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

**Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola
comparadas ao seu funcionamento**

Alexandre Puglisi Barbosa Franco

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

Piracicaba

2018

Alexandre Puglisi Barbosa Franco

Engenheiro Agrônomo

Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparadas ao seu funcionamento

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. GERD SPAROVEK

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

Piracicaba

2018

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

Franco, Alexandre Puglisi Barbosa

Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparadas ao seu funcionamento / Alexandre Puglisi Barbosa Franco - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

140 p.

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

1. Terraceamento agrícola 2. Erosão do solo 3. Taxa de infiltração 4. Conservação do solo I. Título

Às minhas queridas filhas Priscila, Luiza e à minha esposa querida Lucila

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Wanderley e Maria Laura e a minha irmã Noca pelo apoio;

Ao professor Gerd Sparovek pela orientação e amizade que se estendem por mais de 30 anos;

Ao professor Pablo Vidal Torrado pela amizade nos últimos 30 anos, pelo exemplo, incentivo e apoio;

Ao professor Jairo Antônio Mazza pela amizade, orientação e apoio;

Ao professor Marcos Silveira Bernades pela amizade e orientação;

Ao professor Sérgio N. Duarte pela orientação;

À professora Vladia Correchel pela orientação, dedicação e amizade;

Ao professor Igo F. Lepsch pela orientação e amizade;

Aos amigos Paulo e Maurício Orth pela ajuda e amizade;

Ao Ricardo Nogueira pela ajuda computacional;

Ao Thiago Ramalho, pela amizade e ajuda na leitura da régua 01;

Ao Ubiratan Garms e sua equipe da Usina Cocal pelo crédito e apoio institucional;

À Isabella Clerici De Maria pela ajuda fundamental para a realização do trabalho;

À Zenilda pela ajuda no questionário;

À Arodi pelas dicas;

Ao Tedson de Azevedo pelo apoio e ajuda nas horas difíceis;

À bibliotecária Eliana Maria Garcia pelo apoio e correção das referências bibliográficas;

A todos os amigos, colegas e funcionários do programa de pós-graduação em Solos e nutrição de plantas;

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho;

Por fim, agradeço a Deus, de uma maneira que a ciência não explica...

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO	9
Referências.....	12
2 QUESTIONÁRIO SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO NO ESTADO DE SÃO PAULO	15
Resumo.....	15
Abstract.....	15
2.1 Introdução	17
2.2 Material e Métodos.....	21
2.3 Resultados e Discussão.....	30
Referências.....	37
3 AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE TERRAÇOS DE INFILTRAÇÃO ATRAVÉS DE MONITORAMENTO DE CAMPO E DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO RADAR METEOROLÓGICO	61
Resumo	61
Abstract.....	62
3.1. Introdução.....	63
3.2 Material e Métodos.....	68
3.3 Resultados e Discussão.....	85
3.4 Considerações Finais	137
Referências.....	137

RESUMO

Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparados ao seu funcionamento

O desenvolvimento científico na área de conservação do solo teve pouco progresso nos últimos trinta anos. A utilização de modelos para prever a erosão do solo cujos resultados foram derivados de análises de dados de parcelas em países de climas temperados, não produziram os prometidos modelos que resolveriam as questões centrais da conservação do solo, e as questões ambiciosas foram trocadas pelas limitadas e fáceis de responder. Em virtude das mudanças tecnológicas na mecanização agrícola e o aumento do tráfego de máquinas nas áreas de produção, um novo cenário de conservação do solo aparece como base de uma reestruturação das recomendações de práticas conservacionistas. A ciência produz resultados com desasagem de tempo em relação à demanda do setor agrícola e as inovações e mudanças de manejo acabam sendo implantadas sem embasamento científico. Para entender a relação e a distância que existe entre as recomendações científicas e as práticas aplicadas no manejo agrícola na cana-de-açúcar no Estado de São Paulo um questionário foi aplicado em profissionais da área de conservação de três setores de atuação, setor de produção, setor público e comunidade científica. Os resultados mostraram que a aplicações de manejo e práticas de conservação do solo no Brasil estão fundamentadas em conhecimento popular oriundas de recomendações empíricas, simplificadas e generalizadas como uma receita única para uso em todas as condições edafoclimáticas. Há predominância de práticas de infiltração implantadas de forma isolada sem dimensionamento adequado e adoção de práticas complementares e com negligência das práticas de drenagem. Devido ao grande número de casos de voçorocas causadas por falhas hidráulicas de terraços de infiltração nos últimos anos um experimento de campo foi implantado com objetivo de medir a variação da lâmina de água represada em canais de terraços de infiltração para determinar a taxa de infiltração de água. Foram determinadas as taxas de infiltração em doze terraços de infiltração. Os resultados do terraço 01, instalado em Latossolo Vermelho Amarelo Típico de textura média, mostraram ocupação do canal do terraço durante todo o período de avaliação e uma taxa de infiltração média de $0,79 \text{ mm h}^{-1}$, com máxima de $1,83 \text{ mm h}^{-1}$ e mínima de $0,17 \text{ mm h}^{-1}$. O terraço 01 apresentou duas falhas hidráulicas com chuvas acumuladas de 6 dias acima de 90 mm. O terraço 02 instalado em Neossolo Quartzarênico Órtico, a taxa de infiltração foi de $0,87 \text{ mm h}^{-1}$ em média, com valor máximo de $1,73 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,26 \text{ mm h}^{-1}$ e não apresentou falhas, entretanto outros terraços na mesma área apresentaram falhas com chuva acumulada de 5 dias que ultrapassaram os 90 mm. O terraço 03, em Latossolo Vermelho Típico de textura argilosa, apresentou taxa de infiltração média de $1,32 \text{ mm h}^{-1}$, máxima de $2,66 \text{ mm h}^{-1}$, e mínima de $0,21 \text{ mm h}^{-1}$ e apresentou uma falha. Não foi possível determinar a taxa de infiltração de água no canal do terraço 04 em Nitossolo Típico, devido a inexistência de represamento de água durante todo o período. O terraço 05 instalado em Cambissolo Háptico textura argilosa imperfeitamente drenado apresentou três falhas e a maior taxa de ocupação da seção pelo maior tempo. Os terraços 06 e 07 em Latossolos de textura argilosa não foram ocupados com água proveniente de enxurrada por períodos que permitissem a leitura das réguas de medição, provavelmente pelas altas taxas de infiltração que não puderam ser determinadas. As réguas 08, 09 e 10, instaladas em Argissolo Vermelho Amarelo Típico de textura arenosa/média, foram monitorados no mesmo terraço, porém apresentaram resultados distintos apesar da proximidade. A taxa de infiltração da régua 08 foi em média de $0,65 \text{ mm h}^{-1}$, máximo de $1,35 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,21 \text{ mm h}^{-1}$. A régua 09 apresentou média de $0,80 \text{ mm h}^{-1}$, máximo de $1,67 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,11 \text{ mm h}^{-1}$, e apresentou uma falha hidráulica. O terraço 11, instalado em Argissolo Vermelho Amarelo Típico de textura média/argilosa apresentou taxa média de infiltração de $0,72 \text{ mm h}^{-1}$, máximo de $1,82 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,06 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto que o terraço 12, implantado no mesmo solo da régua 11, apresentou taxa média de $0,85 \text{ mm h}^{-1}$, $2,14 \text{ mm h}^{-1}$ de valor máximo e mínimo de $0,12 \text{ mm h}^{-1}$. Os resultados evidenciaram que as taxas de infiltração de água no canal dos terraços na maioria dos casos são insuficientes para armazenar a quantidade de enxurrada produzida na área entre terraços e nas estradas próximas aos terraços.

Palavras-chave: Escoamento superficial difuso; Interceptação de enxurrada; Transbordamento de terraços

ABSTRACT

Perception, recommendation and adoption of agricultural terracing compared to its operation

The scientific development in soil conservation has made little progress in the last thirty years. The use of models to predict soil erosion based on results derived from plot data analyzes in temperate countries did not produce the promised models that would solve the central issues of soil conservation, and the ambitious issues were exchanged for the limited and easy to respond. Due to the technological changes in agricultural mechanization and the increase of machine traffic in production areas, a new soil conservation scenario appears as the basis for a restructuring of the recommendations of conservation practices. Science produces results with a time lag in relation to the demand of the agricultural sector and the innovations and changes of management end up being implanted without scientific base. In order to understand the relationship and the distance between the scientific recommendations and the practices applied in the agricultural management of sugarcane in the State of São Paulo, a questionnaire was applied to professionals in the conservation area of three sectors of activity, production sector, public sector and scientific community. The results showed that the management applications and soil conservation practices in Brazil are based on popular knowledge derived from empirical, simplified and generalized recommendations as a unique recipe for use in all soil and climatic conditions. There is a predominance of infiltration practices implanted in isolation without adequate sizing and adoption of complementary practices and with neglect of drainage practices. Due to the large number of gully cases caused by hydraulic failures of infiltration terraces in the last years a field experiment was deployed with the objective of measuring the variation of the retained water slide in channels of infiltration terraces to determine the rate of infiltration of water. Infiltration rates were determined on twelve infiltration terraces. The results of the terrace 01, installed in Typical Yellow Red Oxisol of medium texture, showed occupation of the terrace channel throughout the evaluation period and a mean infiltration rate of 0.79 mm h^{-1} , with a maximum of 1.83 mm h^{-1} and minimum of 0.17 mm h^{-1} . The terrace 01 had two hydraulic failures with accumulated rains of 6 days above 90 mm. The terrace 02 in Entisol Quartzipsamments, had an average infiltration rate of 0.87 mm h^{-1} , with a maximum value of 1.73 mm h^{-1} and a minimum of 0.26 mm h^{-1} , and showed no failures, although other terraces in the same had failures with cumulative rain of 5 days that exceeded 90 mm. In the typical Oxisol with clay texture, the terrace 03 had a mean infiltration rate of 1.32 mm h^{-1} , maximum of 2.66 mm h^{-1} , and a minimum of 0.21 mm h^{-1} , and presented one failure. It was not possible to determine the infiltration rate of water in the channel of the terrace 04 in a typical Ultisol, due to the lack of impoundment of water during the whole period. The terrace 05 installed in Inceptisol imperfectly drained clayey texture had three failures and the highest occupancy rate of the section for the longest time. Terraces 06 and 07 in Oxisols of clayey texture were not occupied with water from the runoff for periods that allowed the reading of the measuring rules, probably due to the high rates of infiltration that could not be determined. Rulers 08, 09 and 10, installed in typical Ultisol of sandy / medium texture, were monitored on the same terrace and presented distinct results despite the proximity. The infiltration rate of slide 08 was on average 0.65 mm h^{-1} , maximum 1.35 mm h^{-1} and minimum 0.21 mm h^{-1} . Ruler 09 presented a mean of 0.80 mm h^{-1} , a maximum of 1.67 mm h^{-1} and a minimum of 0.11 mm h^{-1} , and presented a hydraulic failure. Terrain 11, installed in Ultisol of medium / clayey texture presented average infiltration rate of 0.72 mm h^{-1} , maximum of 1.82 mm h^{-1} and minimum of 0.06 mm h^{-1} , while that the terrace 12, implanted in the same soil of rule 11, presented an average rate of 0.85 mm h^{-1} , 2.14 mm h^{-1} of maximum value and a minimum of 0.12 mm h^{-1} . The results showed that the infiltration rates of water in the channel of the terraces are in most cases insufficient to store the amount of runoff produced in the area between terraces and on the roads near the terraces.

Keywords: Diffuse superficial flow; Interception of flood; Overflowing terraces

1 INTRODUÇÃO

A degradação do solo pela erosão hídrica é tão antiga quanto a agricultura. No momento em que o homem deixou de ser nômade e passou a construir sociedades sedentárias baseadas em agricultura local, o controle da erosão hídrica se tornou um grande desafio (Bertoni; Lombardi Neto, 2014).

O desenvolvimento científico na área de conservação do solo teve pouco progresso nos últimos trinta anos, não houve revisão dos rumos da pesquisa para sabermos onde estamos em relação às questões importantes sobre conservação, quanto de erosão está ocorrendo, onde e quais são as principais causas. Avanços científicos acontecem nos campos experimentais e nos laboratórios de centenas de pesquisadores em todo o mundo e por isso, o processo de revisão deve ser contínuo (Boardman, 2006). Embora os cientistas tenham direcionado a pesquisa para modelar a erosão estatisticamente, em modelos cujos valores numéricos dos fatores da equação universal de perda de solo (USLE em inglês) foram derivados de análises de dados de parcelas nas condições dos Estados Unidos (Wischmeier; Smith, 1978), os prometidos modelos que resolveriam as questões centrais ainda não vieram, faltam dados de campo para muitos propósitos e os impulsionadores políticos, sociais e econômicos da erosão ainda são negligenciados (Boardman, 2006).

A ciência do solo é fundamentada na estatística, repousa sobre a base de artigos muitas vezes não provados em tempo e condições locais, ou provados por análises estatísticas cujos resultados são tomados como certos. Os resultados produzidos em escalas de parcelas pequenas são extrapolados para outras condições com visão mecanicista, nos quais o efeito da escala não é considerado. A ciência clássica produzida e aplicada nos trópicos tem origem europeia ao invés de universal e não considera o tempo e o lugar como elementos de mudança e evolução científica (Maslow, 1966).

Os cientistas da área de erosão estão focados em metodologias de medição de propriedades dos solos em escala de parcelas, ou em trincheiras utilizando o conceito de pedon, com extrapolação dos resultados para escalas de bacias hidrográficas. O uso de medidas de processos na escala experimental, para explicar o comportamento hidromorfológico de bacias hidrográficas de larga escala, é utilizado sem a preocupação de entender como esses resultados podem mudar em escalas maiores. Diferentes fatores como encrostamento, porosidade, cobertura e uso do solo e processos como infiltração e escoamento superficial se interagem em escalas temporais e espaciais afetando de maneira complexa os processos hidrogeomórficos como transporte de sedimentos e fluxos de enxurrada, não identificados em escala de parcelas (Sidle, 2017). Apesar de algumas abordagens analíticas e estatísticas, as metodologias de extrapolação espacial que determinam resultados para pontos não amostrados não permitem conhecer a variabilidade das propriedades dos solos nas escalas em que os fenômenos relacionados com a erosão ocorrem.

Vários trabalhos mostram a tendência dos modelos de erosão em superestimar os valores de perdas de solos de magnitude baixa e subestimar os grandes valores de erosão (Nearing, 1998). Áreas experimentais apresentam grande variabilidade nos dados de perda de solo e a quantificação dessas diferenças é fundamental para o avanço da ciência do solo. O entendimento da variação dos dados de perda de solo em parcelas é importante para uso de modelos de previsão de erosão e do planejamento da experimentação (Nearing, 1999). Investigar a dependência de escala no escoamento superficial é importante para melhor compreensão dos processos hidrológicos (Bagarello; Ferro, 2017).

Conforme Sidle (2017), o emergente campo da hidropedologia une a pedologia com outras áreas relacionadas com solos, ar e água, com objetivo de entender melhor as relações do comportamento hidrológico de bacias.

Na ciência da erosão do solo as questões ambiciosas foram trocadas pelas limitadas e fáceis de responder, entretanto alguns poucos contribuíram para o avanço no caminho de responder as questões centrais desta ciência. Conforme revisão de Boardman (2006), Trimble (1983) contribuiu com sua ênfase no estudo de armazenamento de sedimentos e a relação entre a erosão nas encostas e o papel da concentração de enxurrada em fundos de vales (talwegues); Govers e o estudo empírico de Poesen (1988) sobre erosão em sulcos e entre sulcos; tentativa de Ploey (1989) para categorizar a erosão das paisagens da Europa Ocidental; e o reconhecimento de Blaikie (1985) que a degradação ocorre por causa da relação das pessoas com a terra, que envolvem oportunidades sociais e econômicas e restrições. Parece que há mais interesse de áreas além da agronomia e engenharia agrícola, com publicações recentes da geologia que revelam tentativas ambiciosas de pesquisadores nas áreas de geomorfologia (Boardman, 2006).

Ainda segundo Boardman (2006), as questões centrais são: Onde a erosão está acontecendo? Questão ligada à escala da produção de conhecimentos a partir de parcelas; Porque isto está acontecendo? Questão ligada à casualidade; A visão geral dos impulsionadores sócio econômicos; Quando está ocorrendo a enxurrada? O que muda com o tempo, local e clima; Quem é culpado? Fazendeiros guiados pelas recomendações imperativas da pesquisa em parcelas? Quão sério é o problema? Impactos ambientais irreversíveis; A quem está afetando? Fazendeiros e/ou cidadãos urbanos? Questão de abastecimento de água; Quanto está custando? Sustentabilidade econômica da atividade agrícola; A que taxa de degradação os solos estão sujeitos? Sustentabilidade; Podemos fazer alguma coisa? Responsabilidade profissional; Quem deve agir? Fazendeiros, governo ou cientistas? Essas ações serão efetivas? Qual o risco ambiental da erosão no futuro? Uso do solo, mudança climáticas; Onde está o risco? Condições específicas de tempo e local.

Os maiores danos causados aos solos pela erosão são em grandes sulcos e em voçorocas, formas dominantes de erosão na Europa e EUA, porém não são incluídas nos modelos utilizados para criar as recomendações de práticas de controle de erosão devido ao efeito da escala de obtenção dos dados que alimentam os modelos. As práticas aplicadas e conhecidas estão relacionadas à erosão em lençol ou laminar, com severas limitações no controle de erosão em grandes sulcos e voçorocas (Boardman, 2006).

Nos países tropicais as mesmas metodologias de modelagem foram utilizadas para construir o conhecimento local e tiveram também as questões centrais negligenciadas pelos órgãos públicos de pesquisa e extensão. Isto ocorreu provavelmente por falta de incentivo e motivação para entender o problema e responder às questões centrais, com o agravante do aumento expressivo no número de eventos catastróficos no clima tropical, com erosividade mais elevada países temperados (Figura 1).

Figura 1. Erosão em voçorocas em clima tropical devido a falha hidráulica de terraços

O objetivo principal do terraceamento é interceptar a enxurrada que ocorre na área entre terraços quando o volume de chuva supera a capacidade de infiltração do solo. A capacidade de infiltração da água no solo é a variável que mais influencia no funcionamento hidrológico dos terraços, quanto maior a infiltração menor a formação de enxurrada. Adicionalmente, o funcionamento hidráulico do sistema depende do dimensionamento correto da seção de armazenamento de enxurrada e do cálculo do espaçamento entre terraços, que devem segmentar a rampa de escoamento superficial com interceptação da enxurrada (Bertoni; Lombardi Neto, 2014).

O sistema conservacionista projetado para destinar a enxurrada para terraços de infiltração, pressupõe o represamento da água no canal do terraço, e para o bom funcionamento desta prática depende das condições de solos e clima locais. As recomendações para implantação deste sistema estão restritas às classes de solos permeáveis que ocorrem em declividades menores que 8% em regiões de baixa pluviosidade. Em regiões de alta pluviosidade, solos ligeiramente ou moderadamente permeáveis, com declividades entre 8 e 20 %, o sistema de terraços recomendado é o de drenagem. Os sistemas de terraços de drenagem são projetados para interceptar o escoamento e desviar o excesso para os cursos d'água protegidos ou canais escoadouros vegetados. Portanto, ao planejar um sistema de terraço, é importante considerar a textura, a estrutura, a profundidade efetiva e a permeabilidade do solo superficial e subsuperficial (FAO, 1997).

A função dos terraços está relacionada com o destino da enxurrada, no sistema em nível o destino da enxurrada interceptada é a infiltração no canal do terraço, por esta razão o sistema é recomendado apenas para solos de boa permeabilidade que ocorrem em relevos planos. Por outro lado, o sistema de drenagem é indicado para solos com permeabilidade moderada ou lenta no perfil, que impossibilite a infiltração de água proveniente das chuvas sequenciais. Esse tipo de terraceamento deve estar sempre associado à canais escoadouros vegetados ou revestidos, utilizados para diminuir a velocidade de escoamento superficial, utilizando o atrito da lâmina de água com a vegetação do leito, que pode ser natural ou através de estruturas construídas para essa finalidade (Bertolini et al., 1989).

Sistemas de infiltração implantados em áreas não recomendadas podem ter efeitos contrários aos esperados e consequências negativas nas áreas onde são implantados. Em virtude dos prejuízos causados pelas falhas dos sistemas de terraceamento, o desenvolvimento de técnicas que permitam o aumento da eficiência destas práticas é fundamental para a evolução da conservação do solo. No Brasil, o terraceamento agrícola é uma das práticas mais utilizadas pelos agricultores para controlar a erosão hídrica, entretanto na maioria das vezes é utilizado de forma isolada sem adoção de práticas complementares. Além disso, estudos indicam que os terraços de infiltração estão sendo implantados em desacordo com as recomendações de dimensionamento hidrológico e hidráulico propostos pela ciência (Miranda et al., 2012).

A baixa eficiência do sistema de terraceamento com seções reduzidas contribuem para armazenamento insuficiente em relação ao volume necessário. Diferenças entre o volume de armazenamento necessário e o efetivo determinam a variabilidade na eficiência de terraços, que apesar de ser uma prática antiga apresenta dificuldades relativas ao seu uso. A eficiência dos sistemas depende do adequado posicionamento espacial dos terraços, do dimensionamento correto da sua seção transversal e da sua uniformidade no campo (Magalhães, 2013).

As falhas hidráulicas decorrentes da baixa capacidade de armazenamento das estruturas devido ao subdimensionamento ocorrem muito frequentemente no clima tropical. Em parte devido ao armazenamento de enxurrada proveniente de eventos sequenciais de precipitação, que inviabiliza o dimensionamento do sistema pois, no momento de determinado evento de precipitação, existe incerteza da ocupação da seção do terraço com água de eventos anteriores. A consequência é o rompimento dos terraços com acúmulo de energia potencial dissipada em um único evento capaz de causar danos ambientais maiores do que áreas sem terraceamento (Oliveira et al., 2012; Griebeler et al., 2000).

O sistema de terraceamento de drenagem não depende da variável ocupação do canal do terraço no momento da chuva, pois a seção do canal estará desocupada e o risco de falha é muito reduzido. A imprevisibilidade do sistema de terraços de infiltração não permite que o sistema seja considerado com um projeto de conservação do solo sendo apenas uma recomendação empírica (Sparovek; Maule, 2015).

