo de montanha ou bicicleta todo terreno (BTT). O aumento desse contingente pode causar impactos ao ambiente que o recebe, sendo necessário um profundo conhecimento das condições ambientais destas áreas. Neste trabalho foram avaliadas as condições da estrutura pedológica, a penetrometria e a infiltrometria, cujos resultados em campo foram correlacionados a análises de solo em laboratório. A metodologia avaliada apresentou excelente resposta em campo e foi capaz de inferir o que se apresentou nos resultados. A metodologia utilizada possui baixo grau de dificuldade em sua aplicação e apresenta respostas rápidas a alteração das condições de campo. A presença das bicicletas afetou negativamente o solo do leito das raias experimentais, sendo imperativo o monitoramento de áreas utilizadas na prática do BTT, para garantir a sustentabilidade ambiental deste esporte.

**Palavras-chave:** Impacto em trilhas; Bicletas; Compactação do solo; Infiltração.

### **ABSTRACT**

A growing number of people, in order to escape the stress of large urban centers, are seeking contact with nature, often associating it with sports such as mountain biking or all-terrain biking (ATB). The increase in this contingent can cause impacts on the environment that receives it, requiring in-depth

knowledge of the environmental conditions of these areas. In this work, the conditions of the soil structure, penetrometry and infiltrometry were evaluated, whose field results were correlated with soil analyzes in the laboratory. The methodology evaluated presented an excellent response in the field and was able to infer what was presented in the results. The methodology used has a low degree of difficulty in its application and presents quick responses to changes in field conditions. The presence of bicycles negatively affected the soil of the experimental lanes, making it imperative to monitor areas used for mountain biking to ensure the environmental sustainability of this sport.

**Keywords:** Trail impacts; Bicycles; Soil compaction; Infiltration.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A rotina caótica dos grandes centros urbanos atrai um número cada vez maior de pessoas em busca de contato com a natureza em seus momentos de lazer. A procura por ambientes que propiciem tal interação ocorre tanto no entorno das grandes cidades quanto em áreas rurais, caracterizando atividades puramente recreativas ou desportivas. Tais atividades também influenciam o deslocamento de seus praticantes para outras localidades e estados, associando-as ao turismo.

Constata-se também o crescimento de atividades que, além do contato com a natureza, possibilitem a prática de exercícios físicos, cenário do qual fazem parte as várias modalidades de bicicleta todo terreno (BTT), expressão utilizada em países de língua latina para se referir ao mountain bike. O BTT é elencado pelo Instituto Brasileiro de Turismo (EMBRATUR) dentre as atividades mais praticadas no seguimento do Ecoturismo, com grande número de adeptos em todo o Brasil e, principalmente, em regiões de montanhas, a exemplo do Estado de Minas Gerais (EMBRATUR, 2002).

O aumento desse contingente pode impor enorme pressão sobre as áreas que o recebe, ampliando a magnitude dos impactos ambientais decorrentes de sua presença. Tal preocupação aflige gestores de unidades de conservação (UC's) públicas e privadas, proprietários de áreas particulares (AP's) e até mesmo frequentadores desses espaços, dentre os quais já podem ser encontrados grupos envolvidos com temas ligados a prática sustentável de suas atividades.

Contudo, no Brasil, ainda são raros os estudos específicos sobre os impactos causados ao meio ambiente pela prática do BTT. A maioria versa sobre os impactos gerais do ecoturismo, incluindo-se aí, de forma superficial, o BTT (Cavalcante, 2008; Costa *et al.*, 2008; Gualtieri-Pinto *et al.*, 2008; Oliveira Filho & Monteiro, 2009). Apesar de publicações técnico-científicas de trabalhos realizados principalmente na América do Norte, Europa e Austrália servirem como importante referencial teórico destaca-se que nos trópicos, as classes de solos, regime climático e cobertura vegetal apresentam-se muito distintos. Outro fator relevante no Brasil, é o uso misto da maioria das trilhas, não permitindo a avaliação dos impactos causados exclusivamente pelas atividades ciclísticas. Tal

dificuldade de identificação muitas vezes resulta em planos e atividades de manejo que não contemplam esses impactos.

Enfim, justifica-se a necessidade de estudos como o aqui proposto, pela importância de se conhecer melhor as características de metodologias de levantamento de impactos que melhor atendam a todos os interessados no que se refere a uma prática sustentável do BTT, garantindo a proteção ambiental e aprimorando, através da melhoria das condições cênicas e estruturais das trilhas, a experiência dos praticantes.

Nesse sentido, as ciências ambientais aplicadas e, mais especificamente, a Ecologia da Recreação - área de pesquisa multidisciplinar, em crescimento em todo o mundo - podem colaborar com uma melhor compreensão sobre o ambiente (COLE, 1987; 1989; HAMMITT; COLE; MONZ, 2015), fornecendo valiosos subsídios no intuito de prevenir e mitigar impactos provenientes de diversas atividades, dentre elas o BTT. Tal colaboração se dá através do arcabouço teórico-metodológico e das diversas metodologias e equipamentos que evoluem a partir da necessidade de se conhecer características específicas de dado ambiente, objeto ou fenômeno, possibilitando também a ciências ou áreas de estudo, que possuam um mesmo objeto de interesse, a compartilhar de suas tecnologias.

Objetiva-se com este trabalho, avaliar metodologias de levantamento das condições da estrutura pedológica, a saber, a infiltrometria e a penetrometria, para determinação de possíveis impactos causados pelo trânsito de bicicletas em trilhas localizadas em ambientes naturais. Para tanto, foram tomados como objetivos específicos: a) mensurar o processo de compactação do solo através do uso da penetrometria; b) mensurar as taxas de infiltração de água no solo através da infiltrometria; c) averiguar através de análise laboratorial o grau de deformação de propriedades físicas e químicas do solo mais especificamente a densidade (real e aparente), a porosidade (macro e micro) e o teor de matéria orgânica de amostras coletadas no leito das trilhas; d) discutir os resultados obtidos em campo, comparando-os aos resultados de análises e por fim; e) analisar aspectos de cada um das metodologias avaliadas como o nível de complexidade para sua aplicação e tempo de resposta às variações de condição de campo.

### **1.1. A BTT no contexto regional**

A Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO), em seu relatório intitulado “Dados do setor de duas rodas” de 2023, aponta que somente no Polo Industrial de Manaus (PIM), foram produzidas no ano de 2022 cerca de 599 mil bicicletas (ABRACICLO, 2023), desse montante 62,3% seriam do tipo Mountain Bike, totalizando 373 mil unidades. Não foram encontrados dados de fabricantes que atuam fora do PIM.

O supracitado relatório também enumera 47.684 bicicletas importadas em 2022, sem elencar o tipo. Os dados, apesar de não abordarem com clareza os modelos e finalidades específicas dessas bicicletas, apontam para um grande número de praticantes de BTT no país.