A infiltração da água no canal do terraço deve ser conhecida para determinação da seção necessária para chuva de projeto, entretanto existem limitações de metodologias da estimativa da taxa de infiltração de água no canal do terraço, sendo inviáveis as estimativas a partir da densidade de fluxo, calculadas pela equação de Darcy-Buckingham, ou pela variação da armazenagem da água no solo, devido ao papel importante da drenagem profunda (Castro, 2001).

Este trabalho foi dividido em dois capítulos, no primeiro foi feito um questionário com objetivo de obter informações detalhadas sobre o conhecimento técnico utilizado no planejamento de práticas conservacionistas no Estado de São Paulo e no segundo foi realizado um ensaio de campo, com objetivo de medir a infiltração da lâmina represada em canais de terraços de infiltração e sua correlação com chuvas sequenciais.

Referências

BAGARELLO, V.; FERRO, V. Scale effects on plot runoff and soil erosion in a Mediterranean environment. **Vadose Zone Journal**, v. 16, p. 2-14, 2017.

BERTOLINI, D.; GALETI, P.A.; DRUGOWICH, M.I. Tipos e Formas de Terraços. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. **Anais do Simpósio sobre Terraceamento Agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, 1989, p. 266.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ícone, 9ª ed., 2014. 355p.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. **Catena**, v. 68, p. 73-86, 2006.

CASTRO, L. G. **Dinâmica da água em Terraços de Infiltração**. 2001. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FAO. Manual on Integrated Soil Management and Conservation Practices. **FAO Bulletin Soil and Water**. Ibadan, Nigeria, 1997.

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D.F.; MATOS, A.T. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando o sistema de informações geográficas. Estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 299-306, 2000.

MAGALHÃES, G.M.F. Análise da eficiência de terraços de retenção em sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1109-111, 2013.

MASLOW, A.H. **Psychology of Science: A Reconnaissance**. Michigan, 1966. 121p.

MIRANDA, A. C. R.; SILVA, D.P.; MELLO, E.L.; F.F., PURSKI. Assessment of Efficiency and Adequacy of Retention Terraces. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 577-586, 2012.

NEARING, M.A. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. **Catena**, v. 32, p. 15-22, 1998.

NEARING, M.A. Variability in Soil Erosion data from replicated plots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1829-1835, 1999.

OLIVEIRA, J. R. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A.; SILVA, D. P. Comparative analysis of the performance of mixed terraces and level and graded terraces. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, p. 351-357, 2012.

SIDLE, R.C. Hydrogeomorphic processes and scaling issues in the continuum from soil pedons to catchments. **Earth-Science Reviews**, p. 75-96, 2017.

SPAROVEK, G.; MAULE, R.F. Técnicas de conservação do solo e da água. In: BELARDO, C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**. 1 ed.-Jaboticabal, SBEA, p. 129-147, 2015.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. **U.S. Department of Agriculture: Agriculture Handbook**, v. 537, 1978.

2 QUESTIONÁRIO SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Resumo

O desenvolvimento científico na área de conservação do solo teve pouco progresso nos últimos trinta anos. Embora os cientistas tenham direcionado a pesquisa para modelar a erosão estatisticamente em modelos cujos valores numéricos dos fatores foram derivados de análises de dados de parcelas, nas condições de países de clima temperado, os prometidos modelos que resolveriam as questões centrais ainda não vieram e ainda faltam dados de campo para motivar os impulsionadores políticos, sociais e econômicos envolvidos com o controle da erosão, para uma discussão produtiva das questões centrais. Os resultados científicos produzidos em escalas de parcelas são extrapolados para condições de campo com visão mecanicista, nos quais o efeito da escala não é considerado. Na ciência do solo as questões ambiciosas sobre controle de erosão foram trocadas pelas limitadas e fáceis de responder, e apenas poucos cientistas contribuíram para o avanço no caminho de responder as questões centrais desta ciência. Onde a erosão está acontecendo? Porque isto está acontecendo? Quando está ocorrendo? O que muda com o tempo, local e clima? Quem é culpado? Quão sério é o problema? A quem está afetando? Quanto está custando? A que taxa de degradação os solos estão sujeitos? Podemos fazer alguma coisa? Quem deve agir? Essas ações serão efetivas? Qual o risco ambiental da erosão no futuro? Onde está o risco? A ciência no Brasil produziu raros trabalhos em erosão acelerada do solo e mais especificamente em terraceamento agrícola. A pesquisa em erosão é recente e está concentrada em instituições do Sul e Sudeste. Para avaliar a conhecimento utilizado em conservação do solo no Brasil um questionário foi elaborado em sistema operacional Windows, escrito nas linguagens ASP, HTML, CSS e Java Script e os dados foram armazenados em banco de dados MySQLOs. O questionário foi aplicado em ambiente web para participantes distribuídos em todas as regiões agrícolas do estado de São Paulo. Foram consultados profissionais que atuam direta ou indiretamente na conservação do solo que pertencem a três grupos de atuação, o setor de produção, setor público e comunidade científica. Nas questões em que o assunto exigiu conhecimento mais aprofundado em conservação do solo, relacionado às áreas de hidrologia e hidráulica que não estão sendo tratadas pelas pesquisas em erosão feitas no Brasil, a frequência de questões em branco foi elevada. Com tendência contrária nas questões em que os assuntos de práticas conservacionistas eram de conhecimento popular, a frequência de questões em branco foi reduzida. A frequência elevada de questões não respondidas pelo setor acadêmico e pelo setor público formado na mesma fonte de conhecimento, refletem a distância entre as recomendações da pesquisa e a aplicação das recomendações. Por outro lado, o setor de produção teve a menor frequência de respostas em branco, embora com conhecimento conservacionista insuficiente para adequar as recomendações para cada condição proposta nas questões. Os resultados mostraram que a grande maioria dos profissionais utilizam exclusivamente práticas de controle de erosão através de estruturas de infiltração com negligência das práticas de drenagem.

Palavras-chave: Escoamento superficial concentrado; Práticas de controle de erosão; Falhas hidráulicas de terraços agrícolas

Abstract

The scientific development in soil conservation has made little progress in the last thirty years. Although scientists have directed researches to predict erosion with statistical models whose numerical factor values have been derived from plot data analyzes in temperate climate conditions, the promised models that would solve the central issues have not yet come and are still missing field data to motivate the political, social, and economic drivers involved in erosion control for a productive discussion of central questions. The scientific results produced in plot scales are extrapolated to field conditions with a mechanistic view, in which the scale effect is not considered. In soil science the ambitious questions of erosion control have been changed by the limited and easy to answer, and only a few scientists have contributed to advancing the path of answering the central questions of this science. Where is erosion happening? Why is this happening? When is it occurring? What changes over time, place and climate? Who is guilty? How serious is the problem? Who is it affecting? How much is it costing? At what rate of degradation are the

soils subject? Can we do something? Who should act? Will these actions be effective? What is the environmental risk of erosion in the future? Where is the risk? Science in Brazil has produced rare works on accelerated soil erosion and more specifically on agricultural terracing. Erosion research is recent and is concentrated in Southern and Southeastern institutions. To evaluate the knowledge used in soil conservation in Brazil, a questionnaire was written in the Windows operating system, written in ASP, HTML, CSS and Java Script languages, and the data was stored in MySQL database. The questionnaire was applied in a web environment for participants distributed in all agricultural regions of the state of São Paulo. Professionals who work directly or indirectly in soil conservation belong to three performance groups, the production sector, the public sector and the scientific community. In matters where the subject required more in-depth knowledge on soil conservation, related to the areas of hydrology and hydraulics that are not being addressed by erosion research in Brazil, the frequency of blank questions was high. Contrary to trends in issues of conservationist practices, the frequency of blank issues was reduced. The high frequency of unanswered questions by the academic sector and the public sector formed in the same knowledge source reflect the distance between the recommendations of the research and the application of the recommendations. On the other hand, the production sector had the least frequency of blank answers, although with insufficient conservation knowledge to adapt the recommendations for each condition proposed in the questions. The results showed that the great majority of professionals exclusively use erosion control practices through infiltration structures with negligence of drainage practices.

Keywords: Concentrated surface flow; Erosion control practices; Farming terraces hydraulic failures

2.1 Introdução

O conhecimento científico em conservação do solo no Brasil teve uma trajetória de estruturação científica com base nos modelos de equações desenvolvidos nos países de clima temperado, cujos dados foram gerados em pequenas parcelas com limitações de escala, tempo e local. A partir de dados perda de solo e produção de sedimentos obtidos em pequenas parcelas, as recomendações das práticas conservacionistas a partir da década de 1970 foram construídas sem considerar as variabilidades referentes à escala, com deficiência de dados referentes aos eventos catastróficos comuns no clima tropical. A maior parte da erosão observada nas áreas de produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo é decorrente da enxurrada acumulada nas estradas ou em terraços que falham hidráulicamente e produzem enxurradas de elevados volumes e velocidades que geram grande quantidade de transporte de sedimentos, e como resultado sulcos grandes e voçorocas seguidos de assoreamento de áreas de preservação.

A ciência no Brasil produziu raros trabalhos em erosão acelerada do solo e mais especificamente em terraceamento agrícola nas últimas décadas. A pesquisa em erosão é recente e está concentrada em instituições do Sul e Sudeste. Antes de 1977, a única fonte de artigos relacionados à pesquisa brasileira em erosão do solo era a Revista *Bragantia* do Instituto Agrônomo de Campinas, com poucas publicações em erosão. A partir de 1980, a Universidade de São Paulo - USP se destacou em produção de trabalhos científicos no Brasil, sendo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) a maior contribuição de artigos. Entretanto a erosão do solo não foi destaque nas publicações e a ausência de pesquisa nessa área é notória. As publicações que existem estão concentradas nos temas de modelagem da erosão pela equação universal de perda de solo (USLE) e efeito de manejos nas perdas de solos (Barreto et al., 2009).

Houve um processo de simplificação dos sistemas conservacionistas no Brasil, que permitiu a adoção generalizada de práticas isoladas de infiltração com efeito parcial no controle da erosão, e em casos não raros o efeito

contrário ao esperado, com agravamento da erosão em função das falhas hidráulicas em sistemas de terraceamento de infiltração (Miranda et al., 2012) (Figura 2).

Figura 2. Erosão em grandes sulcos devido às falhas hidráulicas do sistema de terraceamento

Medidas de enxurrada e concentrações de sedimentos em pequenas parcelas são a base dos dados para avaliação de quantidade de erosão no Brasil. Dados de perda de solo em parcelas conduzidas com chuva natural e chuva simulada em diferentes culturas, estágios de crescimento e sistemas de manejo, quando comparadas a levantamentos de campo e medições de sulcos e voçorocas em bacias experimentais com integração hidrogeomórfica, indicam uma diminuição de enxurrada nas encostas e um aumento de fluxo subsuperficial nos perfis. Os resultados indicam um decréscimo acentuado da erosão laminar e em sulcos e aumento de perdas de solo das escalas de parcelas para bacias, e a perda total de solo na escala das bacias deve diminuir em relação aos dados das parcelas. No entanto a maior parcela de erosão em voçorocas é fortemente influenciada por chuvas extremas não consideradas em experimentos com parcelas. Quando a escala da bacia é considerada a resposta hidrológica e geomorfológica muda de uma fortemente controlada por condições de superfície (uso e preparo), para uma que é fortemente controlada por características subsuperficiais, que se espera que sejam afetadas por outros fatores dinâmicos (Castro et al., 1999).

A utilização de sistemas conservacionistas que não consideraram o efeito de escala, tempo e local é um problema antigo. Algumas sociedades do passado tiveram sucesso por mais de sete mil anos praticando agricultura sustentável baseadas em práticas de manejo para as condições específicas de tempo e local. Os povos das terras altas da Nova Guiné que cultivavam batatas em relevo acidentado onde ocorrem solos de permeabilidade lenta, desenvolveram técnicas sofisticadas de conservação do solo com plantios em canteiros com desnível que eram construídos para drenagem da enxurrada em canais escoadouros vegetados, dispostos no sentido do declive. O sistema utilizado contrariava as técnicas europeias recomendadas pelos consultores na década de 1930, que ao chegarem na ilha constataram o equívoco no sistema de conservação e convenceram os aldeões a implantar terraços em nível para represamento da enxurrada conforme as experiências científicas baseadas em parcelas. O resultado foi que a água se acumulou nos terraços e o transbordamento causou erosão severa que dizimou a produção daquele

ano, só restabelecida no ano seguinte quando o sistema de drenagem foi reimplantado e as práticas foram adequadas novamente para o tempo e o local (Diamond, 2005).

Uma simplificação dos sistemas conservacionistas vem ocorrendo ao longo do tempo com uma evidente predominância de adoção de terraceamento em nível como prática exclusiva de conservação do solo. Um exemplo disso foi a simplificação despercebida das recomendações utilizadas para sustentar o boletim número 71 do IAPAR (Caviglione et al., 2010), no qual as classes de solos C e D que apresentam permeabilidade e profundidade restritivas para os sistemas de infiltração, as recomendações de sistemas de drenagem para estes solos foram excluídas do texto e tabelas do manual, resumindo o sistema de terraceamento aos de infiltração em qualquer tipo de solo e relevo para todo o estado do Paraná. Os desdobramentos desta generalização são importantes uma vez que o boletim 71 do IAPAR é a base de recomendação para aplicação da legislação de conservação do solo do estado, e a simplificação se torna ainda mais grave no momento em que os equívocos na avaliação de projetos de conservação em áreas com solos de permeabilidade lenta e declividade elevada, nas quais o sistema de terraceamento em nível não são recomendados, proporcionam riscos ainda maiores do que a ausência dos sistemas de terraços.

A recomendação de conservação do solo em cana-de-açúcar deve estar desatrelada da simplificação dos sistemas de terraceamento de infiltração, feitas sem cálculos hidrológicos e hidráulicos e com espaçamentos verticais fixos e exagerados de maneira empírica para aumentar o rendimento operacional. O controle de erosão inicia-se pela escolha adequada do sistema de infiltração e drenagem, que deve dar um destino final para a enxurrada. As estruturas mecânicas de controle de enxurrada devem ser dimensionadas para as condições locais com detalhamento das propriedades físicas e químicas do solo, além de clima e relevos locais, conforme os parâmetros hidrológicos e hidráulicos (De Maria et al., 2016).

Os problemas com a erosão no setor de agroenergia no Brasil estão ligados às visões ortodoxas, com resistência para atualização das questões centrais da erosão. Os sistemas convencionais não consideram a enxurrada como ponto central e são resilientes às mudanças do pensamento em relação à conservação. O setor de agroenergia passa por um momento de profunda reestruturação do sistema de conservação do solo com vários desdobramentos estruturais e de planejamento para a produção agrícola.

O novo cenário de intensificação da mecanização na cultura da cana de açúcar, decorrente da proibição de queima das lavouras a partir de protocolos agroambientais, resultou no aumento da eficiência na mecanização, o que estimulou a mudança de visão na conservação do solo e promoveu inovações que procuram resolver os problemas causados pelo alto nível de tráfego. A partir de experiências empíricas e sem o auxílio da ciência que produz resultados defasados em relação à demanda do setor, as novas soluções foram criadas para atender à mecanização e não à conservação. A discussão tornou-se dicotômica, apoiada em um paradigma de manutenção ou eliminação do terraceamento de infiltração, com a questão central negligenciada. A discussão fica em torno das variações dos tipos de terraços de infiltração implantados com subdimensionamento de armazenagem e espaçamento, refletido na diminuição da altura do camalhão para permitir o tráfego de máquinas, criando o terraço passante, e aumento do espaçamento para aumentar o rendimento operacional de máquinas. (Mazza et al., 2017). As incertezas de funcionamento dos sistemas atuais impõem à pesquisa e a extensão rural um papel fundamental para produzir e compartilhar conhecimentos para intervir de forma eficiente nas mudanças necessárias para adequação de sistemas conservacionistas sustentáveis.

O processo erosivo pode ser visto como um problema tão grave para a sociedade como para o proprietário da terra, o problema vai além da porteira pois os danos causados por assoreamentos de mananciais ou reservatórios

de água são irreversíveis e afetam diretamente a comunidade local, diminuindo quantidade e qualidade da água disponível. Em muitos casos o agricultor é prejudicado pelo processo erosivo, principalmente em solos pouco desenvolvidos com restrições de profundidade, porém a grande maioria da área cultivada se encontra em solos profundos que permitem a convivência com erosão e degradação dos solos lentamente e por longos períodos. O solo pode ter a fertilidade recuperada através de insumos e a estrutura recuperada pela atividade biológica, o que permite a volta da produtividade anterior às intervenções e sistematizações das áreas afetadas com erosão, porém a perda de solo e o assoreamento de mananciais são variáveis insustentáveis no sistema conservacionista.

O planejamento do alinhamento de plantio em cana-de-açúcar foi impulsionado pelas inovações tecnológicas a partir de sistemas georreferenciados de automação de máquinas agrícolas. Estes sistemas viabilizaram a implantação de alta precisão geográfica de projetos criados em sistemas digitais a partir de modelos de terreno produzido por levantamentos topográficos precisos (Spekken et al., 2016). As linhas de plantio funcionam como canais de condução de enxurrada, pois a rugosidade do sulco na superfície do solo conduz a água pela linha de cana. A água pode ser conduzida no sentido convergente de fluxo, acumular no fundo dos talwegues das depressões do terreno e causar rompimento dos sulcos, como consequência o escoamento superficial no sentido do declive; também pode ser conduzida em sulcos com declividades constantes ou crescentes, nunca decrescentes, para deságue em drenagens naturais ou canais escoadouros. Pode ainda ser represada em sulcos em nível que transbordam e causam rompimento dos sulcos e escoamento superficial como na convergência de fluxo.

Os sulcos de plantio com declividades maiores que 5% conduzem enxurrada com velocidade alta e causam erosão entre sulcos ou nos próprios sulcos (Chow et al., 1999).

As inovações nos sistemas de conservação foram surgindo ao longo da última década devido a necessidade de mudanças nos sistemas de produção de cana-de-açúcar. Um dos sistemas inovadores utilizados no setor é o escoamento superficial difuso, que pressupõe a substituição de terraços por alinhamentos de plantio desenhados para condução de enxurrada em declividades pequenas e distâncias longas, que diminui a velocidade de escoamento e aumenta o tempo de concentração da área, reduzindo a erosão do solo (Mazza et al., 2017; Sparovek; Maule, 2015).

Existem recomendações para utilização de sistemas de terraceamento de infiltração de forma generalizada pelos técnicos de assistência técnica no Brasil, sem incluir o tipo de solo e relevo como informações básicas para a escolha do sistema mais adequado para cada condição edafoclimática, sendo o terraceamento em nível amplamente utilizado. Como uma simplificação para implantação de grandes áreas o espaçamento entre terraços é aumentado de forma empírica, normalmente entre 2,5 a 5,0 metros verticais, com a justificativa de viabilizar a mecanização. Outra simplificação é a ausência de cálculo da seção de armazenamento dos terraços de infiltração para cada situação de chuva, solo e relevo, sendo a seção determinada apenas pela capacidade da máquina em construir o terraço na declividade local, com limitações severas de construção em declividades acima de 10% (Bertoni; Lombardi Neto, 2014).

A construção de terraços em áreas agrícolas é dificultada pela declividade de forma progressiva, conforme a inclinação da rampa aumenta a seção, para uma mesma altura de camalhão, fica menor pois a largura da lâmina de água diminui, comprometendo a eficiência em armazenar ou conduzir enxurrada. Não é recomendada a construção de camalhões com alturas maiores que 1,5m devido aos riscos de transbordamentos de grandes volumes de enxurrada, bem como a construção de terraços de drenagem com alturas menores que 0,4m devido ao risco de assoreamento que causará a interrupção de fluxo de vazão de enxurrada represando água e transbordando neste

ponto. Os terraços de drenagem não devem ser construídos com comprimentos acima de 500m, com risco de acúmulo de enxurrada em volumes descontrolados. Quando as distâncias forem maiores, o terraço passa a ser divergente e o canal de condução deve ser vegetado.

A recomendação da utilização de terraços de infiltração é feita apenas para condições favoráveis de solo e relevo, nas quais os riscos de escoamento superficial são reduzidos pelos atributos do solo e pelo manejo. Devido aos custos elevados de implantação dos sistemas de terraceamento o recomendado que o sistema seja economicamente viável, muitas vezes com espaçamentos aumentados em relação às recomendações, sem considerar as variáveis envolvidas nos sistemas os tornando inadequados (Pruski et al., 1997).

Solos profundos, com permeabilidade rápida e textura argilosa têm maior resistência à erosão devido a forças de agregação maiores, que resultam em menor de formação da enxurrada e produção de sedimentos. Para solos das classes 1 e 2 são recomendados os terraços de infiltração (TI) ou drenagem (TD), escolha feita no projeto de controle de erosão (PCE) pelo técnico. Nas situações dos solos 3 e 4 apenas os TD são recomendados, devido às condições desfavoráveis para infiltração de enxurrada, se tornando inviáveis os dimensionamentos dos TI devido ao regime da quantidade, intensidade e duração das chuvas que ocorrem nas regiões centro sul do Brasil durante a estação de verão. Adicionalmente não são recomendados os dois tipos de terraços em relevos que apresentam declividades acima de 12%, devido às dificuldades de infiltração e de construção do terraço. A declividade máxima para a construção de terraços varia em função do solo e da declividade e acima destes valores não se recomenda e atualização de terraços (De Maria et al., 2016).

O espaçamento ideal entre terraços é determinado pela equação que determina o valor do espaçamento vertical em função do grupo hidrológico do solo, declive, uso e manejo. Essa equação foi revisada no Boletim 216 do IAC para incluir práticas conservacionistas e sistemas de manejo mais recentemente adotados no cultivo da cana-de-açúcar bem como a sua necessária atualização frente aos avanços na área de pesquisa envolvida (De Maria et al., 2016).

O espaçamento entre terraços deve ser calculado pela equação (De Maria et al., 2016):

$$EV = 0,4518 * K * (D^{0,58}) * \frac{(u+m)}{2} * p \quad \text{Equação 1}$$

Onde,

EV = Espaçamento entre terraços (m)

K = Tipo de solo

D = Declividade da área (%)

u = Uso do Solo

m = Manejo do Solo

p = Técnicas para aumentar a cobertura vegetal e infiltração de água

Neste trabalho, elaborou-se um questionário, com o objetivo de obter informações detalhadas sobre o conhecimento técnico utilizado no planejamento de práticas conservacionistas no estado de São Paulo. As informações foram coletadas de forma não assistida em uma plataforma web construída especificamente para o estudo. Os dados foram analisados em função das respostas obtidas.

2.2 Material e Métodos

Um questionário foi elaborado e disponibilizado em um link que direcionava os participantes para um site que a partir de login e senha tinham acesso às suas páginas. O sistema foi criado em servidor com sistema operacional Windows, escrito nas linguagens ASP, HTML, CSS e Java Script e os dados foram armazenados em um banco de dados MySQLOs.

O questionário foi aplicado para ambiente web para facilitar a coleta de dados, uma vez que os municípios que participaram estão distribuídos em todas as regiões agrícolas do estado de São Paulo (Figura 3). Foram consultados profissionais de cinquenta e cinco municípios no total, sendo cinquenta e três municípios no estado de São Paulo, um no estado do Paraná e um no estado de Minas Gerais.

Figura 3. Distribuição dos municípios dos profissionais participantes do questionário

Os participantes do questionário são profissionais que atuam direta ou indiretamente na conservação do solo e pertencem a três grupos de atuação, o setor de produção, setor público e comunidade científica. Os assuntos tratados foram divididos em sete seções, com sessenta e uma questões distribuídas em questões abertas (62%) e questões fechadas (38%). As questões abertas trazem a vantagem de explorar as respostas a partir da experiência do entrevistado, no entanto apresentam dificuldades de classificação dos resultados em tabelas. Por outro lado, as questões fechadas são organizadas em classes numéricas que facilitam a análise dos dados e interpretação dos resultados (Nogueira, 2002).

O questionário foi dividido em seções que distribuem os assuntos em sete temas (Tabela 1).

Tabela 1. Seções do questionário

Seção	Assunto	Questão Inicial	Questão Final
I	Perfil do Entrevistado	5	14
II	Práticas de Conservação do Solo	15	17
III	Planejamento da Conservação do Solo	18	27
IV	Terraceamento	28	47
V	Canais Escoaduros	48	56
VI	Conservação de Estradas	57	64
VII	Considerações Finais	65	65

A seção I é composta pelas questões de 5 a 14, que identificam perfil dos participantes destacando o nível de escolaridade, atuação profissional, culturas, poder de tomada de decisão e envolvimento com conservação do solo (Tabela 2).

Tabela 2. Seção I – Perfil do entrevistado

Perfil		
5. Nome do Entrevistado:		
6. Formação básica (médio ou graduação) e continuada:		
7. Empresa:		
8. Local (Município):		
9. Cargo/Ocupação atual:		
10. Tempo no cargo atual:		
11. Atividades desenvolvidas:		
12. Com quais culturas trabalha?		
Coloque em ordem de prioridade (1=mais importante)		
☐ cana-de-açúcar	obs:	
☐ grãos (soja, milho, outros)	obs:	
☐ algodão	obs:	
☐ café e citros	obs:	
☐ pastagem	obs:	
☐ silvicultura	obs:	
☐ integração lavoura pastagem	obs:	
☐ horticultura	obs:	
☐ outras:		
13. Qual é o seu envolvimento com projetos de conservação do solo?		
14. Trabalha diretamente no planejamento da conservação do solo?		
☐ SIM	☐ recomendação de práticas ☐ elaboração de projetos ☐ avaliação de projetos ☐ execução/implantação de projetos ☐ ensino de práticas conservacionistas	quando você recomenda práticas quando você elabora um projeto ... nos projetos que você avalia nos projetos que você executa quando você recomenda práticas
☐ NÃO		

A seção II trata da identificação do nível de entendimento na separação dos conceitos de controle de erosão e controle de enxurrada, e as questões de 15 a 17 indagam sobre as práticas conservação do solo de duas maneiras distintas, uma abordagem referente às práticas de controle de erosão e outra referente às práticas de controle de enxurrada (Tabela 3).

Tabela 3. Seção II – Práticas de Conservação do Solo

PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO		
15. No seu trabalho, quais são as práticas de controle da erosão utilizadas?		
16. No seu trabalho, quais são as práticas de controle do escoamento superficial utilizadas?		
17. que você utiliza no planejamento da conservação do solo:		
☐ Manejo de cobertura ☐ Drenagem de estrada ☐ Plantio em nível ☐ Retenção de enxurrada ☐ Manta geotêxtil ☐ Rotação de culturas ☐ Capina em ruas alternadas	☐ Cultura em faixas ☐ Desaguadouros de estrada ☐ Plantio em desnível ☐ Drenagem de enxurrada ☐ Gabião ☐ Cultura de cobertura ☐ Cordões de vegetação permanente	☐ Planejamento da época de preparo ☐ Bacias de retenção ☐ Curva de nível ☐ Quebra-ventos ☐ Paliçadas ☐ Adubação verde ☐ Controle de mato (roçado ou químico)

As questões abertas 15 e 16 identificaram o entendimento das diferenças conceituais de controle de erosão e controle de enxurrada e ainda a percepção sobre as limitações das recomendações generalizadas.

Tabela 4. Seção III – Planejamento da Conservação do Solo

PLANEJAMENTO DA CONSERVAÇÃO DO SOLO		
18. Nas áreas agrícolas, tradicionalmente, sempre são utilizadas práticas conservacionistas. Quando é necessário um novo projeto ou uma reforma na conservação do solo?		
19. Quais informações você julga importantes para o planejamento das práticas conservacionistas?		
(marcar as três de maior importância).		
☐ Textura do solo ☐ Declive da área ☐ Mapeamento do solo ☐ Risco de erosão ☐ Experiências de outras áreas ☐ Cobertura do solo ☐ Cálculos hidrológicos ☐ Outra 1: ☐ Outra 2: ☐ Outra 3:	☐ Profundidade do solo ☐ Posição na paisagem ☐ Ambiente de produção ☐ Análise de dados meteorológicos ☐ Unidade pedológica ☐ Favorecimento de enraizamento ☐ Previsão de chuva	☐ Permeabilidade do solo ☐ Posição no relevo ☐ Análise química ☐ Histórico de erosão ☐ Época do ano ☐ Preparo do solo ☐ Tempo de concentração
19.1 Entre as que você selecionou, quais as três principais:		
20. Quais as recomendações para o preparo de solo da área na reforma ou na implantação da cultura?		
21. Em qual época se concentra a reforma e/ou a implantação da cultura?		
22. Qual o manejo da cobertura adotado para a conservação do solo?		
23. Quais as operações de revolvimento do solo são feitas na condução da lavoura? Em que época?		
24. Que operações de manejo do solo e equipamentos são mais utilizados?		
☐ Preparo convencional ☐ Grade aradora ☐ Escarificador ☐ Plantio direto ☐ Preparo em faixa ☐ Outro:	☐ Preparo Reduzido ☐ Grade niveladora ☐ Penta ☐ Plantio com controle de tráfego ☐ Roçadeira	☐ Preparo canteirizado. Qual espaçamento? ☐ Arado de disco ☐ Cultivo mínimo ☐ Trincha ☐ Arado de aivecas ☐ Subsolador ☐ Colheita com controle de tráfego ☐ Erradicador de soqueira
25. Que máquinas e implementos têm disponíveis (ou são necessários ou são utilizados) na conservação do solo?		
Terceiriza alguma operação? Caso sim, terceiriza a maioria?		
26. Utiliza levantamento topográfico para o planejamento?		
☐ NÃO ☐ SIM. Qual tipo e qual escala?		
27. Utiliza software para processamento de dados topográficos?		
☐ NÃO ☐ SIM. Qual software?		

Na Seção III (Tabela 4) a questão 18 referiu-se à inovação das práticas conservacionistas nas áreas agrícolas, quando seria necessário um novo projeto ou a reforma do sistema de conservação vigente em função das falhas hidráulicas frequentemente observadas nos sistemas atualmente adotados, situação muito comum no setor produtivo devido às mudanças nas condições físicas dos solos decorrente da intensificação de mecanização do setor de agroenergia (Mazza et al., 2017). A questão 19 teve objetivo de conhecer as informações mais importantes para o planejamento das práticas conservacionistas. A primeira parte da questão 19 era uma lista em ordem aleatória de práticas conservacionistas na qual o participante podia escolher quantas julgasse necessário e a 19.1, uma questão aberta para a descrição das três mais importantes. A questão 20 tratou das recomendações de intensidade de mobilização do solo no preparo que antecede a reforma ou implantação da cultura. São informações importantes para avaliar o nível de risco que o sistema está exposto em relação às recomendações de manejo. A questão aberta 21 especificou qual época recomendada para a reforma ou implantação da cultura, complementando a percepção dos riscos envolvidos nos sistemas adotados.

O manejo da cobertura adotado foi o tema da questão 22, que indagou de forma aberta como a cobertura do solo está inserida no contexto do planejamento. A questão 23 elaborada para retornar à ideia da mobilização do solo e operações de revolvimento feitas em épocas em que ocorrem chuvas intensas, reforçando o conhecimento da percepção dos profissionais em relação às tomadas de decisão frente aos riscos envolvidos. A estratégia da questão 24 foi revisitar a partir de outra perspectiva a percepção de riscos de erosão em função dos tipos de preparo e intensidade de mobilização do solo, relacionados diretamente com erosão e escorrimento superficial (Bertoni et al., 1985). A questão 25 foi descritiva e se concentrou na determinação do nível de sistematização que os sistemas

conservacionistas adotados estão sendo implantados, em função do conhecimento do tipo de máquinas utilizadas nos projetos de conservação, enquanto as questões 26 e 27 foram formuladas para identificar os níveis de tecnologia utilizados nos projetos conservacionistas.

A seção IV formada pelas questões sobre o terraceamento agrícola (Tabela 5) tem início na questão 28, com alternativas de sim ou não, sobre como o terraceamento é inserido nos projetos de conservação, independente de outras práticas complementares. Em seguida a questão 29 oferece opções de escolha de sistemas de terraceamento inseridos nos projetos; nível ou infiltração; desnível ou drenagem; paralelo ou misto. Essa questão tem fundamental importância na discussão dos resultados em função da tendência de generalização dos sistemas de infiltração em detrimento de sistemas de drenagem em solos de alto risco de erosão, provavelmente devido à necessidade de conhecimento mais aprofundado em conservação para utilização dos sistemas de drenagem.

A questão 30 tem efeito no entendimento do nível tecnológico utilizado nos projetos de conservação, pois o tipo de terraço está associado risco de erosão. A questão 31 explora a percepção dos profissionais em relação às diferentes condições em que os diferentes tipos de terraços são utilizados, com objetivo de conhecer os critérios determinantes para a escolha do tipo de terraço.

Em decorrência da observação frequente de falhas hidráulicas em sistemas de terraceamento nas condições de campo, a questão 32 foi elaborada com itens de escolha para a frequência de falhas (transbordamento) do terraceamento: muito frequentes, frequentes, ocasionais, raros ou inexistentes. A questão 33 tratou das informações necessárias para determinar a principal variável negligenciada na utilização de terraceamento no Brasil, o espaçamento entre terraços, que tem os valores aumentados em função de facilidade de mecanização. Na questão 34 o dimensionamento do sistema de terraceamento foi o tema tratado, de forma genérica buscou o conhecimento dos cálculos de engenharia hidrológica e hidráulica envolvidos em projetos de conservação do solo.

Tabela 5. Seção IV – Terraceamento Agrícola

TERRACEAMENTO	
28. O terraceamento é inserido em novos projetos de conservação do solo? ☐ SIM ☐ NÃO	
29. Com qual sistema de terraceamento trabalha? ☐ Nível ou infiltração ☐ Desnível ou drenagem ☐ Paralelo ou misto ☐ não trabalha com terraço	
30. Com qual tipo de terraço trabalha? ☐ base larga ☐ embutido ☐ embutido invertido ☐ passante ☐ rebaixado ☐ patamar ☐ outro:	
31. Em quais condições utiliza os tipos de terraços citados?	
32. Os problemas de falha no terraceamento (transbordamento) são: ☐ muito frequentes ☐ frequentes ☐ ocasionais ☐ raros ☐ inexistentes	
33. Quais informações utiliza para determinar espaçamento entre terraços?	
34. Como faz o dimensionamento do sistema de terraceamento?	
35. Existe um limite superior e inferior de declividade do terreno para usar terraço? ☐ NÃO ☐ SIM. Qual?	
36. Existe algum solo em que a prática do terraceamento não é utilizada? ☐ NÃO ☐ SIM. Qual?	
37. Como o terraceamento é integrado às outras estruturas (estradas, carreadores, canais de vinhaça, grotas)	
38. Nos casos de terraceamento em desnível, quais as declividades utilizadas nos canais dos terraços? ☐ Declive constante. Qual? ☐ Declive variável. Qual?	
39. Nos casos de terraceamento em nível, utiliza as pontas abertas? ☐ NÃO ☐ SIM. Em que posição do relevo as pontas são abertas?	
40. Quais equipamentos ou tecnologias utiliza para a locação dos terraços no campo?	
41. Como é o alinhamento do plantio? ☐ em nível ☐ em desnível ☐ linha reta ☐ tiro mais longo ☐ quadra ☐ outro: O alinhamento pode ficar morro abaixo? ☐ NÃO ☐ SIM. Em que situação?	
42. Faz previsão e/ou planejamento das manobras? ☐ NÃO ☐ SIM. Como?	
43. Na elaboração do projeto propõe alteração de carreadores/piquetes/pastos/talhões? ☐ NÃO ☐ SIM. Como?	
44. O traçado das estradas e carreadores ajuda na conservação do solo? ☐ NÃO ☐ SIM. Como?	
45. Tem informações sobre desvantagens do uso de terraceamento? ☐ NÃO ☐ SIM. Qual?	
46. Nas áreas agrícolas terraceadas, em alguma situação foi feita a retirada de terraços? ☐ NÃO ☐ SIM. Qual situação:	
47. Faz projetos sem terraceamento? ☐ SIM ☐ NÃO. Por quê?	

A questão 35 trouxe à discussão os limites de declividade para utilização de terraços e a questão 36 os solos que apresentam restrições para uso de terraços. A questão 37 procurou captar a percepção do terraceamento integrado com estradas, pois grande parte da água que ocupa a seção dos terraços é proveniente da enxurrada gerada nas estradas.

A questão 38 retoma o assunto da questão 29 sobre o sistema de terraceamento e no caso do terraceamento de drenagem indicado, quais as declividades utilizadas, constantes e quais os valores e variáveis no canal quais os valores indicados, baseados no conhecimento das recomendações de construção de terraços com gradiente (Bertoni et al., 2014). A questão 39 identificou a sobreposição de conceitos de infiltração e drenagem no mesmo sistema, indagando sobre a utilização de terraços de infiltração com pontas abertas, e ainda em que posição do relevo as

pontas seriam abertas. Na questão 40 o objetivo foi saber quais equipamentos ou tecnologias utilizadas para locação dos terraços no campo para conhecer aspectos relacionados com a gestão da precisão nos levantamentos topográficos e locação física das estruturas de conservação no campo.

Neste sentido a questão 41 indagou sobre como o alinhamento de plantio é feito no campo, com seis opções de respostas: em nível, em desnível, linha reta, tiro mais longo, quadra e outros. Depois questionou a viabilidade do sulco de plantio estar morro abaixo ou no sentido do declive do terreno, com opções de sim ou não, com mais uma questão adicional sobre qual situação em que isto poderia ocorrer quando a indicação fosse positiva.

O planejamento de manobras para as operações de mecanização em cana-de-açúcar é fundamental para redução de custos operacionais de plantio e colheita de cana-de-açúcar (Spekken et al., 2016). A questão 42 foi elaborada de forma que a primeira parte era opção sim ou não e perguntou se o profissional faz planejamento das manobras nos projetos conservacionistas com uma questão adicional de como é feito esse planejamento no caso da indicação positiva. Neste sentido a questão fechada 43 com itens sim ou não completou a investigação da ideia do planejamento antecipado dos projetos, com quais seriam as sugestões de mudanças das estradas, carreadores, cercas ou talhões em função dos novos conceitos de planejamento em projetos de conservação, identificando em que nível de detalhe os projetos são realizados.

O traçado das estradas interfere na conservação do solo, estradas locadas no sentido do declive ao longo do fluxo natural dificultam o controle da enxurrada, causando mais erosão do que estradas locadas com ângulos agudos em relação ao fluxo de enxurrada. Nesse sentido a questão 44 tratou de como o traçado das estradas e carreadores ajudam na conservação do solo.

Com objetivo de conhecer as experiências de desvantagens da utilização do sistema de terraceamento, a questão 45 teve opção de sim e não se o profissional conhece desvantagens do uso de terraceamento e uma questão adicional para o participante descrever quais desvantagens conhecidas.

A discussão dicotômica sobre a eliminação ou a manutenção dos terraços de infiltração nas áreas de produção foi tratada na questão 46 e nos casos de resposta positiva a segunda parte solicitou a descrição da situação em que isso ocorreu. Como forma de confirmação das informações da questão anterior, a questão 47 pergunta se o profissional faz projetos sem terraceamento, com opção de resposta sim ou não e na segunda parte pergunta o porquê.

Tabela 6. Seção V – Canais Escoadouros

CANAIS ESCOADOUROS	
48. Utiliza canais escoadouros?	
☐ NÃO <i>Ir para 57</i> ☐ SIM ☒ Vegetados ☒ Outros. Quais?	
49. Qual a função do canal escoadouro vegetado no projeto?	
50. Calcula altura de lâmina para canal escoadouro?	
☐ NÃO ☐ SIM. Qual o método?	
51. Calcula vazão de saída de água da bacia?	
☐ NÃO ☐ SIM. Qual o método?	
52. Calcula tempo de concentração da enxurrada da área de contribuição?	
☐ NÃO ☐ SIM. Qual o método?	
53. Qual as espécies de plantas utilizadas para o revestimento dos canais escoadouros vegetados?	
54. Como é feito o planejamento da construção dos canais escoadouros vegetados?	
55. Quais as máquinas utilizadas na construção dos canais escoadouros vegetados?	
56. Tem ou já teve experiências de falha do canal escoadouro?	
☐ NÃO ☐ SIM. Qual a causa?	

A seção V tratou dos canais escoadouros vegetados utilizados para conduzir a enxurrada com baixas velocidades nos leitos de escoamento revestidos com vegetação densa obtida com plantas da família Poaceae de hábitos estoloníferos (Tabela 6), funcionando como biofiltros reduzindo a quantidade de água, sedimentos e poluentes que atingem os leitos naturais de drenagem (Popov et al., 2006). A seção tratou de assunto de elevado nível técnico que exige conhecimento específico de hidrologia e hidráulica, pouco comum entre os técnicos de conservação do solo. A seção foi composta por questões técnicas específicas sobre canais escoadouros, iniciando na questão 44 com a pergunta se o profissional utiliza canal escoadouro ou não, com questão adicional no caso positivo se com vegetação ou outro tipo de revestimento.

A questão 45 tratou do conceito teórico sobre a função do canal escoadouro vegetado no projeto de conservação. Em seguida a questão 46 entra no assunto ainda mais específico, o cálculo da altura de lâmina do canal em função da vazão da bacia, e no caso de resposta positiva uma questão adicional sobre o método utilizado para o cálculo. Indo além no aprofundamento a questão 47 indaga sobre o cálculo da vazão máxima de saída da bacia hidrográfica em que o canal e o projeto estão inseridos, e na questão 48 o cálculo do tempo de concentração da seção de controle, e em caso positivo era solicitado a identificação do método utilizado.

A questão 49 procurou identificar o conhecimento prático de implantação de canais escoadouros através da pergunta sobre o tipo específico de gramínea utilizada para vegetação do leito, assunto bastante específico de conhecimento pouco comum. O planejamento antecipado da construção do canal escoadouro é uma premissa para o sucesso da prática e a questão 50 procurou obter informações sobre o conhecimento dos profissionais quanto a necessidade da antecipação das ações para implantação do sistema.

A questão 51 tratou das máquinas utilizadas para construção dos canais com objetivo de conhecer as experiências com os diversos tipos de máquinas, para entender o nível de tecnologia utilizada. O fechamento da seção foi com a questão 52 que indagou sobre as experiências dos participantes com falhas em canais escoadouros.

Tabela 7. Seção VI – Conservação de Estradas

57. Como é feito o controle da erosão das estradas?
58. Qual a frequência de operações de manutenção das estradas?
59. Qual a época das operações de manutenção das estradas? ☐ Antes da colheita ☐ Depois da colheita ☐ Após eventos chuvosos ☐ Outra:
60. Utiliza desaguadouros nas estradas? ☐ Não utiliza ☐ Bigode ☐ Caixa de retenção ☐ Canal escoadouro ☐ Outro:
61. Como é o espaçamento entre os desaguadouros das estradas: ☐ Espaçamento regular: ☐ Outro:
62. Na construção das estradas o leito é inclinado? ☐ NÃO ☐ SIM. Para onde é a inclinação?
63. Na construção das estradas utiliza tubos para passagem de água em baixo da estrada? ☐ NÃO ☐ SIM. Calcula o diâmetro dos tubos? Qual método?
64. Na construção das estradas utiliza passagem úmida (molhada)? ☐ NÃO ☐ SIM. Calcula a largura? Qual método?

A conservação de estradas foi assunto da seção VI (Tabela 7) devido à importância da contribuição da erosão proveniente das estradas no contexto agrícola. As estradas não pavimentadas são responsáveis por grande parte dos sedimentos gerados em escorrimentos superficiais nas áreas agrícolas e representam a maior fonte de poluição das águas e perdas de solo (Grace III, 2017), e ainda interferem nos processos hidrológicos de diversas formas, concentrando enxurrada gerada no leito e entregando a com velocidade alta à rede de drenagem natural.

A questão 53 questionou de forma abrangente como é feito o controle de erosão de estradas. Qual a frequência das operações de manutenção das estradas foi o tema da questão 54, com objetivo de avaliar a eficiência das práticas implantadas. A questão 55 com três possibilidades de respostas: antes da colheita, depois da colheita, após eventos chuvosos e outra, contribuindo para reforçar a percepção da eficiência do sistema de conservação, principalmente das estradas. A questão 56 solicitou respostas para os conceitos de: não entendimento do problema, utiliza estruturas de drenagem, utiliza estruturas de infiltração, utiliza drenagem com alto nível de conhecimento técnico ou outro. A avaliação do nível de conhecimento em conservação de estradas dos participantes foi possível com a questão 57 que indagou sobre a metodologia de cálculo de espaçamento entre desaguadouros. A questão 58 tratou da inclinação do leito da estrada, e nas questões 59 e 60 sobre as tubulações de passagem e as passagens úmidas respectivamente, encerrando a seção.