No ano de 2019, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE), em seu segmento para o turismo relata que, dos 21,4 milhões de viagens analisadas pela publicação, 96,1% (20,6 milhões) foram nacionais e apontaram o sudeste como destino turístico de 39,5% destes viajantes. O estado de Minas Gerais e apontado como o segundo estado mais procurado, com 12,8% do total. Já 86,5% da viagens ocorreram por motivos pessoais e o turismo de natureza, ecoturismo ou aventura foi apontado como uma das atividades pretendidas por 25,6% dos entrevistados (IBGE, 2020).

Assim, as unidades de conservação (UCs) dotadas de potencial para atividades ciclísticas podem aparecer como uma interessante opção para seus praticantes. Em 2022, ocorreram cerca de 21,6 milhões de visitas em 137 unidades de conservação espalhadas pelo país segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). O coordenador de planejamento e estruturação da visitação da instituição, Paulo Faria, afirma que “os visitantes buscam diferentes experiências, dentre elas o ciclismo” (ICMBio, 2023). Atualmente podem ser encontrados também inúmeros empreendimentos em áreas particulares (AP’s) voltados especificamente para a prática do BTT, os chamados Bike Parks em todo país.

## **1.2. As trilhas e a dinâmica sistêmica dos ambientes naturais**

Grande parte das atividades em ambientes naturais tem como seu suporte espacial básico as trilhas. Estas se tornaram as principais vias de acesso aos atrativos naturais cênicos (LECHNER, 2006; GUALTIERI-PINTO *et al.*, 2008) e que, no caso do BTT, se configuram como um atrativo em si mesmo. Porém, como as trilhas são vistas como construções de “baixo nível”, é comum que sejam construídas praticamente sem planejamento formal, sem seleção de traçado ou sem compreensão das condições biofísicas da área onde serão implantadas (LECHNER, 2006, p.13).

A eliminação da cobertura vegetal é a primeira consequência na abertura de uma trilha (VASHCHENKO, 2006, p.2), bem como uma condição fundamental para a configuração desta estrutura viária. O uso subsequente da trilha pressupõe o tráfego de seus usuários, carga que sendo exercida com constância sobre o leito da trilha, pode causar o aumento dos índices de compactação do solo. Este fenômeno ocorre devido à diminuição do volume do solo ocasionada pela compressão causada pelo rearranjo mais denso das partículas, que se tornam mais compactas, resultando na redução da porosidade (CURI, 1993) e no aumento do excedente hídrico na superfície que ocorre pela

diminuição da taxa de infiltração e percolação da água no solo (GUERRA, 2007; HAMMITT; COLE; MONZ, 2015).

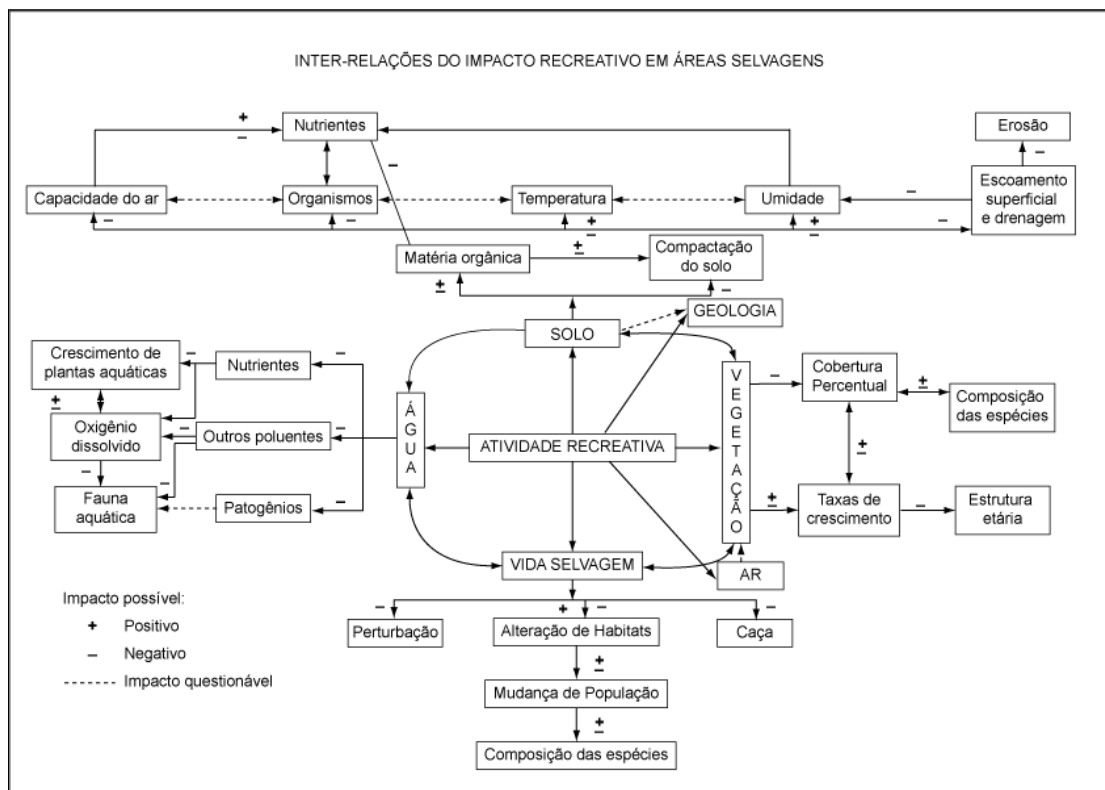
Outros impactos ao ambiente local estão relacionados a estas alterações, a exemplo do decréscimo de qualidade do habitat e da alimentação de insetos subterrâneos, sendo também destacada por Hammitt, Cole; Monz (2015) a diminuição da matéria orgânica proveniente da retirada da vegetação local, que confere maior estabilidade à estrutura dos solos evitando o transporte de sedimentos para cursos d'água contribuindo para seu assoreamento.

A queda da taxa de infiltração potencializa o escoamento superficial e o desenvolvimento de feições erosivas em superfícies declivosas (GUERRA, 2007; HAMMITT; COLE; MONZ, 2015). Já em superfícies planas, como apontam Marion e Olive (2006), pode ocorrer zonas de empoçamento que, ao serem evitadas pelos usuários, ocasionam o alargamento do leito da trilha com impacto à vegetação do entorno imediato.

No entanto, Marion e Wimpey (2007) tomam a compactação como uma forma inevitável e benéfica de impacto, uma vez que o solo compactado é mais resistente a erosão e a perda de partículas, fornecendo um piso durável que suporta o tráfego dos usuários. Já o empoçamento e a perda de solo são classificados pelos referidos autores como impactos evitáveis, caso a trilha tenha o devido planejamento e sejam utilizadas técnicas corretas de manejo. A exemplo desta, muitas outras ambiguidades na avaliação das potencialidades e restrições oferecidas por mudanças no ambiente devem ser observadas, segundo a abordagem de Hammitt; Cole; Monz (2015), mostrando que

“os impactos não ocorrem isoladamente, uma mesma atividade pode causar múltiplos impactos, e cada um deles tende a ser exacerbado ou compensado por outras alterações. As soluções de manejo devem levar isso em conta ou a solução de um problema pode se tornar a causa de outro” (HAMMITT; COLE; MONZ, 2015. p. 7).