Na seção VI (Tabela 8) apenas com a questão 61, formulada com objetivo de conhecer as experiências de sucesso em projetos de conservação do solo.

Tabela 8. Seção VI – Conservação de Estradas

CONSIDERAÇÕES FINAIS
65. Cite uma experiência de sucesso em projetos de conservação do solo.

Foram respondidos integralmente setenta e oito questionários.

2.3 Resultados e Discussão

Seção I – Perfil do Participante

O número de questões abertas e fechadas do questionário, bem como as informações de atuação, escolaridade, envolvimento com conservação do solo e sobre o profissional que trabalha diretamente com conservação e suas respectivas análises estatísticas são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados das principais questões da Seção I

Tipos de Questões	Questões	%
Abertas	45	62
Fechadas	28	38
Atuação	Entrevistados	%
Setor de Produção Agropecuária	27	35
Setor Público	25	32
Comunidade Científica	23	29
Consultores	3	4
Escolaridade	Respostas	%
Nível Superior	38	49
Mestrado	15	19
Especialização	10	13
Doutorado	10	13
Nível Médio	5	6
Envolvimento em Conservação de Solos	Respostas	%
Tomador de Decisão	36	46
Auxiliar Técnico	14	18
Acadêmico	13	17
Análise de projetos	9	12
Sem Envolvimento	6	8
Trabalha diretamente no planejamento	Respostas	%
Sim	58	74
Recomenda Práticas	44	56
Ensina Projetos	33	42
Avalia Projetos	29	37
Elabora Projetos	27	35
Implanta Projetos	24	31

A distribuição geográfica dos participantes foi suficiente para representar as regiões agrícolas do estado de São Paulo, além de contribuir para obtenção de dados das variadas situações que representam as condições edafoclimáticas predominantes do Estado de São Paulo. Um equilíbrio entre o número de participantes de cada setor de atuação foi buscado na escolha dos participantes, sendo o setor de produção agropecuária representado por 27 profissionais (34,6%), o setor público de fiscalização e assistência técnica por 26 profissionais (32,1%), e a comunidade científica com 23 profissionais (29,5%), além de 3 consultores (3,8%), considerados do setor de produção nas análises estatísticas. A distribuição equilibrada dos profissionais contribuiu para validação das tendências encontradas nas respostas e no comportamento da frequência de questões em branco para cada setor.

O número de participantes com envolvimento direto na conservação dos solos foi expressivo com 92,3% do total, dos quais 46,2% envolvidos com tomadas de decisão, 17,9% como auxiliares técnicos, 16,7% acadêmicos, 11,5% analistas de projeto e sem envolvimento apenas 7,7%, reforçando a representatividade do questionário em relação a realidade de tempo e local do estado.

Os profissionais apresentaram alto nível de escolaridade, sendo 93,6% com terceiro grau completo, dos quais 48,7% em nível superior, 12,8% com especialização, 19,2% mestrado e 12,8% doutorado e os restantes 6,4% com ensino no nível médio completo. O alto nível de escolaridade não garantiu uma discussão voltada às questões centrais da conservação (Figura 4).

Figura 4. Nível de escolaridade por setor

As áreas de atuação dos participantes referem-se às atividades de extensão rural e assistência técnica, seguidos dos profissionais ligados à produção científica, área de fiscalização para o cumprimento da legislação de conservação do solo no estado de São Paulo, e profissionais ligados à gestão na produção agrícola. Os profissionais que declararam trabalhar diretamente com conservação recomendam práticas, elaboram, avaliam e implantam projetos de conservação e ainda ensinam como fazer projetos.

As culturas principais em que trabalham os profissionais são a cultura da cana-de-açúcar em primeiro lugar com 73,1% das respostas, seguida como segunda opção os grãos com 52,6% e pastagens com 35,9%. Hortifruticultura, café e silvicultura somaram 61,5% aparecendo como culturas secundárias dos profissionais que optaram como cultura principal a cana-de-açúcar, reafirmando a representatividade dos resultados para a cultura estudada. (Figura 5).

Figura 5. Principais culturas apresentadas nos resultados Questão 12

Seção II – Práticas de Conservação do Solo

A seção II, com as questões de 15 a 17, reuniu os conceitos ligados ao planejamento das práticas conservacionistas, incluindo o questionamento sobre diferenças conceituais entre o que é erosão e que é enxurrada. Na questão 15 o participante foi questionado sobre as práticas de controle de erosão que utilizava em seu trabalho, e na sequência sem que pudesse voltar para a questão anterior, questionado sobre as práticas de controle de enxurrada que utilizava.

Sabemos que a erosão é um processo que depende de condições edafoclimáticas específicas para resultar em perda de solo em um ponto do relevo e assoreamento em outro. Ocorre em processo complexo no qual as condições ideais para seu controle são reunidas com aplicação de uma série de práticas, com destaque para as que favorecem a cobertura do solo (Berton et al., 2014). O processo erosivo é desencadeado através da desagregação de partículas pelo efeito decorrente do impacto da gota de chuva, seguido de selamento ou saturação que diminuem a infiltração e promovem a formação de enxurrada, que se forma e segue o caminho do sentido de declive com velocidades crescentes em função da inclinação da rampa e proporcionais energias que ultrapassam a tensão crítica de cisalhamento dos solos (Oliveira et al., 2009). O processo todo tem sido tratado cientificamente em experimentos de parcelas com chuvas simuladas por cientistas da região Sul e Sudeste, com ênfase na modelagem e nas práticas de manejo. A enxurrada em talvegues, fenômeno com maior poder de causar danos ao solo, não é considerado nas modelagens devido à dificuldade de extrapolar os resultados das parcelas para as bacias hidrográficas (Boardman, 2006).

A recomendação científica para utilização de sistemas de infiltração é restrita às classes de solos com maior permeabilidade e relevos suaves, sendo não recomendada a utilização de infiltração em solos com limitações de permeabilidade e profundidade (Berton et al., 2014).

Os resultados da questão 15 foram divididas em quatro classes: práticas isoladas de infiltração, prática integradas de infiltração, práticas isoladas de drenagem e prática integradas de drenagem.

As classes foram criadas em função das respostas obtidas, o que permitiu análise dos dados agrupados em quatro classes, duas com predominância de conceitos exclusivos de controle de erosão através da infiltração, e duas nas quais as práticas de drenagem foram consideradas como alternativa em função de risco de falha de sistemas de infiltração em solos e relevos favoráveis ao escoamento superficial (Lombardi et al., 1994).

O critério de divisão entre as duas classes, infiltração e drenagem, foi a inclusão ou não de conceitos adicionais para integração de práticas. As respostas cujas práticas de infiltração, como terraceamento ou caixas de retenção eram sugeridas de forma isolada, sem associação de práticas complementares para controle de erosão, foram consideradas como práticas de infiltração isoladas. Quando o conceito de infiltração foi utilizado associado com práticas conservacionistas adicionais, as respostas foram consideradas na classe de práticas integradas de infiltração. Da mesma forma as duas classes de práticas de drenagem foram divididas utilizando o critério de isoladas e integradas.

Os resultados mostraram que 85,2% das repostas mencionaram exclusivamente práticas de controle de erosão através de estruturas de infiltração, integradas ou não com práticas complementares, sem destacar a cobertura do solo como a prática central de qualquer planejamento conservacionista. Apenas 14,8% indicaram práticas de drenagem como alternativa em casos de solos com elevado risco de erosão, mencionadas como integradas na grande maioria das respostas dessas classes com apenas uma resposta para práticas isoladas de drenagem. As respostas com práticas de drenagem isoladas ou não (14,8%) vieram praticamente do setor de produção, com 75% das respostas válidas (69,2%), descontadas as questões em branco (30,8%). O setor público contribuiu com 12,5% das questões válidas e o setor acadêmico também com 12,5%.

Os resultados permitiram demonstrar que o conhecimento adequado para controlar erosão não está presente nas respostas dos setores públicos e acadêmicos, e que as questões centrais não estão na pauta. Apesar de não compreender integralmente quais conceitos científicos estão envolvidos na questão 15, o setor de produção foi o grupo que chegou mais perto das recomendações necessárias para um bom planejamento de controle de erosão (Figura 6).

O setor de produção citou a palavra cobertura em 11 respostas das 28 respondidas (39%), o setor público em 9 de 17 respondidas (53%) e o setor acadêmico em apenas 2 de 17 respondidas (12%), confirmando as discrepâncias entre os setores.

Figura 6. Porcentagem de respostas em cada classe para cada setor. Resultados da questão 15 – Práticas de controle de erosão

Dos 30,8% das respostas em branco na questão 15, 4,2% foram do setor de produção, 37,5% do setor público e 58,3% do acadêmico, indicando mais conhecimento de práticas de controle de erosão no setor de produção quando comparado aos setores público e acadêmico, considerando o número de questões sem resposta. Além disso as respostas trouxeram recomendações de práticas de controle de erosão simplificadas e generalizadas, sem discussão de condições edafoclimáticas de tempo e local, com utilização inadequada de sistemas de infiltração em solos de alto risco, tendências presentes igualmente nos três setores, com poucas respostas adequadas que consideravam os parâmetros locais.

A questão 16 incentivou os participantes a responder sobre as diferenças entre as práticas de controle erosão e enxurrada, ou escoamento superficial e buscou o entendimento do nível de conhecimento utilizado a partir da avaliação das respostas em comparação com as da questão 15. As respostas mostraram que a separação dos conceitos de erosão e enxurrada não está bem compreendida para nenhum dos setores estudados. As tendências observadas na questão 16 foram semelhantes às da questão 15. A frequência de questões em branco foi praticamente o mesmo para as duas questões em relação aos setores e não houve separação evidente dos conceitos propostos (Figura 7).

Figura 7. Respostas da questão 16 – Práticas de controle de enxurrada

Os resultados mostraram que na classe de práticas isoladas de infiltração não houve diferença significativa no setor de produção com 9% das respostas, entretanto houve aumento significativo no setor público que citou 11% contra 2% na questão 15, e o setor acadêmico também apresentou aumento para 6%. Esse aumento reforça a ideia que as respostas desta classe se baseiam em soluções de controle de erosão ou escoamento superficial relacionadas exclusivamente com técnicas de infiltração. Na classe de práticas integradas ainda com exclusividade de infiltração, 31% foram no setor de produção, 13% no público e 9% no acadêmico. Na classe de práticas isoladas com a possibilidade de infiltração ou drenagem, 2% foram no setor de produção, 7% no público e não ocorreu no acadêmico. As respostas em branco foram igualmente 31%, como na questão 15 com as mesmas porcentagens entre os setores, confirmando as respostas citadas anteriormente.

Seção III – Planejamento da Conservação do Solo

A questão 17 teve múltipla escolha de práticas propostas em sequência aleatória utilizadas no planejamento da conservação do solo. Os resultados mostraram que há predominância de técnicas de infiltração, isoladas ou não, sendo a prática mais comum as curvas de nível com 53 (67,9%) respostas, seguida de manejo de cobertura com 52 (66,7%), plantio em nível com 52 (66,7%), época de preparo com 47 (60,3%), cultura de cobertura com 45 (57,7%), seguidas de rotação de culturas com 41 (52,6%), adubo verde com 41 (52,6%) e drenagem de estradas com 39 (50%).

As práticas de infiltração com estruturas mecânicas de retenção de enxurrada apareceram na maioria das repostas, e a preocupação com a construção de desaguadouros nas estradas apareceu em 32% das respostas, mostrando uma preocupação maior com curvas de nível e plantio em nível do que com as estradas, normalmente a maior fonte de enxurrada das áreas agrícolas devido à menor taxa de infiltração. Esse problema se agrava nas culturas de alta produção de massa por hectare como cana-de-açúcar e reflorestamento que possuem uma malha viária densa (Souza et al., 2014).

As práticas que exigem maior conhecimento técnico como utilização de gabiões, mantas geotêxteis ou plantio em desnível apareceram em menos de 15% das respostas ().

Figura 8. Respostas da questão 17 – Práticas utilizadas no planejamento da conservação do solo

A questão 18 tratou do assunto da necessidade de implantação de um novo projeto de conservação a cada ciclo de produção. O setor de produção representado principalmente por profissionais ligados à cana-de-açúcar, esclareceu que a renovação do sistema de conservação é realizada a cada ciclo de produção e que depende de fatores ligados à produtividade e a variedade de cana, indicando que na renovação a manutenção do sistema de terraceamento de infiltração é feita e deve ser refeita a cada ciclo, provavelmente devido à perda de eficiência por assoreamento ou perda do leito das estradas durante o período chuvoso pela ineficiência do controle de enxurrada nas estradas.

No contexto geral das respostas preenchidas, 51% indicaram que a reforma do sistema é feita a cada ciclo de produção, 22% citaram as falhas do sistema de conservação utilizado como motivo para realizar um novo projeto de conservação e 20% consideraram que a renovação do sistema deve ser feita com objetivos de ganhos com mecanização rebaixando os terraços embutidos e transformando-os em terraços de base larga passantes, cuja seção é reduzida o suficiente para permitir tráfego de máquinas por cima da crista do terraço, justificando o termo passante. Essa técnica tem sido utilizada sem a compensação da redução da seção com aumento do número de terraços, tornando-a uma prática empírica com graves falhas de funcionamento hidráulico por questões de subdimensionamento hidrológico e hidráulico (Mazza et al., 2017). Em 12% das respostas a implantação de um novo projeto de conservação está vinculada às inovações tecnológicas (Figura 9).

Figura 9. Questão 18 – Quando é necessário um novo projeto ou uma reforma na conservação do solo

Em sequência a questão 19 teve duas partes. Uma questão fechada com a lista de informações que o participante julgasse importantes para o planejamento das práticas conservacionistas e outra questão aberta que solicitava que entre as selecionadas na questão anterior as três mais importantes fossem evidenciados. As três mais citadas na primeira parte da questão foram declividade da área com 72%, textura do solo com 69% e cobertura do solo com 64%. Considerando que cobertura, textura e declividade são as três mais importantes para o planejamento da conservação do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2014), as respostas foram classificadas em: todas as práticas são importantes com 4% das respostas, apenas uma das três citadas com 36%, duas das três citadas com 53% e apenas 3% das respostas as três foram citadas. O resultado da segunda parte da questão não confirmou o resultado da primeira parte, indicando contradição ou compreensão simplificada das informações importantes para a conservação do solo (Figura 10).

A questão 20 tratou de quais recomendações de preparo de solo para reforma ou implantação da cultura são feitas. Foi classificada em ausência de preparo, preparo mínimo e preparo intenso. As respostas em branco foram 44% das respostas, das quais 18% no setor de produção, 41% no setor público e 41% no setor acadêmico, indicando que as questões de recomendações de práticas conservacionistas são elaboradas com mais facilidade pelos profissionais ligados ao setor de produção, devido à experiência prática que a atuação lhes proporciona e menos comuns no setor público e acadêmico, que estão mais distantes da execução das recomendações. Das questões respondidas 2% citaram sem preparo, 57% com recomendação de preparo reduzido e 41% com preparo intenso do solo, indicando a predominância de práticas que aumentam o risco de erosão em função da eliminação de cobertura na ocasião do preparo intenso, em discordância com as recomendações científicas.

Figura 10. Segunda parte da questão 19 - Três Informações mais importantes para conservação do solo

A época de preparo e plantio da cultura foi avaliada na questão 21, com classificação de preparo em época de baixo risco de ocorrência de chuvas intensas (inverno) com 6% das respostas, 20% em épocas de médio risco (início e final do verão) e o resultado de 75% com recomendação de preparo e plantio em épocas de chuvas intensas (pleno verão) (Figura 11). O resultado desta questão confirma o resultado da questão anterior com a maioria das recomendações de preparo intenso do solo com agravante de fazê-lo em épocas de alto risco de chuvas intensas, facilitando a compactação por encrostamento, reduzindo infiltração e aumentando o escoamento superficial. Esses dados confirmam as perdas de solos acima de níveis sustentáveis encontradas em trabalhos científicos (Mazza et al., 2017).

Figura 11. Operações e equipamentos utilizados no preparo e manejo do solo

A questão 22 procurou entender os manejos de cobertura adotados na conservação do solo. As respostas foram classificadas conforme as recomendações: sem cobertura de solo com 12%, cobertura com restos culturais

com 54%, plantio direto com 6% e rotação de culturas com 29%. Os resultados mostraram que a compreensão da recomendação de manejo de cobertura se funde com a recomendação de rotação de culturas que apareceu na metade e em um terço das respostas válidas respectivamente. Além disso não foi identificada a recomendação de culturas de cobertura como crotalárias, braquiárias e milheto com a finalidade de cobrir o solo para protegê-lo da erosão.

A questão 23 foi formulada para complementar a interpretação da questão 21, na qual os cuidados com a época de preparo e plantio não são determinantes nas recomendações que apresentam baixa eficiência em manter a cobertura do solo. O sistema conservacionista não integrado se confirmou nas recomendações de operações que promovem intensa mobilização do solo, que apareceram com 50% das respostas seguido de revolvimento mínimo, com 28% e sem revolvimento 22%. Em seguida, a questão 24 ofereceu itens de múltipla escolha de operações e equipamentos de manejo de solos mais utilizados. Os resultados explicaram em parte a tendência da questão 23, na qual a preocupação com o preparo mínimo era de apenas 28% e o preparo com revolvimento intenso do solo apareceu na metade das respostas, pois o preparo reduzido apresentou valores de 45%, seguido de grade niveladora com 35% e grade aradora com 31%, confirmando o manejo com revolvimento intenso do solo como predominante.

As máquinas e implementos utilizados na conservação do solo tem relação com as recomendações, sendo que o uso de terraceadores sugere que a recomendação de terraceamento é utilizada, da mesma forma o uso de grades sugere que em grande parte das situações o preparo intenso do solo é realizado. Na questão 25 as respostas abertas evidenciaram a utilização de terraceadores, grades e escavadeiras hidráulicas, implementos que sugerem sistemas de conservação fundamentados em terraceamento de infiltração, implementos que promovem baixo índice de cobertura de solo devido a preparo intenso, com altos riscos de erosão envolvidos (Figura 15).

Figura 15. Máquinas e implementos utilizados na conservação do solo

Seção IV – Terraceamento Agrícola

A Seção IV começa com a questão 28 que indagou sobre a inserção ou não de terraceamento no projeto de conservação do solo, e das respostas válidas que foram na qual 89,7% respondeu que sim. Na questão 29 a pergunta foi qual o tipo de sistema de terraceamento, e os resultados mostraram 67% com terraços de infiltração, 24% terraços de drenagem e 9% terraços paralelos, confirmando as tendências observadas (Tabela 10).

Os tipos de terraços mais utilizados são base larga, embutido e passante respectivamente. A utilização de terraços de base larga e passante está associada a sistemas que procuram reduzir a seção dos terraços para facilitar a mecanização da área em detrimento de dimensionamento hidrológico e hidráulico do sistema, funcionando de maneira satisfatória em áreas de solos com baixo risco de erosão. A utilização de terraços embutidos está associada a sistemas de infiltração recomendados para áreas consideradas de alto risco, com solos arenosos de declividades altas, justamente nas áreas em que o terraceamento de drenagem é recomendado pela pesquisa e o de infiltração não recomendado. A questão 31 indica em quais condições os terraços citados são utilizados. As questões em branco foram 40% do total, sendo 10% do setor de produção, 39% do setor público e 52% do setor acadêmico. Entre as respondidas, 15% afirmaram utilizar os terraços citados em qualquer situação ou declarou não utilizar terraços, 38% declararam utilizar terraços de acordo com o solo e relevo, 45% terraço embutidos em alto risco e terraços passantes em baixo risco e 2% com utilização de passantes em qualquer situação com objetivo de ganhos em mecanização (Tabela 10).

Tabela 10. Frequência de respostas das questões 29, 30, 32 e 41

O terraceamento inserido nos projetos	Respostas	%
Terraceamento de infiltração	44	67
Terraceamento de drenagem	16	24
Terraceamento paralelo ou misto	6	9
Qual o tipo de terraço	Respostas	%
Base larga	38	49
Embutido	34	44
Passante	21	27
Invertido	16	21
Rebaixado	6	8
Outro	3	4
Patamar	1	1
Problemas com falhas hidráulicas nos terraços	Respostas	%
Raros	18	37
Ocasional	16	33
Frequentes	10	20
Inexistente	5	10
Muito frequentes	0	0
Alinhamento de plantio	Respostas	%
Em nível	46	59
Linha reta	14	18
Alinhamento mais longo	14	18
Alinhamento morro abaixo	12	15
Em desnível	7	9
Escoamento superficial difuso	6	8
Por quadra	2	3

O terraceamento de infiltração é utilizado em grande parte das áreas de produção de cana do estado com espaçamento entre terraços fixo em todos os tipos solos, relevo, uso e manejo. Existem variações entre 2,5 e 5m. A questão 33, com os resultados das informações utilizadas para cálculo de espaçamento entre terraços indicou que a maioria, com 71% das respostas, não utiliza a fórmula recomendada para cálculos de espaçamento entre terraços (Bertoni; Lombardi Neto, 2014; De Maria et al., 2016).

Em seguida a questão 34 confirma a afirmação acima, na qual 70% das respostas válidas indicam que não é feito ou é feito de maneira incompleta o dimensionamento do sistema de terraceamento. Os restantes 30% declaram que fazem dimensionamento segundo a recomendação da pesquisa, Vale lembrar a dificuldade de encontrar projetos de terraceamento com espaçamento e seção dimensionados em áreas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

O limite de declividade recomendado para não utilização de terraços é acima de 12%, para qualquer sistema de drenagem ou infiltração decorrente da impossibilidade de construção de seções suficientes para armazenamento de enxurrada em declividades elevadas, situações comuns em áreas agrícolas (Bertoni; Lombardi Neto, 2014). Entretanto na questão 35 as respostas foram bastante variadas em relação a declividade limite para a utilização de terraços ().

Figura 12. Questão 35 – Limites de declividade para utilização de terraços

Em quais solos o terraceamento não é recomendado foi indagado na questão 36 e as respostas foram 50% em solos permeáveis e profundos, 43% afirmam que em solos rasos e poucos permeáveis também não se recomenda e que em 7% das respostas o sistema de escoamento difuso sem terraceamento é recomendado. Vale ressaltar que nesse caso a frequência de questões em branco foi significativa, com 82% das respostas, sendo 39% do setor produtivo, 27% do setor público e 34% do setor acadêmico, situação de equilíbrio entre os grupos, fato que se repete nas questões que tratam de conceitos e práticas que exigem maior experiência em conservação, indicando que as questões em branco tem relação com o aprofundamento da discussão, pois quanto mais específico o assunto mais questões em branco apareceram.

Na questão 37 a pergunta foi como o terraceamento está relacionado com a enxurrada de estradas, com 47% de questões em branco (Figura 13). Nas questões válidas, 80% delas foram respostas que demonstraram compreensão de que a enxurrada da estrada deve ser direcionada para os terraços através de diversos dispositivos (desaguadouros) e 20% não entendem que o terraceamento é responsável pela infiltração da água da estrada. O terraceamento recebe a enxurrada das estradas na maioria das áreas de produção, e os espaçamentos entre terraços aumentados pela experiência empírica para ganhos em mecanização, provavelmente tem alguma relação com sua capacidade de armazenar a água das estradas. Quando os espaçamentos verticais utilizados entre terraços de infiltração são de 5 metros as seções construídas são suficientes para armazenar a enxurrada das estradas, porém a enxurrada entre os terraços ultrapassa a capacidade de armazenamento, o que pode explicar as frequentes falhas hidráulicas observadas e confirmadas pela questão 32 na qual 89% das respostas admitiram conhecer falhas hidráulicas com transbordamento dos sistemas de terraceamento.

Os terraços de infiltração podem não apresentar falhas hidráulicas, e quando isso ocorre estão associados a situações de baixo risco de erosão, normalmente em relevos planos e solos resistentes. Nestes casos o espaçamento aumentado pode ser eficiente para infiltrar a enxurrada produzida pelas estradas uma vez que a gerada entre terraços é pouco significativa. Talvez isso explique, em parte, as razões do sistema de terraceamento com espaçamentos aumentados ainda ser utilizado em grande escala nas áreas de produção de cana no estado. Entretanto, quando o

terraceamento de infiltração é implantado em solos de permeabilidade lenta e declividades elevadas a enxurrada produzida gera escoamento superficial entre terraços inviabilizando a armazenagem conjunta da água das estradas e áreas de produção. Nessas condições são recomendados os sistemas de drenagem que possuem risco de falhas hidráulicas muito menor.

Figura 13. Questões em branco na questão 37 – Como o terraceamento é integrado com a estrada

A questão 38, que trata de qual declividade de terraços de drenagem deve ser utilizada, mostrou resultados variados. Ficaram em branco 53,8% das respostas, das quais não responderam 47,6% no setor acadêmico, 35,7% no setor público e 16,7% no setor de produção (Figura 14), reforçando a ideia que os sistemas de drenagem são pouco conhecidos e utilizados nas áreas de produção. Das respostas válidas 47,2% afirmaram não trabalhar com este tipo de terraço, apesar de alguns estarem em regiões de solos pouco permeáveis com declividades elevadas. Houve grande variação entre as declividades utilizadas nas demais respostas, com a maioria em valores seguros, não maiores que 1%, com apenas uma resposta de 1 a 2% (Figura 15).

Figura 14. Frequência de questões em branco (38) – Nos casos de terraceamento em desnível quais as declividades utilizadas nos canais dos terraços

Figura 15. Questão 38 – Declividades utilizadas em terraços de drenagem

A questão 39 tratou do sistema de terraceamento de infiltração com as pontas abertas para drenagem da água armazenada. Se trata de uma mistura de dois sistemas com lógicas de funcionamento diferentes, o de infiltração não imprime velocidade no escoamento, apenas represamento pois os terraços estão em nível. Mesmo em nível, se as pontas forem abertas, a velocidade de escoamento não é suficiente para drenar a enxurrada a tempo durante a chuva, resultando em transbordamento antes da drenagem no final do terraço.

As respostas em branco nessa questão atingiram o maior número entre todas as questões, 94% (), devido ao fato de que o sistema é uma mistura de dois conceitos diferentes e por isso pouco utilizado ou compreendido.

O nível óptico ainda é o equipamento mais utilizado na conservação do solo para locação de terraços com representação em 76% das respostas válidas. Em 15% das respostas o sistema utilizado é o piloto automático com sinal de rádio capaz de transmitir coordenadas precisas em tempo real, através da correção diferencial para o equipamento de campo, que faz a locação de curvas de nível projetadas em sistemas computacionais a partir de modelos de elevação precisos. Os possíveis erros nos levantamentos dos modelos exigem que a curva locada neste sistema seja levantada novamente para conferência, honrando desnecessariamente o sistema sem ganhos em precisão ou rendimento de campo em relação ao nível óptico tradicional.

Figura 16. Frequência de questões em branco (Questão 39) – Em que posição do terreno os terraços de infiltração têm as pontas abertas

A questão 41 identificou a inovação no setor de produção coletando informações de projetos de alinhamentos de plantio com objetivo de aumento de rendimento operacional que passaram a ser comuns nos últimos anos. A renovação do sistema de conservação do solo é necessária devido às mudanças tecnológicas e intensificação de tráfego de máquinas agrícolas decorrentes da evolução dos sistemas de produção. As perdas da qualidade física do solo transformam sua estrutura e afetam a permeabilidade comprometendo o funcionamento dos sistemas de infiltração (Mazza et al., 2017).

O plantio em nível apareceu curiosamente como a prática mais utilizada com 59% das válidas (Figura 17). O alinhamento em nível na verdade é uma falácia em conservação do solo, pois na prática não é possível plantar em nível em áreas comerciais, exceto se o alinhamento de plantio for feito em intervalos de curtas distâncias horizontais, menores que 10 metros dependendo do relevo. As linhas copiadas da linha em nível (linha básica) vão saindo do nível ao se afastarem da linha original, e o alinhamento passa a ter condução de enxurrada descontrolada, podendo ficar em desnível elevado demais ou em convergência de fluxo. Nos dois casos os riscos de rompimento dos sulcos com escorrimientos superficiais entre as linhas de plantio no sentido do declive aumentam

significativamente a erosão da área. Novos projetos de alinhamentos de plantio são comuns na atualidade, porém a preocupação com a conservação do solo fica em segundo plano, pois o objetivo principal é aumentar o rendimento operacional das máquinas agrícolas. As linhas de plantio são desenhadas em retas ou arcs, para atingir o maior comprimento possível e promover altos rendimentos (Mazza et al., 2017).

Figura 17. Questão 41 – Tipos de alinhamentos de plantio utilizados em projetos de conservação

O planejamento do alinhamento de plantio em cana-de-açúcar foi impulsionado pelas inovações tecnológicas a partir de sistemas georreferenciados de automação de máquinas agrícolas. Estes sistemas viabilizaram a implantação de alta precisão geográfica de projetos criados em sistemas digitais a partir de modelos de terreno produzido por levantamentos topográficos precisos (Spekken et al., 2016). As linhas de plantio funcionam como canais de condução de enxurrada, pois a rugosidade do sulco na superfície do solo conduz a água pela linha de cana. A água pode ser conduzida no sentido convergente de fluxo, acumular no fundo dos talwegues das depressões do terreno e causar rompimento dos sulcos, como consequência o escoamento superficial no sentido do declive; também pode ser conduzida em sulcos com declividades constantes ou crescentes, nunca decrescentes, para deságue em drenagens naturais ou canais escoadouros. Pode ainda ser represada em sulcos em nível que transbordam e causam rompimento dos sulcos e escoamento superficial como na convergência de fluxo.

Os sulcos de plantio com declividades maiores que 5% conduzem enxurrada com velocidade alta e causam erosão entre sulcos ou nos próprios sulcos (Chow et al., 1999).

O projeto utilizando conceitos conservacionistas é possível devido ao avanço de tecnologias ligadas ao uso de sistemas de informações geográficas dedicados, além de pilotos automáticos embarcados nas máquinas agrícolas que permitem a implantação precisa de projetos construídos nos sistemas computacionais, que ainda favorecem o controle de erosão através de alinhamentos com curvas de raios maiores que de 30m, diminuindo consideravelmente o pisoteio das linhas de plantio devido ao arraste dos equipamentos de tração e transporte.

Os sistemas em linha reta ou arco exigem, para funcionar, que o terraceamento de infiltração tenha a seção reduzida, normalmente com recomendação empírica de um terço do terraço embutido original, que não era passante justamente pela seção elevada, e que para se tornar passante deve ser rebaixado ao ponto de permitir o tráfego por cima deles, que cruza em ângulo e não paralelo, para atender a finalidade do rendimento operacional. Os terraços com espaçamentos aumentados ficam ainda mais suscetíveis com a seção comprometida, expondo o sistema a um risco ainda maior de ocorrência de falha hidráulica e escorrimento concentrado e consequentemente erosão.

Os sistemas de terraços passantes com seções reduzidas apresentam ganho ambiental na conservação dos solos, pois o menor represamento de água promove menor dano por transbordamento, apesar de transbordarem com mais frequência. O sistema tem vantagem em relação aos terraços embutidos com seções maiores quando ocorrem as falhas hidráulicas, pois quanto maior o volume de água represado no terraço maior será o sulco de erosão gerado pelo transbordamento. Um terraço de 1000m de comprimento e capacidade de 2.500L por metro de terraço gera um transbordamento pontual de 2.500.000L, o que resulta em formação de voçorocas em curtos espaços de tempo. Talvez seja por isso que esses sistemas têm sido utilizados com sucesso apenas em áreas com risco de erosão reduzido, em solos em relevos planos com textura média a argilosa, apresentando insucessos frequentes em condições pedológicas mais restritivas de textura e declividade. Apesar disso o sistema de alinhamento de plantio em linha reta somado ao do tiro mais longo apareceram em segundo lugar como mais frequente em 36% das respostas válidas.

Sistemas de alinhamentos com declividade reduzida para conduzir enxurrada com velocidades baixas e não erosivas é uma ideia que apareceu em 32% das respostas, sendo 17% em escoamento superficial difuso e 15% em plantio em desnível com terraços passantes ou não. O escoamento superficial difuso se baseia nos conceitos de drenagem para condução de enxurrada, utilizando a rugosidade hidráulica das linhas em desnível gerada pelo preparo de solo ou plantio para conduzi-la para canais escoadouros vegetados. A soma da área molhada e do raio hidráulico da rugosidade dos sulcos de plantio de cana-de-açúcar que são plantados entre os terraços passantes, no espaçamento entre terraços de 5 metros verticais, resulta em seção maior do que o canal dos terraços construídos nesse espaçamento, sendo viável a substituição do sistema de terraceamento pelo alinhamento de plantio. A proporcionalidade do volume de represamento com poder de danos ao solo fica ainda mais evidente nesse sistema de escoamento sem utilização de terraços, pois como o sistema não permite convergência de fluxo, nem declividades acentuadas nas linhas de plantio, a drenagem em escoamento controlado sem nenhum represamento é conduzida de maneira segura. No momento da ocorrência de chuvas intensas o sistema será submetido a enxurrada que o evento gera e não com energia potencial acumulada de outras chuvas recentes e represadas, que não infiltraram a tempo da próxima chuva.

O escoamento superficial difuso, como qualquer outro sistema, não pode ser utilizado de forma isolada. Os Resultados benéficos podem ser alcançados quando o sistema difuso faz parte de projetos de PCE e PCX que complementam as práticas conservacionistas contribuindo para o sucesso no controle de erosão. A inovação está no desenho detalhado e controlado das linhas de plantio que a partir de sistemas de informações geográficas e modelos de elevada precisão as linhas condutoras de enxurrada são desenhadas para cada face do relevo, criando um projeto de escoamento de enxurrada da bacia hidrográfica, planejando o escoamento da enxurrada para canais escoadouros vegetados e redes naturais de drenagem com segurança e diminuição da poluição das águas e áreas de preservação devido à redução de sedimentos transportados pelo processo erosivo (Mazza et al., 2017).

Em um contexto de projetos de alinhamentos de plantio a questão 42 foi formulada para entender como o planejamento da operação mecanizada é feito. São executados estudos das manobras das máquinas? Há preocupação com rendimento operacional ou conservação do solo? Os resultados mostraram que 67% das respostas continham elementos de projeto de plantio no escritório com objetivos de rendimento operacional sem preocupação evidente com conservação do solo e 33% faziam o planejamento no campo sem preocupação em nenhuma das duas variáveis.

A questão 43 foi formulada para conhecer como e quando os projetos de conservação propõem alterações na posição de carregadores, estradas ou formas dos talhões considerando aspectos conservacionistas. Os resultados mostraram que 61% fazem alterações de carregadores e linhas de plantio com objetivo de ganhos em mecanização e 39% fazem com objetivo de controlar enxurrada. A posição das estradas no relevo tem papel decisivo no controle de enxurrada em sistemas com terraços passantes ou sem terraços, pois quando estão no sentido do fluxo de enxurrada natural do terreno (morro abaixo) a enxurrada gerada pela estrada se acumula no leito ou nas laterais e como não existe mais os terraços para receber a enxurrada da estrada o acúmulo ao longo do fluxo concentra energia suficiente para causar erosão dentro das áreas agrícolas ou de preservação. Entretanto quando as estradas são desenhadas em ângulo em relação ao fluxo de enxurrada natural, desaguadouros fazem a drenagem e segmentam a rampa sem promover concentração de enxurrada.

O terraceamento como prática isolada pode ter efeitos contrários dos esperados pela adoção, causando mais danos pela falha hidráulica do que a ausência do sistema. A questão 45 discorreu sobre as desvantagens do sistema de terraceamento em cinco classes de respostas: em 4% das respostas os terraços aparecem como desvantagem pois não há necessidade da existência deles por motivos edafoclimáticos de baixo risco de erosão; em 4% as desvantagens apontadas são devido às perdas de áreas produtivas, que chegam a 10% em áreas com espaçamentos de 5m verticais, seja pela erosão causada na construção do canal do terraços seja pelo encharcamento duradouro que mata as plantas; 39% citaram as falhas hidráulicas como desvantagens; 43% pelos aumentos de custos de operações e mecanização envolvidos com as falhas hidráulicas e com a presença de terraços (Figura 18).

Figura 18. Frequência de respostas da questão 45 – Desvantagens do uso de terraceamento

A retirada dos terraços em projetos de conservação deve ser feita com implantação de sistemas completos de PCE e PCX e não apenas com o desenho de alinhamentos mais produtivos para a mecanização. A questão 46 indagou sobre a retirada do sistema de terraceamento em projetos de conservação e 18% afirmaram que não retiram terraços em qualquer situação, 73% retiram ou rebaixam terraços sem projeto de conservação com objetivos de ganhos operacionais e 9% fazem retirada de terraços com PCE e PCX completos com escoamento superficial difuso. O risco de colapso na transição entre os sistemas é tanto maior quanto mais restritiva é a condição da área. O que provavelmente explica o fato contraditório nas respostas da questão 47 em relação à questão 46, com 75% que declararam não fazer projetos sem terraceamento, seja o fato de o terraço passante ser ainda considerado um sistema de terraceamento, mesmo que a seção e o espaçamento tenham sido reduzidos/aumentados em relação às recomendações originais para ganhos de operação. Os que declararam que fazem projetos sem terraceamento foram 36%. Vale lembrar que na questão 46 as respostas em branco foram 72% e na 47 caíram para 59% (Figura 19).

Figura 19. Frequência de questões em branco – Questão 46 com 72% e questão 47 com 59% de respostas em branco

Seção IV – Canais Escoadouros Vegetados

A seção IV trata de um assunto pouco conhecido entre os técnicos, os canais escoadouros vegetados, estruturas raras na paisagem das áreas de produção. Em substituição, no Brasil, soluções simplificadas em cenários de grotas naturais são utilizadas para escoamento de enxurrada com enormes prejuízos ao ambiente hidrológico.

A primeira questão da seção, a 48, foi de múltipla escolha e indagou sobre a utilização de canal escoadouro vegetado em conservação do solo. Afirmaram não usar canais escoadouros 75% das respostas, 25% afirmaram que utilizam canais vegetados com grama, com uma resposta apenas para a utilização de canal com revestimento de concreto. Em seguida a função do canal escoadouro foi indagada pela questão aberta de número 49, apresentando 75% de respostas em branco. As respostas válidas afirmaram em 74% que a função do canal é escoar a água da área, 11% para escoar a água da estrada e 16% com função de controlar a velocidade de escoamento, que é a função principal do canal escoadouro vegetado (Bertoni et al., 2014).

Quando houve aprofundamento do assunto na questão 50, sobre quais métodos de cálculos hidráulicos ou hidrológicos são realizados para determinar seção do canal escoadouro 90% das questões ficaram em branco e das 10% restantes 63% afirmaram fazer segundo as recomendações científicas e 37% não fazem cálculos. A questão 51 perguntou sobre o cálculo da vazão de entrada de projeto e o comportamento dos resultados foi semelhante à

questão anterior, com 88% de respostas em branco, 56% fazendo dimensionamento segundo as recomendações e 44% não fazendo cálculos. Da mesma forma a questão 52 pergunta sobre o tempo de concentração da bacia e os resultados se repetem novamente, com 90% em branco, 75% fazendo cálculos segundo recomendações e 25% não fazendo cálculos.

Quando indagados sobre as plantas utilizadas em canais vegetados na questão 53, 76% não responderam e dos que o fizeram 68% não conhecem a limitação de utilização de plantas com hábito de crescimento entouceirado e recomendam essas plantas para canais escoadouros vegetados e 32% utilizam as plantas de hábito estolonífero como filtros para a enxurrada, diminuindo velocidade de escoamento com maior eficiência que as de hábitos entouceirados.

Sobre o planejamento de construção e estabelecimento da vegetação nos canais escoadouros a questão 54 apresentou resultados semelhantes em respostas em branco com 82% e das restantes, 57%, fazem o planejamento antecipado conforme recomendações, 36% fazem planejamento empírico e 7% não o fazem.

Sobre a experiência de falhas em canais escoadouros os participantes não responderam em 85% das vezes na questão 55, sendo que 58% têm experiência de falhas e 42% não têm.

Seção V – Conservação de Estradas

A seção V reúne as questões relacionadas com erosão de estradas. Esse é um problema social que deve ser encarado através de uma visão integrada da paisagem, uso da terra e malha viária particular ou pública. A erosão gerada pelas estradas afeta diretamente a qualidade da água em grande parte das regiões agrícolas do estado e promove danos ambientais irreversíveis para a sociedade. O assoreamento de reservatórios de água, de açudes pequenos a barragens de hidroelétricas, é acelerado pela erosão de estradas. As áreas agrícolas mesmo que mal manejadas não produzem sedimentos em quantidades comparáveis com as estradas (Grace III, 2017). Dentro das propriedades rurais a erosão de estradas também é o grande problema de erosão, que pode ser resolvido com dimensionamentos hidrológicos de sistemas de drenagem, evitando sistemas de infiltração devido à incerteza de comportamento da água no canal das estruturas (terraços, caixas, etc.) causando danos maiores quando não suportam o volume de chuva na estação de verão.

Na questão 57, que pergunta como é feito o controle de erosão das estradas, as respostas em branco ficaram em torno de 56%, sendo que 12% das válidas não fazem nenhum controle, 56% fazem sem dimensionamento e 32% fazem conforme as recomendações científicas.

As respostas da questão 58 indicaram que a frequência de manutenção de estradas varia bastante entre as visões dos participantes, desde frequências contínuas com resposta de sempre ou sempre que necessário - 12,8% dos resultados, até citação de 5 em 5 anos (Figura 20). A época de manutenção foi identificada na questão 59 com opção de múltipla escolha: 44% fazem manutenção antes da colheita, o que indica que a erosão ocorrida na estrada durante a fase vegetativa da cultura impede o tráfego de máquinas e a manutenção deve ser feita para viabilizar a colheita, operação muito comum em usinas de cana do estado. 30% fazem a manutenção após eventos de precipitação, indicando nesse caso que o sistema de conservação de estradas não é eficiente. Fazem manutenção depois da colheita os profissionais ligados à área de culturas anuais em manejo intensivo que tem nessa época a oportunidade de sistematizar as áreas com problemas de erosão e os 15% finais declararam que fazem sempre que necessário.

Figura 20. Frequência de respostas questão 58 - Qual a frequência de operações de manutenção das estradas

Para aprofundar a discussão foi indagado quais os tipos de desaguadouros utilizados e métodos de cálculos de espaçamentos entre desaguadouros, nas questões 60 e 61 respectivamente. Os bigodes (desaguadouros) com intenção de infiltrar a água na área foi citado em 50%, seguidas das caixas de retenção com 46%, somando assim 96% de utilização de sistemas pouco eficientes e implantados de forma empírica. Interpretação confirmada pela questão 61, onde se responde que não é feito nenhum cálculo em 80% e 20% declararam fazer segundo as recomendações científicas.

A questão 62 procurou identificar como é o entendimento de drenagem da água do leito das estradas, se a inclinação da estrada interfere no controle de enxurrada. Em 56% das respostas a inclinação do leito deve servir ao tráfego apenas, sem conexão com a conservação do solo, 38% entendem que o leito inclinado para o lado que facilita a drenagem tem resultado no controle de erosão e 6% não inclinam para nenhum lado.

Seção VI – Considerações Finais

A questão 63 faz parte da seção VI que trata das considerações finais do questionário. A questão solicita que o leitor descreva sobre experiências de sucesso em conservação do solo. Como há dificuldade de classificação das respostas, a Figura 21 representa os resultados, agrupados no gráfico.

Figura 21. Frequência de respostas questão 63 – Considerações Finais - Experiência de sucesso em conservação do solo

Frequência de Questões em Branco

Os resultados mostraram elevada frequência de questões em branco ou não respondidas, provavelmente pela falta de conhecimento específico da questão ou pelo não entendimento da própria questão. A avaliação do comportamento da frequência das questões respondidas e não respondidas mostrou que há relação entre a frequência alta de questões em branco com os temas apresentados em cada seção.

Nas questões cujos assuntos exigiram alto nível de conhecimento dos participantes a frequência de questões em branco se igualou entre os setores, com frequência de um terço para cada grupo, demonstrando que em questões de conhecimentos específicos de conservação do solo o setor de atuação não influenciou a frequência de questões em branco. Provavelmente em decorrência disto a seção V apresentou a maior frequência de respostas em branco (82,5%).