A dinâmica sistêmica dos ambientes naturais favorece a interrelação e potencialização dos impactos das atividades recreativas. Sua sistematização foi proposta por Hammitt; Cole; Monz (2015) e pode ser vista no organograma a seguir (Figura 1).

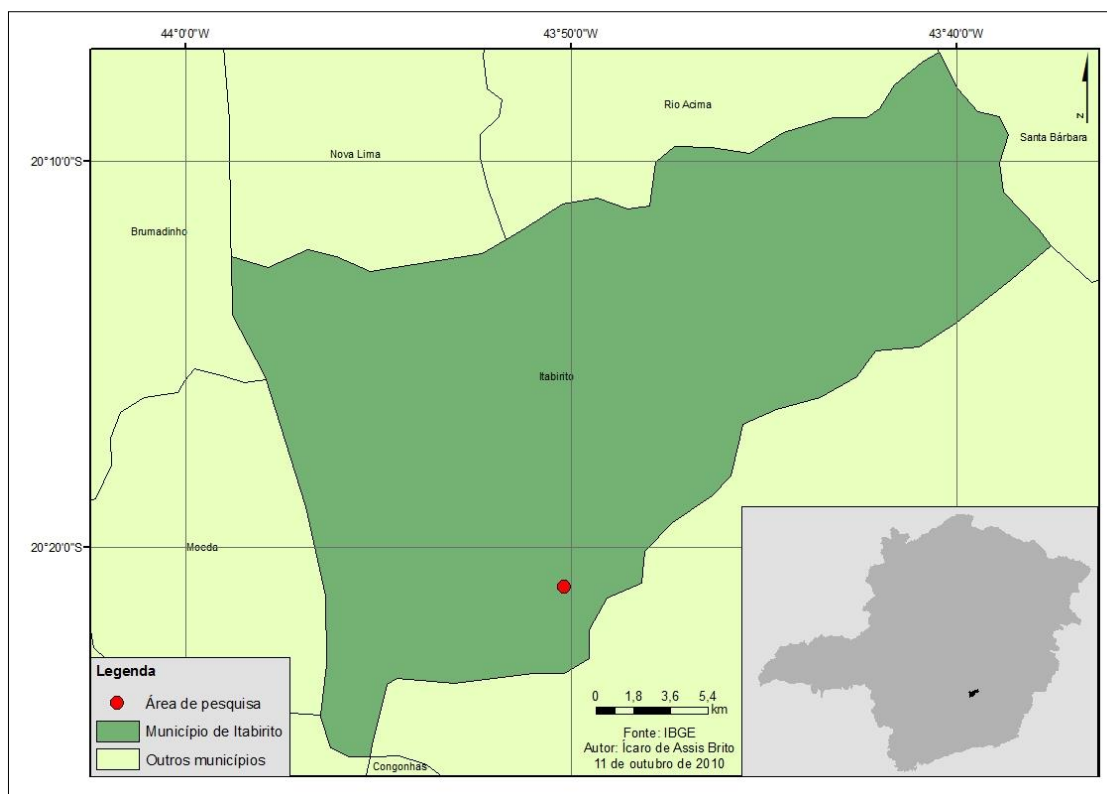


**Figura 1** - Interrelações de impactos recreativos em áreas selvagens.  
Adaptado de: Hammitt; Cole; Monz (2015).

Levada em conta tal correlação sistêmica do ambiente e também dos processos instalados a partir da construção de uma trilha, foram escolhidas para o estudo duas metodologias cujos resultados dos levantamentos pudessem ser complementares se analisados concomitantemente, uma vez que existe relação direta entre as taxas de compactação e de infiltração de água no solo, obtidas através da penetrometria e infiltrometria respectivamente.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de pesquisa se localiza na latitude 20° 21' 01" S e longitude 43° 50' 19" O, no distrito de São Gonçalo do Bação a aproximadamente 14km de Itabirito, MG, sede do município (Fig. 2). O domínio climático da região na classificação de Köppen é o Clima Tropical de altitude (Cwa) com invernos secos e verões brandos e chuvosos, nos meses mais frios as médias diárias locais situam-se entre 13° e 15° C e nos meses mais quentes entre 20° a 22° C (MYR, 2013). A região possui uma sazonalidade bem marcada, com a estação chuvosa de novembro a abril e o período de estiagem de maio a outubro e precipitação anual que varia de 1.800 a 2.000 mm (SANTOS *et al*, 2004).



**Figura 2** - Localização da área de estudo no contexto municipal e estadual.

Geologicamente, toda região se encontra sobre o Complexo Metamórfico do Bação, constituído por rochas graníticas e granodioríticas, migmatito, gnaisse e xistos, onde são encontradas rochas em avançado estágio de intemperização, originando solos muito espessos, na ordem de dezenas de metros, com presença de afloramentos rochosos quase que somente no fundo dos vales, drenagens e em zonas mais acidentadas ou topo de morros (NETTO *et al.*, 2005).

Quanto aos solos, predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos (LVAd4), além de Cambissolos Háplicos (CXa) com ocorrência de Afloramentos de Rochas mais Neossolos Litólicos (AR) e Neossolos Flúvicos (RU) (IBRAM, 2003). Apesar da ocorrência de solos bem estruturados e drenados, a região possui um número elevado de processos erosivos superficiais instalados, o que suscita a realização de vários estudos sobre processos erosivos na região (NETTO *et al.*, 2005; DRUMMOND e BACELLAR, 2006).

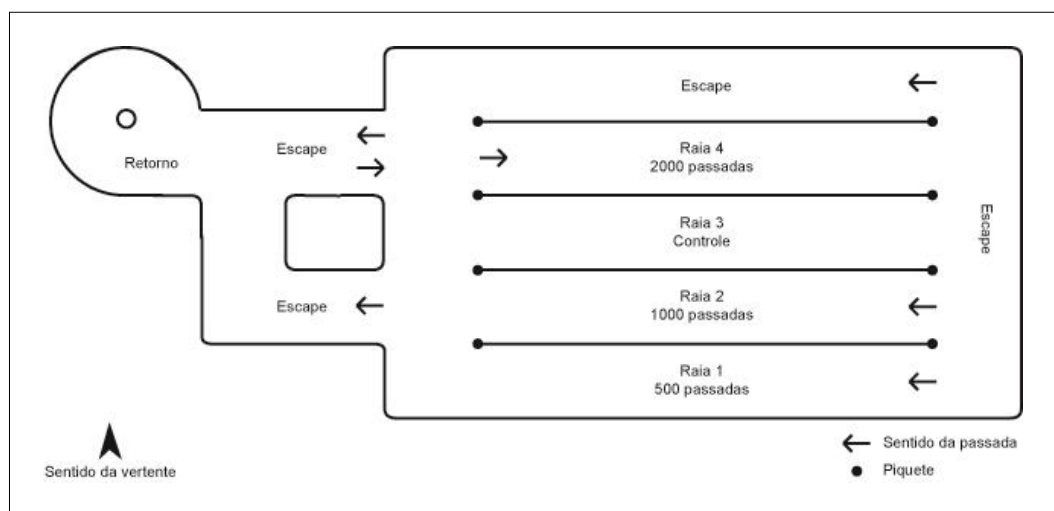
O relevo por sua vez “constitui-se de mares de morros, onde prevalece a forma de meia laranja, com morros com encostas suaves e topos convexos, circundados por morrotes com vertentes mais íngremes” (NETTO *et al.*, 2005, p.7). Estando a área de estudo sob a abrangência da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Carioca, pode-se valer da afirmação de Netto *et al.* (2005), de que a vegetação local está classificada como Floresta Estacional Semidecidual submontana, localizada na zona de transição entre os domínios vegetacionais do Cerrado e da Floresta Atlântica.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Um passo fundamental da pesquisa foi a escolha da área a ser utilizada para a coleta de dados e implantação do experimento em campo, onde foi levada em conta principalmente sua segurança com relação a não utilização deste fora dos fins a que se presta essa pesquisa. Assim, tendo como foco o levantamento de impactos causados por uma atividade específica, o BTT, a presença de outros agentes (pedestres, animais) poderia influenciar nos resultados. Optou-se assim, por um terreno privado cercado, sendo feita a devida delimitação da área do experimento, sendo tal procedimento adotado em concordância com a afirmação de Guerra (2007) que, discorrendo sobre a compreensão de formação e evolução das ravinas, aponta nos estudos controlados um maior domínio das variáveis implícitas.

Inicialmente foi realizada a medição sistemática da vertente com o uso de balizas e de um clinômetro a fim de determinar sua inclinação, uma vez que essa variável influencia os processos ali instalados, como a dinâmica hídrica ligada à infiltração, percolação e escoamento superficial e sub-superficial da água no solo.

Foram estabelecidas então quatro raias com 3 m de comprimento, 0,90 cm de largura e inclinação do leito de no máximo 5° (Fig. 3), parâmetros tidos como ideais para a prática do ciclismo (LECHNER, 2006; WEBBER, 2007). As raias foram delimitadas com piquetes de madeira e serrapilheira extraídas de seu leito, formando assim as pistas a serem percorridas com a bicicleta.



**Figura 3** – Croqui das raias e delimitação do perímetro do laboratório de campo.

Em cada raia foi realizado um número pré-determinado de passagens, em sentido único, sendo o limite máximo de 2000 passagens no trecho de maior tráfego, e nos demais 1000, 500 e 0 na área de controle. A determinação do limite máximo para as passadas foi feita de forma deliberada com intuito de realizar o maior numero possível no tempo disponível. Justifica-se a tomada de tal atitude



arbitraria visto que em outros trabalhos consultados o número de passadas totais possui grande amplitude variando entre 100 e 500 de acordo com suas finalidades (WILSON & SENEY, 1994; THURSTON & READER, 2001; LEI, 2004).

A penetrometria foi realizada através da utilização de um penetrômetro de cone com anel dinamométrico da marca Solotest, cuja atuação mede a resistência máxima à penetração. O uso do penetrômetro requer a aplicação de pressão manual vertical com a maior constância possível, até introduzir totalmente o cone no solo, as medidas iniciais são obtidas - através da leitura do dinamômetro analógico do penetrômetro - em Kgf (quilograma-força) e ao serem divididas pela área da base do cone - em  $\text{cm}^2$  - cujo diâmetro da base é 28,4 mm e a área é de 6,33  $\text{cm}^2$ , resulta na resistência a penetração ( $q_c$  em  $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ ). Para regularização de possíveis anomalias foram realizadas três coletas em pontos aleatórios no comprimento total da raia com aplicação de média aritmética e consequente obtenção de apenas um valor.

A tomada de dados relativa à infiltrometria, por sua vez, foi realizada com o uso do infiltrometro concebido por Coelho Netto e Avelar (1996), composto de um tubo de metal com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, com a borda inferior afiada e a partir da qual recebe duas graduações em 5 e 10 cm, além de uma bureta graduada de 5 cm de diâmetro por 30 cm de altura, com capacidade para 500 ml conectado a uma torneira.

O teste de infiltração aplicado foi baseado na descrição de Ross e Fierz (2005), com a fixação do tubo metálico ao solo a uma profundidade de 5 cm com uso de um martelo de borracha. Na metodologia dos autores supracitados, deveriam ser adicionados volumes pré-conhecidos de água da bureta a ser consumido até a saturação do solo, com a contagem do tempo total gasto nesse processo. Porém, levado em conta o caráter comparativo da pesquisa, para cada um dos pontos foi programada a adição de dois litros d'água. Para regularização de possíveis anomalias foram realizadas três coletas em cada raia, a saber, na cabeceira, meio e final com aplicação de média aritmética resultando em apenas um valor.

Já a coleta de amostras de solo para análise laboratorial se deu através do uso de anéis volumétricos, uma vez que era necessária a obtenção de amostras de solo com a mesma disposição encontrada na parede do perfil ou na superfície do solo, chamadas amostras não deformadas (EMBRAPA, 2011), imprescindíveis para averiguar em laboratório o grau de deformação de propriedades físicas do solo, mais especificamente a densidade (real e aparente) e a porosidade (macro e micro), características relevantes ao estudo dos fenômenos aqui abordados.

Foram realizadas seis campanhas de campo num período de 45 dias, durante a estação de inverno, nas quais os dados da infiltrometria foram coletados de forma intercalada em três ocasiões, ocorrendo na primeira, quarta e sexta campanhas, já os dados da penetrometria foram coletados em

todas as ocasiões. A coleta de amostras de solo se deu em dois momentos, logo após a abertura das raias, sem que ainda tivesse sofrido qualquer tipo de pressão e logo após as últimas passadas com as bicicletas, primeira e sexta campanhas respectivamente.

A implantação das raias para o experimento se deu em uma área particular a pouco mais de dois quilômetros da área central de São Gonçalo do Baçõ (Fig. 4), na região do Mangue Seco, pequeno povoamento em processo de urbanização incipiente. Avizinham-se também pequenas propriedades rurais que mantêm atividades agropastoris de subsistência ou que atendem a sitiantes presentes nos fins de semana.

A área utilizada se caracteriza como um remanescente de mata nativa em estágio primário e onde podem ser encontrados também pequenos segmentos de vegetação secundária, oriundo muito provavelmente do abandono de terra anteriormente utilizadas por atividades de agricultura e pecuária entre outras, o que seria comum na região como afirmam Netto *et al* (2005).

Tal suspeita advém da existência de ruínas de alicerces e muros de cantaria no interior do terreno e também do relato de anciões nativos que rememoram a prática de tais atividades pelos antigos proprietários do terreno. Os referidos autores também atribuem a existência dessas manchas de mata natural a uma razoável preservação da cobertura vegetal na área, onde a espécies de médio e grande porte teriam sua ocorrência atrelada a condições favoráveis de drenagem e concentração de nutrientes (NETTO *et al.*, 2005).