Com tendência contrária a seção II que tratou do planejamento de práticas de conservação do solo, com questões de menor exigência de conhecimento foi a seção que apresentou a menor frequência de questões em branco (30,8%) (Figura 22), e a forma simplificada e generalizada como as questões foram apresentadas pode explicar em parte os resultados obtidos.

Figura 22. Frequência de questões em branco distribuídas pelo tema de cada seção

As seções IV e VI, sobre terraceamento e conservação de estradas mostraram resultados semelhantes na frequência de questões em branco, com 58,9% e 55,1% respectivamente, provavelmente pela integração que existe entre os dois assuntos. Os profissionais que trabalham com técnicas de terraceamento normalmente trabalham com a conservação de estrada de forma integrada e o conhecimento para responder questões sobre terraceamento é utilizado para responder as questões de conservação de estradas. Além disso, os assuntos tratados nas seções são igualmente negligenciados nas interpretações e extrapolações das recomendações utilizadas no Brasil. O terraceamento como prática simplificada exclusiva para infiltração e a drenagem inadequada das estradas agrícolas podem ser as causas mais importantes da erosão em áreas agrícolas.

Foram feitas as análises dos dados por seção dividindo os setores de atuação e uma nova tendência foi observada na frequência de questões em branco. Desconsiderando a seção I, que tratava do perfil dos participantes, na qual nenhum participante deixou de responder, a frequência de questões em branco encontradas no setor acadêmico foi em média maior em todas as seções, exceto na seção V, na qual os três setores tiveram frequência de questões em branco distribuídas de forma homogênea, em torno de um terço para cada setor (Figura 23).

A frequência de questões em branco no setor acadêmico reflete em parte as constatações de Barreto et al. (2009) nas quais demonstram que, a pesquisa em conservação do solo no Brasil é recente e concentrada em poucas instituições da região Sul e Sudeste, focada em dois temas: Equação universal de perda de solo e comparação de manejos agrícolas quanto à perda de solo (planejamento da conservação). Os dados confirmam o comportamento das respostas do setor acadêmico e de certa forma do setor público, que é formado na mesma fonte de conhecimento e apresenta as mesmas tendências, porém em escalas diferentes, com frequência menores de questões em branco do que o setor acadêmico e maiores que o setor de produção. O setor de produção apresentou a menor frequência de respostas em branco em todas as seções, porém a elevada frequência não garantiu que as respostas estivessem em conformidade com as recomendações de práticas de conservação do solo preconizadas pela ciência do solo, com elevada frequência de respostas com recomendações inadequadas principalmente em relação às escolhas dos sistemas de conservação adequados para cada situação, com generalização do uso de sistemas de infiltração com espaçamentos aumentados e seções de armazenamento reduzidas.

Figura 23. Questões em branco (%) por seção (assunto) e por setor (atuação dos participantes)

Na seção IV (Terraceamento Agrícola) a tendência do setor acadêmico se confirmou, entretanto nas questões 35, 36 e 39 houve equilíbrio de um terço de questões em branco para cada setor, o que pode indicar que as questões trataram de assuntos menos conhecidos pelos participantes. De fato, a questão 35 tratou de limites superiores ou inferiores de declividades para utilização de terraços, assunto bastante técnico que exige conhecimentos avançados em conservação, esperados para o setor acadêmico e público, o que não se confirmou. A questão 36 se refere aos solos nos quais o terraceamento não é recomendado e a questão 39 tratou de um sistema misto com terraços em nível com as pontas abertas para drenagem da enxurrada represada, dois assuntos igualmente incomuns e desconhecidos pelos participantes, questão que apresentou a maior frequência de questões em branco na pesquisa realizada (93,6%).

Na seção V (Canais Escadouros) a tendência de igualar a frequência de questões não respondidas em um terço devido ao desconhecimento equilibrado entre os setores se confirmou. Na seção VI (Conservação de Estradas) o setor acadêmico apresentou a maior frequência de questões em branco (Tabela 11).

Tabela 11. Frequência de questões em branco (%) por seção e por setor de atuação

Frequência de questões em branco (%)												
Questão	15	16	18	19	20	21	22	23	25	31	33	34
Setor Acadêmico	57	56	48	52	41	52	50	54	50	52	52	50
Setor de Produção	4	8	7	9	18	7	12	11	9	10	12	13
Setor Público	39	36	44	39	41	41	38	36	41	39	36	37

Questão	35	36	37	38	39	40	42	43	44	45	46	47
Setor Acadêmico	34	34	51	48	29	50	44	48	49	38	39	43
Setor de Produção	36	39	11	17	37	13	10	10	9	28	29	24
Setor Público	29	27	38	36	34	37	46	43	43	34	32	33

Questão	48	49	50	51	52	53	54	56	57	58	61	62	63
Setor Acadêmico	33	34	34	32	31	34	34	33	41	52	41	45	38
Setor de Produção	34	33	32	35	36	34	31	33	27	10	26	23	29
Setor Público	33	34	33	33	33	32	34	33	32	39	33	32	33

As questões em branco foram organizadas pela porcentagem na ordem crescente (Figura 24).

Número	Seção	Questão	Frequência sem respostas (%)
11	I	Atividades Desenvolvidas	0
13	I	Envolvimento com Conservação de Solos	3
15	II	Práticas Utilizadas no Controle de Erosão	29
19	III	Três Informações mais importantes para conservação de solos	29
16	II	Práticas de Controle de Escorrimento Superficial	32
22	III	Qual manejo de cobertura adotado na conservação do solo	33
18	III	Quando é necessário um novo projeto	35
21	III	Época de concentração de preparo de solo e plantio	35
23	III	Operações de revolvimento do solo na condução da cultura	36
31	IV	Condições de uso dos diferentes tipos de terraços	40
58	VI	Qual a frequência de operações de manutenção das estradas	40
33	IV	Informações utilizadas para cálculo de espaçamento entre terraços	42
20	III	Preparo de solo na implantação da cultura	44
25	III	Máquinas e implementos para conservação dos solos	44
44	IV	O traçado das estradas ajuda na conservação de solos	45
37	IV	Como o terraceamento é integrado às estradas	47
34	IV	Dimensionamento de sistema de terraceamento	49
40	IV	Equipamentos utilizados para locação de terraços	49
43	IV	Proposta de alteração de carregadores nos projetos de plantio	51
38	IV	Declividades utilizadas em terraços de drenagem	54
63	VI	Experiência de sucesso em conservação de solos	54
57	VI	Como é feito o controle de erosão das estradas	56
62	VI	Na construção da estrada o leito é inclinado?	56
47	IV	Faz projeto sem terraceamento	59
42	IV	Planejamento das manobras das máquinas agrícolas	62
45	IV	Desvantagens do uso de terraceamento	64
61	VI	Como é o espaçamento entre os desaguadouros	69
46	IV	Foi feita a retirada dos terraços	72
35	IV	Limites de declividade para utilização de terraços	74
48	V	Utiliza canal escoadouro	74
49	V	Qual a função do canal escoadouro vegetado	76
53	V	Espécies utilizadas para vegetação dos canais escoadouros	76
36	IV	Solos em que o terraceamento não é utilizado	82
54	V	Como foi feito o planejamento da construção do canal escoadouro	82
56	V	Tem experiência de falha de canal escoadouro	85
51	V	Calcula a vazão de entrada e saída de água na bacia	88
49	V	Calcula a altura de lâmina para canal escoadouro vegetado	90
52	V	Calcula o tempo de concentração da enxurrada na bacia	90
39	IV	Em que posição do terreno os terraços de infiltração tem as pontas abertas	94

Figura 24. Questões em branco (%) organizadas por seção

O setor de produção apresentou a menor frequência de questões em branco em todas as seções com exceção da seção IV, cujo assunto de alto nível técnico equilibrou os resultados provavelmente pela falta de conhecimento deste assunto nos três setores, uma vez que as questões muito claras e diretas não deixaram dúvida na interpretação. Entretanto, apesar de participar de maneira mais expressiva nas respostas, o setor de produção demonstrou conhecimento de práticas convencionais, na maioria das respostas, inadequadas e discrepantes das recomendações científicas, confirmando a necessidade de divulgação dos conhecimentos científicos. Apenas a elevada frequência de questões respondidas não é suficiente para promover ações de mudanças conceituais necessárias para responder as questões centrais e adequar os sistemas conservacionistas no estado.

Seção VII – Não Trabalha Diretamente com Conservação do solo

A seção VII foi planejada para coletar dados dos participantes que não trabalham diretamente com conservação do solo, entretanto como o questionário não foi assistido, algumas respostas foram preenchidas por aqueles que declararam trabalhar diretamente com práticas conservacionistas. Como elemento importante na análise, notamos que a repetição das questões, nestes casos, reforçara as ideias colocadas nas questões semelhantes nas seções anteriores, sem haver contradições.

A questão 76 indagou como o terraceamento se insere na conservação de solo. Os resultados foram de 53,8% de respostas em branco e, das repostas válidas, 33,3% indicaram que o terraceamento tem função de reduzir a velocidade de escoamento superficial, 22,2% entendem que o terraceamento é estrutura essencial para a conservação do solo, 22,2% que o terraceamento deve ser utilizado, porém com outras práticas associadas, 11,1% que o terraceamento previne a erosão, 5,6% que previne o escoamento superficial e 2,8% como a estrutura mais comum na conservação (Figura 25). As respostas da questão demonstram conhecimento pouco aprofundado em conservação de solo.

Figura 25. Questão 76 – Como o terraceamento se insere na conservação de solo

Na questão 77, as recomendações para utilização de terraceamento foram alicerçadas em conhecimento empírico e incompleto em 81,8% das respostas e 18,2% foram fundamentados em resultados de pesquisa científicas.

Percebe-se que a drenagem da enxurrada das estradas é feita de maneira inadequada em 22,9% das respostas e que é feita de maneira adequada em 60,0% das respostas, 11,4% deve ser feito em cacimbas ou caixas de retenção e 5,7% entendem que este é um assunto polêmico. Essa questão evidencia as dificuldades de controle de erosão provenientes das estradas por falta de conhecimentos técnicos suficientes.

A questão 80 que tratou de problemas associados ao terraceamento, indicando que 74,3% das respostas válidas associam o terraceamento a fracasso como sistema devido a erosão pelo transbordamento causado pela falta de dimensionamento, 11,4% tem falhas devido a locação, construção e manutenção inadequada de terraços, 8,6% tem falhas quando utilizado de maneira isolada e 2,9% falhou por ser utilizado em solos de alto risco de erosão. Essas informações apresentam pouca aderência com as necessidades de conhecimento para diminuir os problemas associados à utilização inadequada de sistemas de terraceamento.

Referências

- BAGARELLO, V.; FERRO, V. Scale effects on plot runoff and soil erosion in a Mediterranean environment. **Vadose Zone Journal**, v. 16, p. 2-14, 2017.
- BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2443-2460, 2008.
- BARRETTO, A. G. O. P.; LINO, J. S.; SPAROVEK, G. Bibliometria da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo: Instituições, temas, espaço e cronologia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1845-1854, 2009.
- BERTOLINI, D.; GALETI, P.A.; DRUGOWICH, M.I. Tipos e Formas de Terraços. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. **Anais do Simpósio sobre Terraceamento Agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, 1989, p. 266.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ícone, 9ª ed., 2014. 355p.
- BEZERRA, S. A. e CANTALICE, J. R. B. 2006. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura de solo, sob Cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 30, pp. 565-576, 2006.
- BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. **Catena**, v. 68, p. 73-86, 2006.
- CASTRO, L. G. **Dinâmica da água em Terraços de Infiltração**. 2001. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

CASTRO, N. M. D. R.; AUZET A. V.; CHEVALLIER, P.; LEPRUN, J. C., Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. **Hydrological process**, v. 13, p. 1621-1628, 1999.

CAVIGLIONE, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C.; LLANILLO, R. F.; SOUTO, A. R., Espaçamento entre terraços em plantio direto. **Boletim técnico nº 71**, IAPAR, Londrina, 59 p, 2010.

FAO. Manual on Integrated Soil Management and Conservation Practices. **FAO Bulletin Soil and Water**. Ibadan, Nigeria, 1997.

GRACE III, J. M. Predicting Forest Road Surface Erosion and Storm Runoff From High-Elevation Sites. **ASABE**, v. 60, n. 3, p. 705-720, 2017.

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D.F.; MATOS, A.T. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando o sistema de informações geográficas. Estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 299-306, 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponível em <https://ww2.ibge.gov.br/>, acesso em 13 de julho de 2018.

MAGALHÃES, G.M.F. Análise da eficiência de terraços de retenção em sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1109-111, 2013.

MASLOW, A.H. **Psychology of Science: A Reconnaissance**. Michigan, 1966. 121p.

MIRANDA, A. C. R.; SILVA, D.P.; MELLO, E.L.; F.F., PURSKI. Assessment of Efficiency and Adequacy of Retention Terraces. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 577-586, 2012.

NEARING, M.A. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. **Catena**, v. 32, p. 15-22, 1998.

NEARING, M.A. Variability in Soil Erosion data from replicated plots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1829-1835, 1999.

OLIVEIRA, J. F.; GRIEBELER, N.P.; CORRECHEL, V.; SILVA, V.C. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p.955-960, 2009.

OLIVEIRA, J. R. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A.; SILVA, D. P. Comparative analysis of the performance of mixed terraces and level and graded terraces. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, p. 351-357, 2012.

POPOV, V.H.; CORNISH, P.S.H. Vegetated biofilters: The relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural runoff. **Agriculture, Ecosystem and Environmental**, v. 114, p. 351-359, 2006.

SIDLE, R.C. Hydrogeomorphic processes and scaling issues in the continuum from soil pedons to catchments. **Earth-Science Reviews**, p. 75-96, 2017.

SPAROVEK, G.; MAULE, R.F. Técnicas de conservação do solo e da água. In: BELARDO, C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**. 1 ed.-Jaboticabal, SBEA, p. 129-147, 2015.

SOUZA, G. S.; SOUZA, M. M.; SILVA, R. B.; BARBOSA, R. S.; ARAÚJO, F. S. Effects off traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p.135-146, 2014.

WISCHMEIER, W.H.; SIMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. **U.S. Departament of Agriculture: Agriculture Handbook**, v. 537, 1978.

3 AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE TERRAÇOS DE INFILTRAÇÃO ATRAVÉS DE MONITORAMENTO DE CAMPO COMPARADO AOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO RADAR METEOROLÓGICO

Resumo

As questões técnicas de conservação do solo em cana-de-açúcar no Brasil têm sido bastante discutidas nos últimos anos. Os técnicos do setor de agroenergia, acadêmico e público estão empenhados em desenvolver inovações que possam resolver os problemas de erosão, surgidos às vistas da comunidade técnica e acadêmica recentemente. A expansão de cana-de-açúcar no estado de São Paulo foi acompanhada das mudanças tecnológicas que ocorreram no setor. Os manejos dos solos foram alterados e interferiram de maneira negativa no controle de erosão, principalmente nas áreas com terraços de infiltração. Nos últimos anos, houve grande número de casos de surgimento de voçorocas, principalmente em solos arenosos ou de textura média, condição predominante nas regiões centro oeste e nordeste do estado, o que representa a maior parte da área de cana-de-açúcar cultivada no estado. As falhas hidráulicas dos terraços de infiltração são responsáveis pela formação destas voçorocas e causam prejuízos que incentivam o desenvolvimento de técnicas que promovam o aumento da eficiência destas práticas. Este assunto é fundamental para a evolução da conservação do solo no Brasil. Um experimento de campo foi implantado com objetivo de medir a variação da lâmina de água represada em canais de terraços de infiltração através de metodologia de monitoramento de terraços de infiltração com régua de medição. Foram determinadas as relações entre chuvas sequenciais ocorridas no período de 04/12/2015 a 04/04/2016 com as alturas de lâmina de água armazenadas nos canais de terraços monitorados em doze locais distribuídos em municípios da região de Piracicaba. As áreas de estudo foram escolhidas para representar as variações das condições pedológicas nas quais a cultura da cana-de-açúcar é conduzida no estado. Os dados de precipitação do radar meteorológico, corrigidos para 24 horas, foram utilizadas com a contribuição do IPMet-UNESP. Para preencher o período estudado foram necessárias 20.336 imagens que foram analisadas por uma ferramenta de programação escrita na linguagem Dart, linguagem de script voltada à web desenvolvida pela Google. As informações pedológicas foram obtidas pelo mapa do levantamento pedológico do estado de São Paulo e confirmadas no local com tradagens até 1 metro de profundidade para avaliação de textura e cor das camadas. Os resultados do terraço 01, instalado em Latossolo Vermelho Amarelo Típico de textura média, mostraram ocupação do canal do terraço durante todo o período de avaliação e uma taxa de infiltração média de $0,79 \text{ mm h}^{-1}$, com máxima de $1,83 \text{ mm h}^{-1}$ e mínima de $0,17 \text{ mm h}^{-1}$. O terraço 01 apresentou duas falhas hidráulicas com chuvas acumuladas de 6 dias acima de 90 mm. O terraço 02 instalado em Neossolo Quartzarênico Órtico, a taxa de infiltração foi de $0,87 \text{ mm h}^{-1}$ em média, com valor máximo de $1,73 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,26 \text{ mm h}^{-1}$ e não apresentou falhas, entretanto outros terraços na mesma área apresentaram falhas com chuva acumulada de 5 dias que ultrapassaram os 90 mm. O terraço 03, em Latossolo Vermelho Típico de textura argilosa, apresentou taxa de infiltração média de $1,32 \text{ mm h}^{-1}$, máxima de $2,66 \text{ mm h}^{-1}$, e mínima de $0,21 \text{ mm h}^{-1}$ e apresentou uma falha. Não foi possível determinar a taxa de infiltração de água no canal do terraço 04 em Nitossolo Típico, devido a inexistência de represamento de água durante todo o período. O terraço 05 instalado em Cambissolo Háptico textura argilosa imperfeitamente drenado apresentou três falhas e a maior taxa de ocupação da seção pelo maior tempo. Os terraços 06 e 07 em Latossolos de textura argilosa não foram ocupados com água proveniente de enxurrada por períodos que permitissem a leitura das régua de medição, provavelmente pelas altas taxas de infiltração que não puderam ser determinadas. As régua 08, 09 e 10, instaladas em Argissolo Vermelho Amarelo Típico de textura arenosa/média, foram monitorados no mesmo terraço, porém apresentaram resultados distintos apesar da proximidade. A taxa de infiltração da régua 08 foi em média de $0,65 \text{ mm h}^{-1}$, máximo de $1,35 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,21 \text{ mm h}^{-1}$. A régua 09 apresentou média de $0,80 \text{ mm h}^{-1}$, máximo de $1,67 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,11 \text{ mm h}^{-1}$, e apresentou uma falha hidráulica. O terraço 11, instalado em Argissolo Vermelho Amarelo Típico de textura média/argilosa apresentou taxa média de infiltração de $0,72 \text{ mm h}^{-1}$, máximo de $1,82 \text{ mm h}^{-1}$ e mínimo de $0,06 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto que o terraço 12, implantado no mesmo solo da régua 11, apresentou taxa média de $0,85 \text{ mm h}^{-1}$, $2,14 \text{ mm h}^{-1}$ de valor máximo e mínimo de $0,12 \text{ mm h}^{-1}$. Os resultados evidenciaram que as taxas de infiltração de água no canal dos terraços na maioria dos casos são insuficientes para armazenar a quantidade de enxurrada produzida na área entre terraços e nas estradas próximas aos terraços.

Palavras-chave: Falhas hidráulicas de terraços de infiltração; Escoamento controlado; Taxa de infiltração

Abstract

The technical issues of soil conservation in sugarcane in Brazil have been much discussed in recent years. Agroenergy, academic and public sector technicians are committed to developing innovations that can solve erosion problems that have come to the forefront of the technical and academic community recently. The expansion of sugarcane in the state of São Paulo was accompanied by the technological changes that occurred in the sector. Soil management was altered and interfered negatively in erosion control, especially in areas with infiltration terraces. In recent years, there have been a large number of cases of gully emergence, mainly in sandy or medium-textured soils, a predominant condition in the central and western regions of the state, representing the greater part of the sugarcane area cultivated in state. The hydraulic failures of the infiltration terraces are responsible for the formation of these gullies and cause damages that encourage the development of techniques that promote the increase of the efficiency of these practices. This subject is fundamental for the evolution of soil conservation in Brazil. A field experiment was carried out with the objective of measuring the variation of the retained water depth in channels of infiltration terraces through the methodology of monitoring infiltration terraces with measuring slits. The relationships between sequential rains that occurred between 04/12/2015 and 04/04/2016 were determined with the heights of water stored in the channels of terraces monitored in twelve sites distributed in municipalities of Piracicaba region. The study areas were chosen to represent the variations of the pedological conditions in which the sugar cane crop is conducted in the state. Meteorological radar precipitation data, corrected for 24 hours, were used with the contribution of IPMet-UNESP. To complete the study period, 20,336 images were analyzed and analyzed by a programming tool written in the Dart language, a web-based script language developed by Google. The pedological information was obtained by the map of the pedological survey of the state of São Paulo and confirmed in the place with trades up to 1 meter deep for evaluation of texture and color of the layers. The results of the terrace 01, installed in Typical Yellow Red Oxisol of medium texture, showed occupation of the terrace channel throughout the evaluation period and a mean infiltration rate of 0.79 mm h⁻¹, with a maximum of 1.83 mm h⁻¹ and minimum of 0.17 mm h⁻¹. The terrace 01 had two hydraulic failures with accumulated rains of 6 days above 90 mm. The terrace 02 in Entisol Quartzipsamments, had an average infiltration rate of 0.87 mm h⁻¹, with a maximum value of 1.73 mm h⁻¹ and a minimum of 0.26 mm h⁻¹, and showed no failures, although other terraces in the same had failures with cumulative rain of 5 days that exceeded 90 mm. In the typical Oxisol with clay texture, the terrace 03 had a mean infiltration rate of 1.32 mm h⁻¹, maximum of 2.66 mm h⁻¹, and a minimum of 0.21 mm h⁻¹, and presented one failure. It was not possible to determine the infiltration rate of water in the channel of the terrace 04 in a typical Ultisol, due to the lack of impoundment of water during the whole period. The terrace 05 installed in Inceptisol imperfectly drained clayey texture had three failures and the highest occupancy rate of the section for the longest time. Terraces 06 and 07 in Oxisols of clayey texture were not occupied with water from the runoff for periods that allowed the reading of the measuring rules, probably due to the high rates of infiltration that could not be determined. Rulers 08, 09 and 10, installed in typical Ultisol of sandy / medium texture, were monitored on the same terrace and presented distinct results despite the proximity. The infiltration rate of slide 08 was on average 0.65 mm h⁻¹, maximum 1.35 mm h⁻¹ and minimum 0.21 mm h⁻¹. Ruler 09 presented a mean of 0.80 mm h⁻¹, a maximum of 1.67 mm h⁻¹ and a minimum of 0.11 mm h⁻¹, and presented a hydraulic failure. Terrain 11, installed in Ultisol of medium / clayey texture presented average infiltration rate of 0.72 mm h⁻¹, maximum of 1.82 mm h⁻¹ and minimum of 0.06 mm h⁻¹, while that the terrace 12, implanted in the same soil of rule 11, presented an average rate of 0.85 mm h⁻¹, 2.14 mm h⁻¹ of maximum value and a minimum of 0.12 mm h⁻¹. The results showed that the infiltration rates of water in the channel of the terraces are in most cases insufficient to store the amount of runoff produced in the area between terraces and on the roads near the terraces.