**Figura 4** - Imagem orbital do entorno imediato ao local de realização da pesquisa.

**Fonte:** Google Earth™.

A declividade do local de implantação do experimento pode ser considerada baixa, possuindo 3 graus em todo interior da parcela e variando de 3 a 6 graus a até 10 metros a acima e a baixo desta (Fig. 5). As análises laboratoriais relativas à granulometria do solo mostram a predominância de textura franco-argilo-arenosa, considerado de classe textural média.



**Figura 5** – Visão lateral das raias e delimitação do perímetro da experiência.  
**Foto:** T. L. M. Damasceno.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos experimentos de campo mostram variações relacionadas a diversos fatores conforme discutido a seguir em dois momentos. O primeiro engloba os cinco primeiros experimentos, onde a condição de umidade da área se manteve estável. Já o segundo momento aborda o sexto e último experimento, no qual, devido a um evento chuvoso, as condições de campo se alteraram consideravelmente.

No tocante à penetrometria, ocorreram oscilações nos resultados em todas as raias (Fig. 6), possivelmente influenciadas pela ocorrência de aspectos pedológicos específicos como a presença de calhaus, cascalhos e raízes em subsuperfície ou da atividade biológica, visto que a influência desses fatores no andamento de estudos análogos é relatada por outros autores (LEUNG e MEYER, 2004; HAMMIT e COLE, 2008; FIGUEIREDO *et al.*, 2010). Estes podem ter contribuído para pequenas incoerências dos resultados obtidos nos levantamentos de campo. Isso mostra a necessidade de um período experimental maior, visando uma possível correção estatística, minimizando as incoerências encontradas.

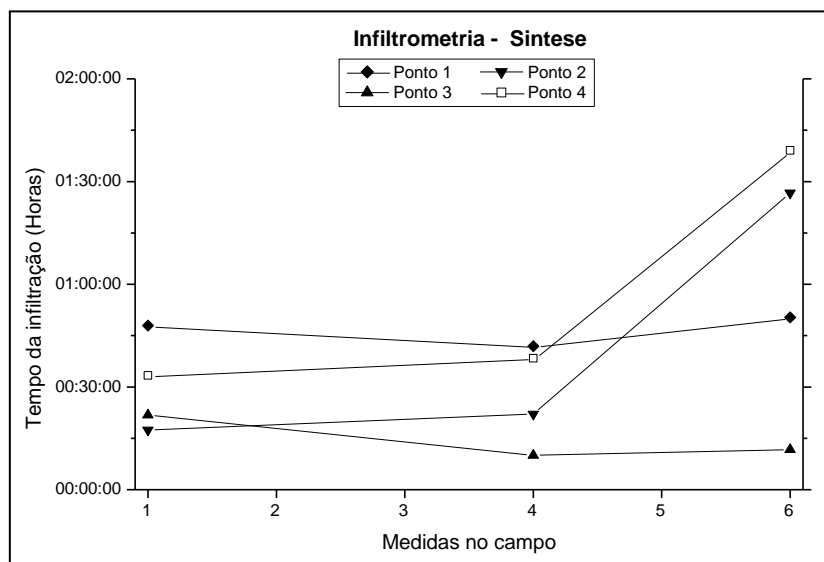
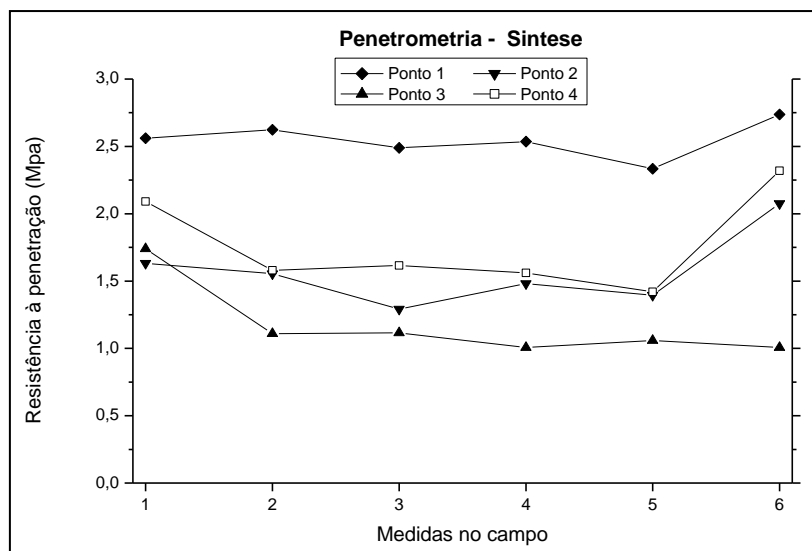


Figura 6 - Resultados obtidos nos levantamentos de compactação e infiltração.

Apesar das oscilações supracitadas, os índices penetrométricos apresentaram tendência de redução nos cinco primeiros experimentos, quando o solo se encontrava seco. Entretanto, a literatura mostra correlação do aumento dos níveis de resistência à penetração em solos com baixos teores de umidade (CUNHA *et al.*, 2002; ASSIS *et al.*, 2009). Essa tendência era esperada na raia 3 (controle) onde não houve trânsito de bicicletas, contudo, o resultado análogo nas demais raias contrariou, a princípio, a teoria apresentada.

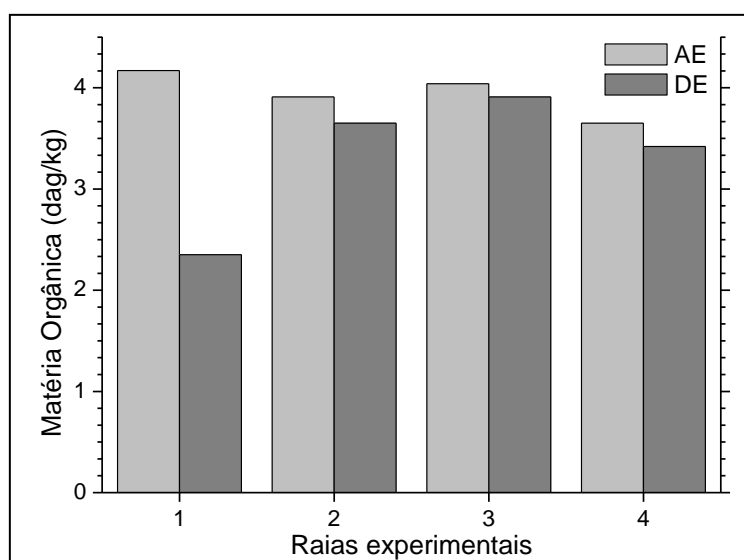
Ainda se tratando dos experimentos realizados com baixa umidade no solo, os resultados da infiltrometria acusaram a diminuição da taxa de infiltração nas raias onde houve maior número de passadas (raias 2 e 4), o que apresentou correlação negativa com a resistência à penetração sendo que, em condições de baixa umidade, a capacidade de absorção de água pelo solo tende a aumentar (COELHO NETTO E AVELAR, 1996; GUERRA, 2007). Houve, no entanto, o decréscimo inicial da

taxa de infiltração na raia com menor número de passadas (raia 1), estando este, ao contrário dos demais, em situação sinérgica frente à teoria apresentada e também em maior concordância com o resultado da penetrometria. Resultado análogo foi obtido na raia 3, demonstrando boa correlação entre os resultados.