Keywords: Infiltration terraces; Level terraces; Runoff control

3.1 Introdução

O terraceamento de infiltração encontra problemas técnicos na região Nordeste do Brasil, devido às condições dos solos que não permitem a construção de terraços em nível, a recomendação desse sistema deve ser evitada. A maioria dos projetos exigem sistemas de drenagem, com terraços em gradiente que destinam a enxurrada para canais escoadouros resultando em custos elevados e incertezas de funcionamento. As características das chuvas na região são de extrema intensidade e ocorrência imprevisível, capazes de colocar em risco o funcionamento do sistema pelo sub dimensionamento das estruturas. No Nordeste verifica-se uma enorme limitação do uso de sistemas de terraceamento em larga escala, não somente devido às limitações físicas, mas também pelas condições sócio-econômicas e institucionais (Margolis, 1989).

Na região do Cerrado a prática de terraceamento é recomendada com ressalvas, devido a uma série de problemas envolvidos com a técnica: i) aplicação do terraceamento como prática isolada; ii) construção de terraços com seção insuficiente por economia ou ausência de dimensionamento; iii) falta de dimensionamento hidrológico com desconhecimento de chuvas de projeto; iv) conhecimento deficiente dos tipos de solos; v) baixa aceitação por parte dos agricultores para implantação de sistemas de drenagem com canais escoadouros em argissolos; vi) espaçamentos inadequados saltando terraços para aumentar rendimento operacional; vii) águas externas não consideradas nos sistemas; viii) falta de planejamento de estradas e carreadores; ix) terraços de infiltração com as pontas abertas sem sistema de drenagem adequado; x) falta de manutenção de terraços cujas seções são assoreadas e inutilizadas para armazenamento; xi) sistemas implantados por profissionais de topografia sem conhecimento em conservação do solo; xii) preparo intenso do solo em épocas de chuvas intensas (Borges et al., 1989).

Para a região Sudeste o terraceamento é recomendado apenas para as áreas de Cerrado, com solos de alta permeabilidade cujas condições físicas permitem a aplicação dessa prática, para as demais áreas da região Sudeste recomenda-se a adoção de práticas vegetativas em detrimento das mecânicas devido aos riscos de falhas no sistema. Além disso medidas de controle de erosão apresentam baixa eficiência quando aplicadas de maneira isolada (Fernandes, 1989). Na região Sul do Brasil o terraceamento foi muito pouco utilizado devido ao sucesso da implantação do sistema plantio direto que reduziu a erosão a níveis aceitáveis, com valores próximos a $0.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Schmidt, 1989).

Quanto a construção os terraços são do tipo Nichols ou Magnum. Os terraços do tipo Nichols são construídos com arados reversíveis com abertura do canal do terraço através da movimentação da terra sempre para baixo, cortando a terra apenas do lado de cima do terraço e aterrando na parte de baixo. O terraço Magnum, que deve, por definição, ser de drenagem, é construído com movimentação de terra dos dois lados, criando um canal maior do lado de cima e um canal menor do lado de baixo do terraço. Quanto a dimensão, o terraço pode ser de base estreita, base média e base larga, o que depende da largura da faixa de movimentação de terra no canal terraço. É considerado de base estreita quando a faixa de trabalho é menor que 3 metros, em situação na qual a declividade elevada da área oferece limitação de construção de base além dessa distância. Este tipo de terraço é também conhecido como cordão em contorno, normalmente utilizado em pequenas propriedades com limitações de uso de máquinas para construção com sérias limitações de seção de armazenamento, sendo recomendados espaçamentos reduzidos entre terraços. Os terraços de base média são construídos com as larguras entre três e seis metros e devem ser cultivados na maior parte da sua extensão, não recomendados para áreas com declividades acima de 12%. Os terraços de base larga têm a largura maior ou igual a seis metros e menor igual a doze metros, pois não se recomenda

construção de terraços com faixas de infiltração maiores que doze metros devido aos riscos de transbordamento de enormes quantidades de água, o que pode causar erosão de grande porte, muitas vezes irreversível. Quanto à forma os terraços podem ser embutidos, embutidos invertidos, passantes ou em patamar (Bertolini et al., 1989).

Embora o estado de São Paulo tenha hoje uma área com sistema de terraceamento de infiltração bastante significativa, estes sistemas são recomendados para solos de boa permeabilidade ou para regiões de baixa precipitação. O sistema de infiltração inadequado resulta em erosão acelerada do solo, nas faixas entre terraços, pois as outras práticas associadas mais importantes como manejo de cobertura com preparo mínimo do solo são normalmente negligenciadas. Áreas implantadas com o sistema mal dimensionado apresentam mais problemas de erosão do que áreas sem o sistema, devido ao transbordamento dos terraços e concentração de enxurrada em curto espaço de tempo (Lombardi Neto et al., 1989).

De modo geral, os profissionais que atuam na assistência técnica não realizam o dimensionamento de terraços. Provavelmente devido à falta de conhecimento de dimensionamento hidrológico e hidráulico, houve uma simplificação generalizada da recomendação entre os técnicos, que considera o mesmo espaçamento vertical determinado por experiências empíricas, para todas as condições de solos e relevo. O sistema de terraceamento é implantado sem critérios técnicos ou científicos, sem a participação dos engenheiros agrônomos ou responsáveis técnicos pelas áreas. Com relação à recomendação ou utilização de terraços em gradiente existe muito pouco conhecimento entre os técnicos de maneira geral. Nas áreas da engenharia civil, as falhas frequentes dos sistemas de terraceamento não seriam toleráveis, como são na engenharia agrônoma, provavelmente devido ao risco e custos envolvidos. Talvez, sejam negligenciadas as responsabilidades referentes às falhas, além disso, os custos considerados se restringem aos custos do produtor, sem a contabilização dos custos sociais e ambientais da erosão e assoreamento de mananciais. Pode-se admitir que existe um aspecto cultural envolvido no problema, pelo qual é se questiona a ineficiência da técnica em detrimento da ineficiência do técnico e atores envolvidos. As questões abordadas sugerem uma discussão no ensino e atuação profissional da classe agrônoma, pois a ineficiência da prática se deve na maioria das vezes à falta de critérios no planejamento dos sistemas conservacionistas (Oliveira, 2009).

A conservação de solo no Estado de São Paulo é regulamentada pela Lei de Uso do Solo n.º 8.421, de 23 de novembro de 1993, que altera a redação de dispositivos da Lei n.º 6.171, de 4 de julho de 1988, e que em seu inciso II, artigo 4.º, Item II, determina que “Todo aquele que explorar o solo agrícola fica obrigado a controlar a erosão do solo, em todas as suas formas”. Essa política pública de caráter essencialmente educativo, tem como objetivo conservar o solo com a exigência de não causar erosão, estando os infratores sujeitos às penalidades. Trata-se de sistemas conservacionistas que devem respeitar os limites dos solos em função das suas restrições, refletir na sustentabilidade da produção, e ainda possibilitar que a produção tenha lucratividade compatível com os riscos assumidos. A base técnica para a aplicação da Lei é o documento “Manual Técnico de Manejo e Conservação do Solo e Água – vol. 38, 39, 40, 41 e 42, de 1994” (disponível em www.cati.sp.gov.br/new/acervo/recursos_naturais/manualAguaSolo.pdf), organizado pela CATI e pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que oferece parâmetros técnicos conhecidos e validados para aplicação, obedecida a sustentação científica para tal (Drugowich, 2014). O terraceamento de infiltração, apesar de ser uma prática muito utilizada, ainda apresenta muitas dificuldades no dimensionamento hidráulico. A eficiência da prática depende do correto dimensionamento do espaçamento entre terraços e da sua seção transversal (Griebeler et al., 2005).

Existe uma dificuldade adicional no caso de terraço de infiltração, pois não há conhecimento suficientemente consolidado sobre a dinâmica de infiltração da enxurrada interceptada no canal do terraço, a ponto

de permitir um dimensionamento seguro. Há variação na velocidade de infiltração nos canais de terraços e diferenças entre o solo agrícola e o solo no canal do terraço. As razões que explicam em parte essas diferenças são: i) o canal é um corte no horizonte superficial e o camalhão é um aterro; ii) a compactação é maior no canal do terraço; iii) há menor desenvolvimento das plantas nos canais dos terraços; iv) os sedimentos vindos com a enxurrada obstruem os poros e provocam selamento superficial na área de infiltração do canal (De Maria et al., 2016).

Resultados obtidos em estudo comparativo entre duas bacias hidrográficas vizinhas, evidenciam a necessidade de implantação de sistemas conservacionistas mais completos, com associação de práticas de elevado conhecimento técnico para o sucesso do controle da erosão. As duas áreas cultivadas em sistema plantio direto com manejos semelhantes, diferiram no sistema de controle mecânico de enxurrada. Uma com terraceamento de infiltração, em conformidade com as metodologias de cálculos recomendadas apenas para o espaçamento entre terraços, pois o solo e relevo indicam necessidade de sistemas de drenagem com canais escoadouros. A outra área sem sistema de terraceamento de infiltração ou drenagem, porém com o mesmo manejo. Os resultados mostraram que na área com terraços de infiltração, apesar da ocorrência de perdas de solo em valores elevados, a enxurrada foi reduzida em 78% quando comparada à área sem terraceamento. Entretanto, a erosão não foi completamente controlada, os terraços de infiltração não foram suficientes, nem tão pouco o plantio direto isolado, comprovando que nenhuma prática isolada pode controlar a erosão do solo de forma satisfatória. Quando a produção de sedimentos foi considerada, a área terraceada reduziu a quantidade de enxurrada, no entanto não houve diferença significativa (valor de $p = 0,06$) entre as bacias hidrográficas estudadas. Portanto, é necessário trabalho adicional nas diferentes escalas, para fornecer evidências mais amplas do funcionamento dos terraços de infiltração, na escala de áreas com maior captação de enxurrada (Londero et al., 2018).

A erosão laminar e em sulcos prevista entre terraços pode ser consideravelmente maior quando se considera a inclinação dos terraços. Uma análise considerando as áreas de inclinação na encosta dos terraços, demonstrou valores maiores de perda de solo, sugerindo que a redução na inclinação dos declives por mudança no desenho do terraço poderia reduzir consideravelmente a erosão em áreas com terraços. Na maioria dos solos a erosão laminar e em sulcos pequenos é relativamente insensível ao espaçamento do terraço, particularmente quando se considera a inclinação real das áreas de encostas e declives. Isso sugere que para determinação do espaçamento entre terraços com suavização dos camalhões, as considerações hidráulicas de inclinação da encosta são mais importantes do que o controle da erosão laminar e em sulcos entre terraços (Neibling et al., 1992).

O sistema de terraceamento de infiltração tem como objetivo interceptar a enxurrada formada na área entre terraços, represá-la no canal do terraço, que deve ter seção maior que o volume de enxurrada formado, e permitir a infiltração da água em tempo menor que o intervalo entre eventos de precipitação sequenciais. O funcionamento do sistema fica comprometido quando a taxa de infiltração da água no canal, acumulada após o último evento de precipitação, não é suficiente para esvaziar a seção para armazenar a enxurrada do próximo. Além disso, a seção construída em campo para o evento máximo, deve ser fundamentada em dimensionamento hidráulico e hidrológico, com os quais o espaçamento entre terraços deve ser calculado, utilizando parâmetros locais de tipo de solo, declive e chuva esperada, com período de retorno superior a dez anos (Cruciani, 1989).

Mesmo no projeto mais cuidadoso, elaborado com metodologia recomendada, dimensionado corretamente e ainda implantado de forma correta, o sucesso dependerá da variável imprevisível, a incerteza da ocupação do canal do terraço com água acumulada dos eventos anteriores. No momento do próximo evento, seja o máximo esperado

ou até mesmo eventos de menor intensidade, a ocupação do canal do terraço reduz o armazenamento calculado para a chuva e causa falhas hidráulicas com consequências negativas ao solo e ao ambiente.

As questões técnicas de conservação do solo, em cana-de-açúcar no Brasil, têm sido bastante discutidas nos últimos anos. Os técnicos do setor de agroenergia, acadêmico e público estão empenhados em desenvolver inovações, que possam resolver os problemas de erosão, surgidos à vista da sociedade recentemente. A expansão de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, acompanhada das mudanças tecnológicas que ocorreram no setor alteraram os manejos dos solos que interferiram de maneira negativa no controle de erosão, principalmente nas áreas com terraços de infiltração. O pisoteio das linhas de cana, devido ao arraste das máquinas de grande porte, e o tráfego intenso do plantio e colheita mecanizada, aumentou de forma expressiva a produção de enxurrada nas áreas entre terraços. Além disso, existe uma demanda por maiores rendimentos operacionais, que somada à experiência prática com problemas decorrentes do mal funcionamento do sistema de terraço de infiltração na atualidade, os técnicos desenvolveram inovações com objetivo de solucionar os problemas, que nem sempre, foram acompanhadas de conhecimento científico. Talvez, por isso, foram conhecidos muitos casos de insucesso das inovações e a criatividade e experiência prática não são suficientes para resolver as questões (Mazza et al., 2017).

Esse cenário contribuiu para o agravamento da erosão visível, a de grande porte, pois a erosão laminar, entre os terraços ou na ausência deles, causada principalmente pela falta de cobertura, não é capaz de concentrar enxurrada com energia suficiente para formar voçorocas, os sulcos relacionados com a erosão laminar são de pequeno porte, que muitas vezes são negligenciados (Bezerra et al., 2006). Nos últimos anos, houve grande número de casos de surgimento de voçorocas, em curtos espaços de tempo, principalmente em solos arenosos ou de textura média da região centro oeste e nordeste do estado, que representam a maior parte da área de cana-de-açúcar no estado. As falhas hidráulicas dos terraços de infiltração, que na grande maioria das vezes, são responsáveis pela formação destas voçorocas.

Os terraços são normalmente implantados com espaçamentos aumentados, e seções de armazenamento reduzidas, para aumento de rendimento operacional, e por isso a dicotomia da discussão do fica o terraço ou desmancha o terraço, que foi introduzida na discussão técnica recentemente, não se sustenta com apenas inovações corajosas e experiências empíricas. Como o assunto exige conhecimento técnico avançado, o caminho da ciência talvez seja o mais seguro para determinar diretrizes de elaboração de projetos conservacionistas, que reúnam várias práticas integradas, que realmente resolvam as questões fundamentais. As experiências empíricas testadas de forma descontroladas, não podem revisar os conceitos e alterar sistemas complexos como os de conservação do solo.

O objetivo principal do terraceamento é interceptar a enxurrada que ocorre, na área entre terraços, quando o volume de chuva supera a capacidade de infiltração do solo. A capacidade de infiltração da água no solo é a variável que mais influência no funcionamento hidrológico dos terraços, quanto maior a infiltração menor a formação de enxurrada. Adicionalmente, o funcionamento hidráulico do sistema depende do dimensionamento correto da seção de armazenamento de enxurrada, além do cálculo do espaçamento entre terraços, que devem segmentar a rampa ao interceptar a enxurrada (Bertoni; Lombardi Neto, 2014).

Quando o sistema conservacionista é projetado para destinar a enxurrada para terraços de infiltração, acumular e reter o escoamento no canal do terraço, as condições de solos e clima devem ser favoráveis para o bom funcionamento do sistema. As recomendações são para implantação deste sistema em solos permeáveis apenas, com declividades menores que 8% de inclinação, e em regiões de baixa pluviosidade. Em regiões de alta pluviosidade, solos ligeiramente ou moderadamente permeáveis, e declividades entre 8 e 20 %, o sistema de terraços recomendado

é o de drenagem. Estes sistemas são projetados para interceptar o escoamento, desviar o excesso, que não infiltrou, para os cursos d'água protegidos ou canais escoadouros vegetados. Portanto, ao planejar um sistema de terraço, é importante considerar a textura, a estrutura, a profundidade efetiva e a permeabilidade do solo superficial e subsuperficial (FAO, 1997).

A função dos terraços está relacionada com o destino da enxurrada. No sistema em nível, o destino considerado é infiltração da enxurrada interceptada e repousada no canal no terraço, por essa razão o sistema é recomendado apenas para solos de boa permeabilidade que ocorrem em relevos planos. Por outro lado, o sistema de drenagem é indicado para solos com permeabilidade moderada ou lenta no perfil, que impossibilite a infiltração de água proveniente das chuvas sequenciais. Esse tipo de terraceamento deve estar sempre associado a canais escoadouros vegetados ou revestidos, utilizados para diminuir a velocidade de escoamento superficial, utilizando o atrito da lâmina de água com a vegetação do leito, que pode ser natural ou através de estruturas construídas para essa finalidade (Bertolini et al., 1989).

Sistemas de infiltração implantados em áreas não recomendadas podem ter consequências negativas para as áreas onde ocorrem. Em virtude dos prejuízos causados pelas falhas dos sistemas de terraceamento, o desenvolvimento de técnicas que permitam o aumento da eficiência destas práticas é fundamental para a evolução da conservação do solo. No Brasil, o terraceamento agrícola é uma das práticas mais utilizadas pelos agricultores para controlar a erosão hídrica, entretanto na maioria das vezes é utilizada de forma isolada sem adoção de práticas complementares. Além disso, estudos indicam que os terraços de infiltração estão sendo implantados em descordo com as recomendações de dimensionamento hidrológico e hidráulico propostos pela ciência (Miranda et al., 2012).

A baixa eficiência do sistema de terraceamento com seções reduzidas contribuem para armazenamento insuficiente em relação ao volume necessário. Diferenças entre o volume de armazenamento necessário e o efetivo determinam a variabilidade na eficiência de terraços, que apesar de ser uma prática antiga, apresenta ainda, dificuldades relativas ao seu uso. A eficiência dos sistemas depende do adequado posicionamento espacial dos terraços, do dimensionamento correto da sua seção transversal e da sua uniformidade no campo (Magalhães, 2013).

As falhas hidráulicas ocorrem muito frequentemente no clima tropical decorrentes da alta erosividade das chuvas e da baixa capacidade de armazenamento das estruturas por subdimensionamento. A ocorrência de eventos sequenciais de precipitação inviabiliza o dimensionamento do sistema, pois ocorre ocupação da seção do terraço com água de vários eventos, situação comum nos sistemas de infiltração. A consequência disso é o rompimento dos terraços, que acumulam enxurrada com energia potencial enorme, dissipada em curto espaço de tempo, capaz de causar erosões e danos ambientais maiores do que áreas sem terraceamento ou prática mecânica de represamento. O sistema de terraceamento de drenagem não depende da variável ocupação do canal do terraço no momento da chuva, pois como o sistema drena a enxurrada para canais escoadouros ou leitos de drenagem naturais, no momento do evento de precipitação a seção estará desocupada e o risco de falha por ocupação da seção com água de chuvas anteriores praticamente não existe (Griebeler, et al., 2000; Oliveira et al., 2012). A imprevisibilidade do sistema não permite que o terraceamento de infiltração seja considerado com um projeto de conservação do solo, sendo apenas uma recomendação (Sparovek; Maule, 2015).

A infiltração da água no canal do terraço deve ser conhecida para determinação da seção necessária para chuva de projeto, entretanto existem limitações de metodologias da estimativa da taxa de infiltração de água no canal

do terraço, sendo inviáveis as estimativas a partir da densidade de fluxo, calculadas pela equação de Darcy-Buckingham, ou pela variação da armazenagem da água no solo, devido ao papel importante da drenagem profunda (Castro, 2001).

3.2 Material e Métodos

O experimento de campo foi implantado com objetivo de medir a variação da lâmina de água represada em canais de terraços de infiltração, e sua correlação com as chuvas sequenciais ocorridas no período de 04/12/2015 a 04 /04/2016, em doze terraços distribuídos em municípios da região de Piracicaba. As áreas de estudo foram escolhidas para representar as mais variadas condições pedológicas, nas quais a cultura da cana-de-açúcar é conduzida no estado de São Paulo. Os solos escolhidos foram: Neossolo Quartzarênico; Cambissolo Háplico; Argissolo Vermelho Amarelo abrupto; Argissolo Vermelho Amarelo Típico com baixa permeabilidade; Latossolo Vermelho Amarelo textura média; Latossolo Vermelho textura argilosa; Nitossolo.

Segundo a classificação de Köppen a região, na qual o experimento foi instalado, está inserida em clima subtropical de inverno seco (Cwa), com temperaturas inferiores a 18°C, e verão quente com temperaturas superiores a 22°C, clima representativo da maior área agrícola do Estado de São Paulo.

Conforme o sistema de monitoramento de infiltração de água em terraços criado por (Paula et al., 2007) foram construídas réguas graduadas feitas com tubo de PVC de 15 mm de diâmetro, com comprimento de 1,5 m. A graduação foi feita com pintura sobre gabaritos de papelão, cujos espaços vazios criados por cortes em retângulos de 0,01 m x 0,05 m, foram pintados com tinta resistente à água na cor azul de forma alternada, resultando em retângulos pintados e não pintados no tubo de PVC. Além disso, foram construídas boias com tampão de tubo PVC de 50 mm de diâmetro que receberam o isopor cortado e encaixado na parte interna do tampão. Foi feito um corte circular no centro do tampão, com diâmetro um pouco maior que o tubo, para que a boia pudesse subir ou descer livremente, conforme a variação da altura da lâmina de água no canal dos terraços decorrente da infiltração da água, ou pela ascensão da lâmina após eventos de precipitação capazes de gerar enxurrada entre os terraços (Figura 26).