Com as incongruências acima apresentadas a partir dos dados disponíveis, recomenda-se, no caso de repetição deste experimento, uma coleta de solo intermediária para análise em laboratório, que poderia colaborar para o esclarecimento das incongruências verificadas.

Após as chuvas, as condições físicas de campo se alteraram consideravelmente. Os índices penetrométricos aumentaram, assim como ocorreu a diminuição das taxas de infiltração em todas as raias onde houve passadas, apresentando alterações mais significativas nas raias 2 e 4, que receberam 1000 e 2000 passadas de BTT, respectivamente, tendo a primeira apresentado as maiores alterações. A raia 3 apresentou estabilidade nos levantamentos do último experimento, acusando assim a interferência sofrida pelas demais raias pelo trânsito da BTT.

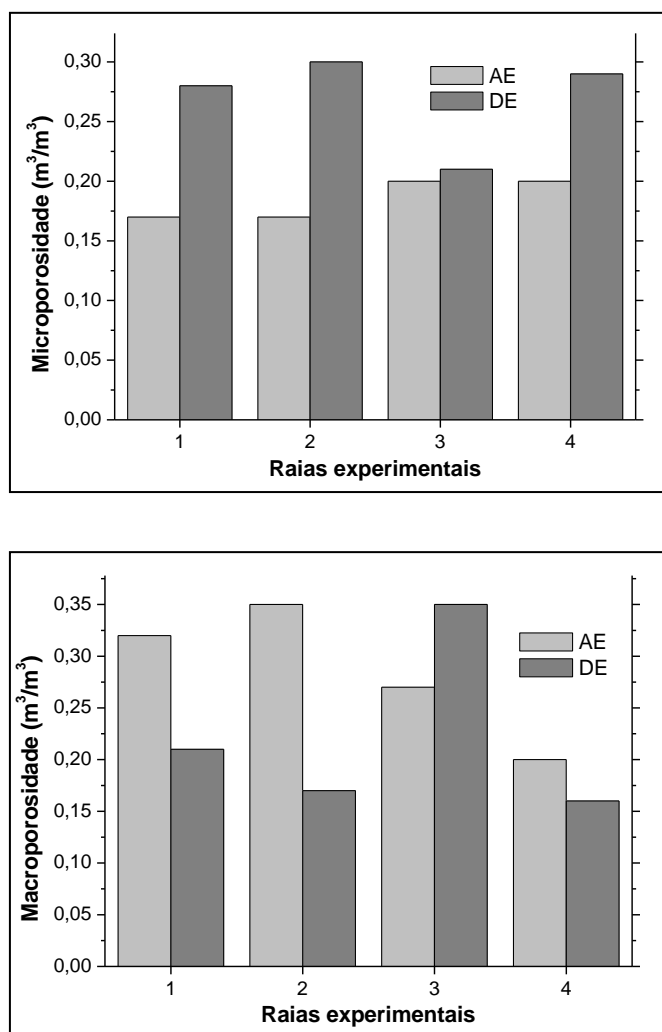
Em campo, foi possível inferir visualmente o processo de desagregação mecânica do solo, o que Duarte (2009) atribui, no caso das trilhas, ao trânsito de andarilhos, ciclistas e cavalos de montaria que, ao se utilizarem a trilha, causam a ruptura de partículas da superfície do solo, desagregando-as e gerando sedimentos menores soltos sobre seu leito. Outro fator relacionado ao processo de desagregação do solo é o teor de matéria orgânica, que segundo Guerra (2007, p.20), à medida que diminui resulta no aumento da instabilidade dos agregados. Visto que a análise laboratorial do solo amostrado demonstrou ter havido decréscimo do teor de matéria orgânica em todas as raias (Figura 7).



**Figura 7** - Resultados das análises para teor de matéria orgânica antes (AE) e depois do experimento (DE).

A desagregação resultante da diminuição dos teores de matéria orgânica, potencializada pelo stress físico imposto pelas passadas de BTT realizadas, também refletiu nas demais características do solo.

Quanto à porosidade, os resultados apontaram para o decréscimo na macroporosidade e aumento da microporosidade (Fig. 8) nas raiais onde houve passadas, resultado também obtido por Silva et al (2006), em estudo de alterações de atributos físicos de solos afetados por compactação induzida.

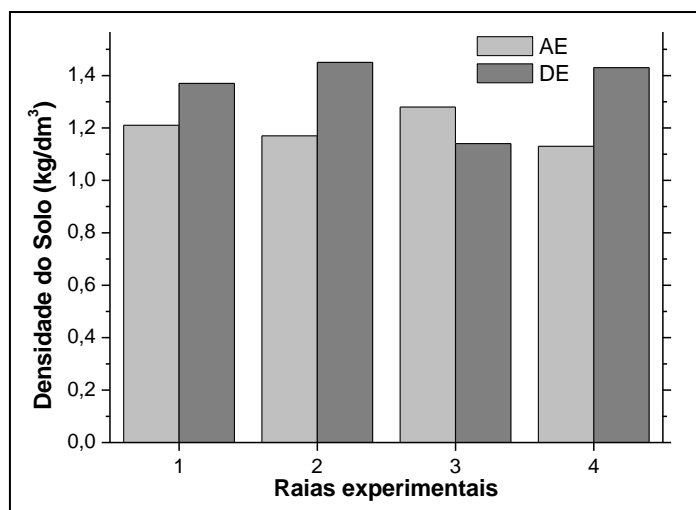


**Figura 8** - Resultados das análises de laboratório para micro e macroporosidade antes (AE) e depois do experimento (DE).

Os dados corroboram com a diminuição da taxa de infiltração detectada em campo, uma vez que os macroporos são os canais preferenciais para infiltração de água no solo (COELHO NETTO e AVELAR,1996), e sua diminuição tende a ocorrer devido a compactação do solo, evidenciada pela penetrometria após os experimentos.

A raia de controle (raia 3), por sua vez, apresentou aumento da macro e da microporosidade, resultado - com destaque para a primeira - comprovado em campo, onde a penetrometria e a infiltrometria apontaram para uma variação significativa da compactação e taxa de infiltração, cujos valores foram os menores nesses quesitos, assim como se mantiveram estáveis mesmo após a chuva.

Os resultados das análises de densidade (Fig. 9) mostraram-se concordantes com todos os demais resultados apresentados. Como afirmam Coelho Netto e Avellar (1996, p.160), “a medida que a densidade aparente (densidade do solo) de um solo aumenta, a porosidade diminui e, em consequência, ocorre a redução da infiltração de água no solo”.



**Figura 9** - Resultados das análises de laboratório para densidade do solo antes (AE) e depois do experimento (DE).

Já a densidade de partículas (Fig. 10) que, segundo Viana, Teixeira e Donagemma (2017), é a relação entre a massa de determinada amostra de solo e o volume ocupado por suas partículas (densidade real), além de não levar em conta o espaço poroso em sua determinação, também não é afetada pela variação do tamanho do material particulado presente. Os referidos autores também afirmam que a densidade de partículas pode aumentar na presença de minerais pesados, sendo também vulnerável ao teor de matéria orgânica, que caso se apresente em taxas elevadas resultaria no decréscimo da densidade de partículas (VIANA, TEIXEIRA; DONAGEMMA, 2017). Sendo assim, o decréscimo do teor de matéria orgânica, anteriormente relatado, poderia explicar o aumento da densidade de partículas em todas as raia, inclusive a raia de controle.

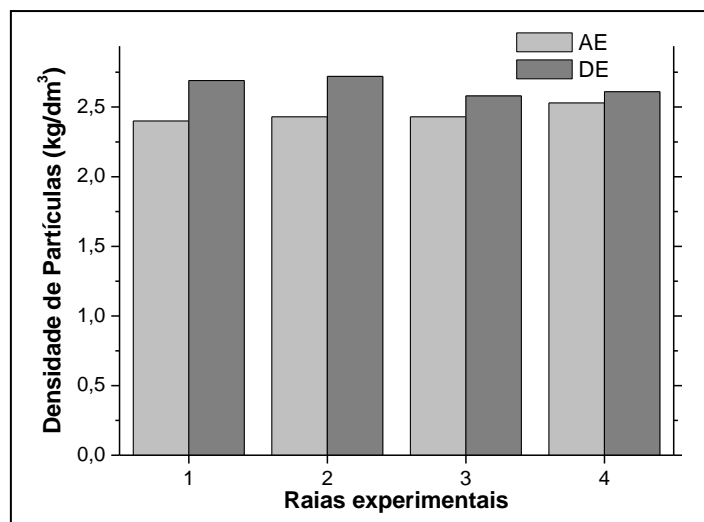


Figura 10 - Resultados das análises de laboratório para densidade de partículas antes (AE) e depois do experimento (DE).

Para sintetizar a correlação dos resultados obtidos em campo e em laboratório, assim como propor uma maneira simplificada de proceder com a discussão acerca das alterações ocorridas nas raias do experimento, discutidas até o momento quantitativamente, é proposta uma estruturação qualitativa dos resultados.

A matriz de dupla entrada (Quadro 1) apresenta a variação dos resultados obtidos em cada um dos levantamentos realizados nas raias do experimento, explicitando apenas se estes apresentaram variação positiva ou negativa frente a sua condição inicial, sem analisar a magnitude de tais variações.

Quadro 1 - Matriz de dupla entrada com a relação qualitativa entre a variação dos resultados obtidos em cada um dos levantamentos realizados nas raias do experimento

Variáveis Analisadas Raia	Resist. a penetração	Taxa de Infiltração	Microporosidade	Macroporosidade	Dens. do solo	Dens. de partículas	Teor de Mat. Orgânica
1	+	-	+	-	+	+	-
2	+	-	+	-	+	+	-
3	-	+	+	+	-	+	-
4	+	-	+	-	+	+	-

Pode-se perceber que os resultados obtidos nas raias onde houve passadas de BTT apresentam-se de maneira homogênea, com aumento da resistência à penetração, diminuição da taxa de



infiltração, aumento da microporosidade, decréscimo da macroporosidade, aumento das densidade real (partículas) e aparente (solo) e decréscimo do teor de matéria orgânica. A raia de controle, por sua vez, apresentou tendências inversas para quatro das variáveis mostradas: a resistência à penetração, a taxa de infiltração, a macroporosidade e a densidade do solo. Já a microporosidade, a densidade de partículas e o teor de matéria orgânica apresentaram tendências similares às das demais raias e, como visto anteriormente, sendo menos suscetíveis à influência das alterações físicas do que químicas, se mostraram sensíveis à alteração das características do sítio para a implantação da área de experimento, visto que não ocorreu o trânsito de BTT na raia em questão.

Sendo assim, os resultados obtidos apontam para o fato de que levantamentos de campo com utilização da metodologia avaliada, mesmo tendo apresentado pequenas oscilações, refletiram com coerência as alterações ocorridas no solo do leito das raias, sendo indicadas para o levantamento dos impactos causados pelo tráfego de bicicletas em solos de trilhas em ambiente natural. Outro fator que atesta tal aptidão foi o tempo de resposta de ambas as metodologias ao evento chuvoso descrito, que apresentaram uma mudança brusca em seus resultados.

As duas metodologias ofereceram um baixo nível de complexidade em sua aplicação, estando atreladas apenas à disponibilidade dos equipamentos necessários ao procedimento. O penetrômetro utilizado neste estudo apesar de oferecer maior precisão do que os modelos de bolso – mais compactos – possui dimensões e peso que dificultam seu transporte. Porém, como nos alertam Figueiredo *et al.* (2010), há de ser considerada a diferença existente entre os resultados obtidos com penetrômetros de bolso e os obtidos com os de cone com anel dinamométrico, não sendo recomendável a alternância de equipamento num mesmo trabalho (MEYER, 2004).

O equipamento utilizado na infiltrometria é de fácil confecção e baixo custo, uma vez que a maioria dos materiais usados em sua construção é de fácil manipulação, com exceção do tubo metálico, que necessita ser moldado em uma serralheria, bastante apenas levar em consideração as medidas aqui apresentadas.

Em campo foi possível perceber que o uso do infiltrômetro em trechos curtos de trilha degrada o leito consideravelmente podendo alterar outros levantamentos mecânicos no solo, a exemplo da penetrometria. Nesse caso recomenda-se que as raias sejam planejadas com o dobro do comprimento aqui apresentado, oferecendo uma área maior para tomada dos dados.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia utilizada mostrou-se efetiva no levantamento de impactos causados por bicicletas em trilhas de ambientes naturais, tendo sido inferida nas análises de laboratório os

resultados apresentados. Possui baixo grau de dificuldade em sua aplicação e apresenta respostas rápidas a alterações das condições de campo (meteorologia).

A mensuração dos dados de penetrometria e infiltrometria demonstrou que a abertura das trilhas e presença das bicicletas afeta negativamente as propriedades do solo do leito das raias.

A partir dos resultados obtidos julga-se imperativo o monitoramento de áreas utilizadas na prática do BTT, visando garantir processos de manejo ambiental mais efetivos, garantindo a perpetuação desta atividade com a devida proteção ao ambiente que a recebe.

Ficou evidenciada também a necessidade de se popularizar o tema, através do desenvolvimento de pesquisas locais, adaptação e simplificação de metodologias e o fomento de coleta de dados condizentes com a realidade brasileira (ambientes tropicais).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o geógrafo e produtor rural Sidney Portilho, pela valiosa ajuda nas fases de experimentação de campo e organização dos dados.

## REFERÊNCIAS

ABRACICLO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MOTOCICLETAS, CICLOMOTORES, MOTONETAS, BICICLETAS E SIMILARES. **Dados do setor de duas rodas**. 2023. Disponível em: < [https://www.abraciclo.com.br/site/wp-content/uploads/2023/08/DADOS-DO-SETOR-DE-DUAS-RODAS-2023.vdef\\_.pdf](https://www.abraciclo.com.br/site/wp-content/uploads/2023/08/DADOS-DO-SETOR-DE-DUAS-RODAS-2023.vdef_.pdf) >. Acesso em: 4 ago. 2023.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, A. C. F. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com variação do teor de água. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.

CAVALCANTE, M. B. Parque Estadual da Pedra da Boca/PB: Um olhar sobre o Planejamento do ecoturismo em unidades de Conservação na Paraíba. **Caderno Virtual de Turismo**, v. 8, n. 2, p. 69-80. 2008.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 103-132.

COLE, D. N. Research on soil and vegetation in wilderness: a state-of-knowledge review. In: **Proceedings, National Wilderness Research Conference**. Issues, State-of-Knowledge, Future Directions. R. Lucas (Comp.). Ogden: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report INT-220, 1987. p.135-177.

COLE, D. N. Recreation Ecology: what we know, what geographers can contribute. **Professional Geographer**, v. 41, n. 2. p. 143-148, 1989.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções CONAMA 1986-1991. Brasília: IBAMA, 1992.**

COSTA, V. C.; TRIANE, B. P.; COSTA, N. M. C. Impactos ambientais em trilhas: agricultura X Ecoturismo - um estudo de caso na Trilha do Quilombo (PEPB—RJ). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 1, n. 1, p. 84-113. 2008.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência Mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 1-4, p. 01-07. 2002.

CURI, N. (Coord.) **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993. 89p.

DRUMMOND, F. N.; BACELLAR, L. A. P. Caracterização Hidrossedimentológica e dos Processos Evolutivos de Voçoroca em Área de Rochas Gnáissicas do Alto Rio Das Velhas (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 87-96, 2006.

DUARTE, I. P. **Diagnóstico da atividade erosiva em trilhas ecoturísticas do Parque Nacional Da Serra Do Cipó, MG**. 2009. 29 f. Monografia (Graduação) – Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2009.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa - Solos. 2011. 574p.

EMBRATUR. **Estudo sobre o Turismo praticado em Ambientes Naturais Conservados: Relatório Final**. São Paulo: Ministério do Turismo, 2002.

FIGUEIREDO, M. A. *et al.* Compactação do solo em trilhas de unidades de conservação. **Mercator**, v. 9, n. 19, p. 165-174, 2010.

GUALTIERI-PINTO, L. *et al.* Atividade Erosiva em Trilhas de Unidades de Conservação: Estudo de Caso no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. **E-scientia**, v. 1, n. 1, p. 25-40. 2008.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 17-55.

HAMMIT, W. E.; COLE, D. N.; MONZ, C. A. **Wildland Recreation - Ecology and Management**. Chichester: John Wiley & Sons. 2015. 336p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PNAD Contínua Turismo: 96,1% das viagens tinham destinos nacionais em 2019**. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-continua-turismo-96-1-das-viagens-tinham-destinos-nacionais-em-2019> Acesso em: 4 ago. 2023.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Contribuição do IBRAM para o Zoneamento Ecológico-Econômico e o Planejamento Ambiental de Municípios Integrantes da APA-SUL RMBH**. Brasília: IBRAM, 2003.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Unidades de conservação federais recebem mais de 21 milhões de visitas em 2022.** 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/unidades-de-conservacao-federais-recebem-mais-de-21-milhoes-de-visitas-em-2022>> Acesso em: 4 ago. 2023.

LECHNER, L. Planejamento, implantação e manejo de trilhas em unidades de conservação. **Cadernos de Conservação**, v. 3, p. 1-123. 2006.

LEI, S. A. Soil Compaction from Human Trampling, Biking and Off-road Motor Vehicle Activity in a Blackbrush (*Coleogyne Ramosissima*) Shrubland. **Western North American Naturalist**, v. 64, n. 1, p. 125-130, 2004.

LEUNG, Y; MEYER, K. **Research to Support Development of Resource Indicators and Standards for Visitor Experience and Resource Protection (VERP) Implementation in Boston Harbor Islands, A National Park Area. Final Report (Review Draft).** Raleigh: Department of Parks, Recreation and Tourism Management of North Carolina State University. Raleigh. 2004.

MARION, J. L.; OLIVE, N. **Assessing and understanding trail degradation: results from Big South Fork National River and recreational area.** Final Research Report. Blacksburg: U. S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, National Park Service, Patuxent Wildlife Research Center, Virginia Tech Field Unit. Blacksburg. 2006.

MARION J. L.; WIMPEY, J. Environmental Impacts of Mountain Biking: Science Review and Best Practices. In: WEBBER, P. **Managing Mountain Biking: IMBA's. Guide to Providing Great Ridding.** 1 ed. Bolder: Internacional Mountain Bicycling Association, 2007. cap. 5, p. 94-111.

MEYER, K. J. **An evaluation of methods for estimating ground cover and soil compaction as visitor impact indicators.** 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Graduate Faculty, North Carolina State University. Raleigh, 2004.

MYR - Projetos Sustentáveis. **Produto 3 - Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos da Bacia do Rio Itabirito e dos Cenários de Outorgas de Recursos Hídricos.** Belo Horizonte: MYR, 2013.

NETTO, M. M.; SOBREIRA, F. G.; PRADO FILHO, J. F. Percepção ambiental sobre os processos erosivos da Bacia Hidrográfica do ribeirão Carioca, Itabirito/MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE GEOGRAFIA, PERCEPÇÃO E COGNIÇÃO DO MEIO AMBIENTE, 1., 2005. Londrina: **Anais...** Londrina: 2005.

OLIVEIRA FILHO, R. C.; MONTEIRO, M. S. L. Ecoturismo no Parque Nacional Serra da Capivara: trata-se de uma prática sustentável? **Turismo em Análise**, v. 20, n. 2, p. 230-250. 2009.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M. Algumas Técnicas de Pesquisa em Geomorfologia. In: VENTURI, L. A. B. **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 69-84.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; NETTO, M. M. Condicionantes do meio físico nas formas erosivas das bacias do Ribeirão Carioca, Córrego do Bação e Córrego Carioca, no município de Itabirito, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. 5., 2004. São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 2004.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 842-847, 2006.

THURSTON, E.; READER, R. J. Impacts os Experimentally Applied Mountain Biking and Hiking on Vegetation and soil of a Deciduous Forest. **Environmental Management**, v. 27, n. 3, p. 397-409, 2001.

VASHCHENKO, Y. **Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos picos Camapuã e Tucum - Campina Grande do Sul - PR**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade de partículas. In: TEIXEIRA, P. C. *et al.* (Eds.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília: Embrapa, 2017. p. 76-81.

WEBBER, P. **Managing Mountain Biking: IMBA'S Guide to Providing Great Riding**. Bolder: Internacional Mountain Bicycling Association, 2007. 256p.

WILSON, J. P.; SENEY, J. P. Erosional Impact of hikers, horses, motorcycles, and off-road Bicycles on Mountain Trails in Montana. **Mountain Research and Development**, v.14, n.1, p.77-88. 1994.