Figura 26. Esquema da régua de medição da altura da lâmina no canal dos terraços

A partir de fotografias das réguas tiradas nas datas de coletas de dados, identificando os retângulos azuis, foi possível obter as medidas da variação de altura da lâmina. Além da boia foi instalado em cada régua um anel de nível, chamado de clip, que serviu para gravar a altura máxima da lâmina de água nos intervalos em que as medições foram realizadas, uma vez que a frequência de medições variou entre as réguas e no tempo. Os clips foram feitos de cortes finos de tubos de PVC 15 mm, e foram seccionados, com a intenção de deixá-los livres, com pressão moderada a ponto de não impedir a subida da boia até a altura máxima, porém com pressão suficiente para não deixar descer o clip quando a boia fosse baixando devido a infiltração e evaporação da água.

Figura 27. Roteiros 1 e 2 das tomadas de dados das réguas

As réguas foram monitoradas em datas que variaram conforme a disponibilidade de fazer o roteiro, que foi dividido em dois devido a posição geográfica das réguas. O Roteiro 1 segue para o oeste da cidade de Piracicaba, com visitas às réguas 1 e 2, no sentido São Pedro e Lençóis Paulista. O Roteiro 2 segue para o sul, no sentido Capivari e Porto Feliz, para as visitas das réguas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 (Figura 27).

As leituras das réguas foram feitas considerando o valor zero na cota mais alta da régua, e a leitura era feita no sentido descendente.

Os pontos escolhidos para instalação das réguas estão distribuídos na região de Piracicaba – SP (Figura 28).

Figura 28. Mapa do estado de São Paulo com a região de abrangência e municípios participantes do ensaio

Os dados de chuva do radar meteorológico foram obtidos para cada régua. O radar é capaz de coletar ondas eletromagnéticas, espalhadas pelas gotas de chuva de forma volumétrica, em um raio de 240 km do seu centro. Essas informações registradas em coordenadas geográficas, mais as medidas de azimute (abertura angular) e elevação, são referidas como refletividade do radar. O radar meteorológico do Instituto de Pesquisas Meteorológicas, no campus de Bauru da UNESP (IPMet-UNESP), funciona ininterruptamente executando tarefas programadas de coleta de dados meteorológicos. Os dados volumétricos de chuva são registrados quando ocorre chuva em um círculo com raio de 240 km do radar, e a partir de um software de gerenciamento do radar meteorológico (SIGMET/IRIS), com tarefas executadas a cada 7,5 minutos, geram 8 arquivos por hora. A informação de chuva a uma altitude constante é dada pelo produto do radar chamado CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator), que consiste na projeção de partes dos dados de refletividade coletados para várias alturas (PPIs), interpolados para um plano horizontal em uma altitude constante, produzindo um mapa de da chuva a cada 15 minutos (Figura 31) (Bassan et al., 2015).

Tabela 12. Datas em que foram realizadas as medidas de variação da lâmina da régua

DATA LEITURA	RÉGUAS	DATA LEITURA	RÉGUAS
04-12-15	1	08-02-16	1
07-12-15	1	10-02-16	1
08-12-15	1	12-02-16	1
09-12-15	1	15-02-16	1, 2, 3, 13, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
11-12-15	1	16-02-16	1
12-12-15	1, 4, 5, 8, 9, 10, 11	19-02-16	1
14-12-15	1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11	20-02-16	1
16-12-15	1	22-02-16	1
18-12-15	1, 2	24-02-16	1
19-12-15	4, 5, 7, 8, 9, 10, 11	25-02-16	1
23-12-15	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	27-02-16	2, 3, 13, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
28-12-15	1, 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	29-02-16	1
30-12-15	2	02-03-16	1, 2
04-01-16	1	03-03-16	1
05-01-16	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	04-03-16	1
07-01-16	1	07-03-16	1
08-01-16	1	09-03-16	1, 2
09-01-16	1, 3, 13, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	12-03-16	1
12-01-16	1, 2, 3, 13	14-03-16	1
14-01-16	1	15-03-16	1
15-01-16	1, 2	16-03-16	1
17-01-16	3, 13, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	17-03-16	1
18-01-16	1	18-03-16	1
20-01-16	1	21-03-16	1
22-01-16	2	22-03-16	1
23-01-16	1	22-03-16	2
25-01-16	1, 3, 13, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	24-03-16	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
26-01-16	1	28-03-16	1
27-01-16	1	29-03-16	1, 2
29-01-16	1	30-03-16	1
29-01-16	2	31-03-16	1
01-02-16	1	01-04-16	1
02-02-16	1	02-04-16	1
04-02-16	1	04-04-16	1
05-02-16	1	09-04-16	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

As régua foram visitadas e as medidas de variação da lâmina foram tomadas em diferentes datas ().

Os dados de precipitação do radar, corrigidos para 24 horas, apresentam melhor desempenho que as informações brutas, disponibilizadas de quinze em quinze minutos pelo IPMet-UNESP. Para preencher o período estudado, de dezembro de 2015 a abril de 2016, foram necessárias 20.336 imagens de quinze em quinze, enviadas pelo Instituto via ftp (file transfer protocol), em formato GEOTIFF (imagens georreferenciadas). Essas imagens foram importadas em um sistema de informações geográficas (S.I.G.), da MicroImages, Inc, Nebraska – USA, conhecido como TNT GIS na sua versão 2018. Dentro do sistema, as imagens foram georreferenciadas por sistema de coordenadas UTM e datum de referência SIRGAS 2000, com pixel de 1.000 x 1.000 metros, com os três valores de cores RGB para cada célula da imagem.

Os valores de RGB representam os valores de dBZ (reflectância das gotas) e refletem a refletividade do radar (Bassan et al., 2015).

Figura 29. Imagem do radar disponibilizada em formato GEOTIFF com a data e hora da tomada de dados pelo radar

Os arquivos raster com valores de RGB foram exportados para o formato: separado por vírgula (csv); com a estrutura de arquivo texto, compatível com o formato TXT. Os arquivos tinham estrutura de linhas e colunas (480 x 640), que continham as informações de RGB das células de cada cena. Os valores de RGB foram extraídos dos arquivos texto, através de uma programação elaborada especificamente para processamento dos arquivos do radar. Foi realizada uma programação escrita na linguagem Dart, linguagem de script voltada à web desenvolvida pela Google. O programa carrega as definições de localização das réguas de medição e monta uma estrutura que mapeia qual a linha do radar contém a informação para cada régua de medição. O sistema então, processa cada arquivo do radar em ordem cronológica, do nome extrai a data e hora da leitura, e do conteúdo, busca, nas linhas mapeadas, as leituras de cada régua de medição. Para cada leitura extraída do arquivo de radar, o programa escreve uma linha no arquivo de saída de cada régua. O resultado é o arquivo de saída de cada régua, imprimindo linha a linha, a data, hora e leitura encontrada na posição correspondente à régua de cada arquivo (Tabela 8).

Tabela 13. Arquivo texto fornecido como resultado da programação Dart desenvolvida para cada régua

ANO	MÊS	DIA	HORA	MIN	SEG	R	G	B
2015	12	4	0	8	37	0	141	118
2015	12	4	0	16	9	0	137	83
2015	12	4	0	23	38	255	255	255
2015	12	4	0	31	8	255	255	255
2015	12	4	0	38	38	255	255	255
2015	12	4	0	46	8	255	255	255
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Os resultados de RGB foram transformados em valores alfanuméricos, com a utilização de metodologia para conversão de valores de RGB em valores na base hexadecimal. A transformação dos valores na base hexadecimal para a base decimal foi feita em planilha do Excel. Os valores em decimal, correspondentes aos valores de dBZ, foram encontrados a partir da interpolação dos valores entre as classes sugeridas na Tabela 9. O valor de dBZ foi convertido para milímetros por hora (mm h⁻¹) de chuva, a cada quinze minutos.

Tabela 14. Valores de conversão de dBZ para mmh-1 (Rinehart, 2004)

Característica da Precipitação	Valor em dBZ	Valor mínimo (mmh ⁻¹)	Valor máximo (mmh ⁻¹)
Extrema	60	200,0	...
Mutíssimo forte	55	100,0	200,0
Muito forte	50	50,0	100,0
Forte	45	25,0	50,0
Moderada forte	40	12,0	25,0
Moderada fraca	35	6,0	12,0
Fraca	30	3,0	6,0
Muito fraca	25	1,5	3,0
Garoa	20	1,0	1,5
Valores não considerados	15	0,5	1,0

Os dados de chuva, a cada quinze minutos, foram transformados em mmh-1, multiplicando o valor da chuva por quatro (quatro arquivos por hora), e em seguida os valores foram corrigidos pela Equação 2 (Bassan et al., 2015), para obter a chuva de 24 horas, ajustando os dados e permitindo a utilização dos resultados no estudo.

Equação 2
$$CRc = 6,62 + 0,99 * CR$$

em que **CRc** = Chuva do Radar corrigida diária (mm)

CR = Chuva diária do radar (mm) (Bassan et al., 2015)

Os dados de chuva diária foram organizados em planilha do Excel e tratados com formatação de escala de cores para a visualização das chuvas mais intensas em todo o período (Figura 30 e Figura 31).

Dezembro 2015

Data	Régua 1	Régua 2	Régua 3	Régua 4	Régua 5	Régua 6	Régua 7	Régua 8	Régua 9	Régua 10	Régua 11	Régua 12
04-12-15	0,0	8,0	6,7	6,7	0,0	7,7	13,5	13,5	12,4	12,4	11,9	9,5
05-12-15	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	8,2	8,2	6,6	6,8
06-12-15	11,5	9,3	15,3	10,7	13,0	10,4	10,0	9,6	9,5	9,5	11,4	12,1
07-12-15	0,0	6,6	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
08-12-15	0,0	0,0	6,8	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09-12-15	0,0	0,0	0,0	6,8	7,6	6,9	6,8	6,6	0,0	0,0	6,6	0,0
10-12-15	16,1	13,4	11,2	9,9	10,4	9,7	10,2	9,8	9,6	9,6	10,3	9,9
11-12-15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12-12-15	11,1	8,4	11,3	9,9	18,4	12,8	13,4	10,5	10,2	10,2	9,0	9,5
13-12-15	0,0	6,8	14,2	7,4	0,0	0,0	6,8	0,0	6,6	6,6	0,0	0,0
14-12-15	6,9	0,0	20,2	14,5	11,3	12,4	17,5	12,8	13,5	13,5	10,6	10,4
15-12-15	14,8	6,7	11,9	17,8	13,9	17,8	20,0	18,0	18,8	18,8	14,2	13,9
16-12-15	6,8	6,8	0,0	9,7	11,0	11,5	9,9	12,4	10,9	10,9	13,1	12,3
17-12-15	0,0	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18-12-15	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19-12-15	6,9	14,6	30,7	13,9	11,9	20,5	21,3	22,2	27,9	27,9	12,7	10,3
20-12-15	9,1	0,0	6,9	7,8	6,9	7,8	8,3	7,3	7,5	7,5	7,1	7,2
21-12-15	0,0	12,1	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	6,9	7,1	7,1	9,4	10,9
22-12-15	0,0	9,1	14,5	7,1	0,0	0,0	6,8	6,7	6,8	6,8	6,9	7,4
23-12-15	6,7	10,7	10,1	12,3	19,1	15,8	11,0	11,6	11,9	11,9	10,5	11,3
24-12-15	7,1	0,0	7,0	15,2	21,2	15,7	12,4	6,8	7,1	7,1	6,9	10,4
25-12-15	10,0	16,5	7,4	9,0	8,1	8,3	8,1	8,5	8,8	8,8	8,7	9,1
26-12-15	10,3	17,6	0,0	8,3	13,6	10,2	9,3	6,9	8,0	8,0	6,8	0,0
27-12-15	16,9	9,6	11,6	6,7	6,7	6,8	0,0	7,5	7,1	7,1	7,1	7,1
28-12-15	11,4	14,3	23,7	19,1	20,2	17,8	14,8	13,7	13,3	13,3	14,6	15,6
29-12-15	10,8	10,1	8,2	11,7	15,9	12,2	10,6	10,6	10,2	10,2	11,1	11,4
30-12-15	9,4	8,6	10,0	13,5	11,7	12,0	11,6	12,0	11,3	11,3	10,5	11,6
31-12-15	8,5	9,6	6,7	7,4	7,4	0,0	0,0	6,7	7,3	7,3	6,7	0,0

Janeiro 2016

Data	Régua 1	Régua 2	Régua 3	Régua 4	Régua 5	Régua 6	Régua 7	Régua 8	Régua 9	Régua 10	Régua 11	Régua 12
01-01-16	7,7	22,9	6,9	9,1	8,4	6,9	7,7	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0
02-01-16	0,0	9,8	12,1	8,0	7,1	10,6	11,1	9,7	9,3	9,3	11,5	11,2
03-01-16	6,7	7,6	8,7	7,7	8,9	10,2	13,4	11,4	11,0	11,0	8,3	9,7
04-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
08-01-16	8,2	10,4	0,0	0,0	6,9	7,1	0,0	0,0	6,8	6,8	6,8	6,7
09-01-16	17,9	19,6	8,8	9,1	8,7	14,3	14,2	12,1	12,5	12,5	13,0	12,3
10-01-16	27,1	15,1	12,8	11,7	13,0	11,6	10,8	12,4	12,2	12,2	12,9	13,1
11-01-16	21,7	20,0	14,1	14,6	15,2	13,7	13,0	13,0	13,0	13,0	14,4	14,4
12-01-16	24,3	20,8	17,0	15,1	16,5	13,8	13,3	14,5	14,0	14,0	20,4	22,6
13-01-16	0,0	7,4	7,2	19,8	9,9	17,0	16,3	12,1	13,3	13,3	11,8	12,5
14-01-16	12,6	21,4	20,9	9,1	9,0	7,4	7,9	7,9	8,6	8,6	7,2	7,2
15-01-16	0,0	6,8	10,5	7,3	6,7	6,7	7,7	6,7	0,0	0,0	6,6	0,0
16-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
17-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22-01-16	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23-01-16	7,0	7,7	17,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24-01-16	6,7	12,5	7,0	0,0	0,0	6,8	0,0	6,7	6,7	6,7	8,0	8,6
25-01-16	11,5	0,0	9,1	7,5	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	6,8	6,8	6,9	0,0
27-01-16	11,0	29,3	16,7	10,1	11,2	10,0	12,0	14,9	14,5	14,5	15,2	14,8
28-01-16	7,6	14,0	6,7	6,8	7,6	7,9	7,2	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0
29-01-16	17,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30-01-16	17,0	15,1	8,2	7,0	7,4	7,3	6,8	6,9	7,0	7,0	7,6	8,0
31-01-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 30. Resultados de chuva diária corrigida (mm/dia) para dezembro 2015 e janeiro 2016

Fevereiro 2016

Data	Régua 1	Régua 2	Régua 3	Régua 4	Régua 5	Régua 6	Régua 7	Régua 8	Régua 9	Régua 10	Régua 11	Régua 12
01-02-16	0,0	0,0	0,0	6,7	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02-02-16	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03-02-16	17,5	17,5	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04-02-16	10,7	0,0	6,7	0,0	7,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05-02-16	32,3	12,3	11,4	18,6	11,9	14,4	11,4	11,3	10,6	10,6	14,2	13,7
06-02-16	25,9	7,2	8,1	7,3	9,6	9,4	10,3	11,9	13,3	13,3	11,7	13,2
07-02-16	18,5	18,2	13,2	8,4	9,9	7,5	8,1	8,6	8,3	8,3	6,9	6,7
08-02-16	0,0	14,2	6,8	0,0	7,7	7,2	0,0	6,7	0,0	0,0	7,2	7,7
09-02-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10-02-16	7,5	6,8	6,8	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
11-02-16	19,4	8,2	6,7	6,7	9,3	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	6,7	6,7
12-02-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13-02-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14-02-16	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15-02-16	66,7	18,7	77,3	41,5	34,6	38,2	47,6	44,8	54,2	54,2	40,2	40,1
16-02-16	1,4	3,5	4,6	6,0	5,2	5,5	6,0	6,0	8,1	8,1	7,1	6,2
17-02-16	7,3	0,0	8,1	7,0	7,3	8,1	8,1	8,5	8,9	8,9	8,4	8,7
18-02-16	19,1	10,8	17,9	13,6	17,0	12,4	18,1	9,3	8,0	8,0	13,8	15,7
19-02-16	17,2	18,6	11,4	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
20-02-16	18,9	9,7	11,4	10,8	24,7	17,2	17,3	12,8	15,2	15,2	11,4	10,0
21-02-16	37,9	37,3	23,1	23,2	20,7	26,5	27,1	24,1	23,7	23,7	23,2	23,5
22-02-16	7,5	0,0	7,1	6,8	7,5	7,6	7,9	7,8	7,2	7,2	7,3	7,3
23-02-16	16,5	11,4	6,9	8,1	8,5	8,7	8,8	8,1	8,8	8,8	8,8	9,0
24-02-16	8,5	7,9	11,4	10,1	15,3	11,1	10,8	12,6	12,7	12,7	12,1	12,3
25-02-16	8,2	7,8	11,2	19,2	7,9	16,6	18,6	12,2	13,7	13,7	10,0	10,0
26-02-16	11,9	6,7	9,2	16,0	11,6	11,5	12,0	11,9	12,4	12,4	12,3	13,1
27-02-16	22,8	14,9	15,5	20,7	15,2	15,1	15,9	15,8	16,3	16,3	18,1	17,8
28-02-16	23,5	11,1	10,7	14,7	13,6	15,3	15,7	18,4	17,0	17,0	19,5	19,1
29-02-16	8,1	7,7	7,1	7,4	7,4	6,8	6,9	7,0	6,7	6,7	6,6	6,7

Março 2016

Data	Régua 1	Régua 2	Régua 3	Régua 4	Régua 5	Régua 6	Régua 7	Régua 8	Régua 9	Régua 10	Régua 11	Régua 12
01-03-16	6,8	8,5	8,1	14,7	14,0	13,5	14,0	13,2	13,6	13,6	12,0	12,4
02-03-16	0,0	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0
03-03-16	13,0	8,8	11,9	16,4	22,4	22,6	18,0	24,9	26,1	26,1	24,7	25,9
04-03-16	0,0	0,0	6,7	0,0	6,7	0,0	0,0	6,7	6,6	6,6	6,8	6,7
05-03-16	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0
06-03-16	0,0	6,7	6,9	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07-03-16	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,7	6,7	0,0	6,7
08-03-16	0,0	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	7,1	7,1	6,9	7,3
09-03-16	0,0	7,8	6,7	7,4	7,0	7,5	6,7	6,7	0,0	0,0	7,2	7,3
10-03-16	16,0	12,2	15,0	17,7	11,8	12,5	11,8	14,7	12,3	12,3	14,3	12,6
11-03-16	0,0	10,0	13,6	6,7	6,9	7,1	7,5	6,6	0,0	0,0	6,7	6,8
12-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14-03-16	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15-03-16	12,9	17,4	14,1	14,7	16,6	18,2	14,0	16,4	15,2	15,2	17,0	15,7
16-03-16	8,4	12,0	10,0	8,6	8,8	7,8	8,5	7,5	7,2	7,2	7,1	7,0
17-03-16	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21-03-16	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22-03-16	10,8	7,6	7,7	12,1	10,5	9,4	9,6	8,0	8,1	8,1	7,7	7,8
23-03-16	7,6	6,7	10,3	11,7	10,6	9,4	8,6	8,3	8,2	8,2	8,7	8,6
24-03-16	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	6,7	6,7	6,8	6,9
25-03-16	9,0	7,4	11,7	8,3	8,8	9,4	10,0	10,1	10,4	10,4	10,0	11,6
26-03-16	7,7	7,1	9,9	7,8	9,8	9,5	9,4	12,2	12,7	12,7	11,9	11,5
27-03-16	0,0	7,1	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	7,8	7,8	8,2	7,6
28-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31-03-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01-04-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02-04-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04-04-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 31. Resultados de chuva diária corrigida (mm/dia) para fevereiro e março de 2016

3.2.1 Informações Gerais Sobre as Réguas

Informações sobre os municípios nos quais as réguas foram instaladas, coordenadas dos locais no sistema latitude e longitude com datum de referência WGS - 1984, legenda e descrição dos solos, além da textura e relevo, são apresentadas na Tabela 10. As informações pedológicas foram obtidas pelo mapa do levantamento pedológico do estado de São Paulo (Rossi, 2017) (Figura 34) e confirmadas no local com tradagens até 1 metro de profundidade, para avaliação de textura e cor das camadas.

Tabela 15. Informações gerais sobre as réguas instaladas no experimento

Régua	Município	Latitude	Longitude	Legenda de Solos	Unidade Pedológica	Textura	Relevo
1	Areiópolis	22° 41' 31"S	48° 38' 39"W	LVA6	Latossolo Vermelho Amarelo Típico	média	suave ondulado
2	São Pedro	22° 34' 38"S	48° 00' 49"W	RQ2	Neossolo Quartzarênico Órtico Típico	arenosa/média	suave ondulado
3	Rio das Pedras	22° 46' 25"S	47° 33' 14"W	LV20	Latossolo Vermelho Típico	argilosa	suave ondulado
4	Capivari	22° 59' 37"S	47° 32' 05"W	NV2	Nitossolo Típico	muito argilosa	ondulado
5	Rafard	23° 00' 46"S	47° 35' 12"W	LVA11	Cambissolo Háplico Tb imperfeitamente drenado	argilosa	ondulado
6	Rafard	23° 04' 37"S	47° 31' 24"W	LV20	Latossolo Vermelho Amarelo	argilosa	forte ondulado
7	Capivari	23° 05' 45"S	47° 29' 15"W	LV20	Latossolo Vermelho Típico	argilosa	suave
8	Porto Feliz	23° 08' 41"S	47° 29' 40"W	PVA43	Argissolo Vermelho Amarelo Típico	arenosa/média	forte ondulado
9	Porto Feliz	23° 08' 59"S	47° 29' 33"W	PVA43	Argissolo Vermelho Amarelo Típico	arenosa/média	forte ondulado
10	Porto Feliz	23° 08' 49"S	47° 29' 30"W	PVA43	Argissolo Vermelho Amarelo Típico	arenosa/média	forte ondulado
11	Porto Feliz	23° 10' 11"S	47° 31' 49"W	PVA22	Argissolo Vermelho Amarelo Típico	média/argilosa	suave/ondulado
12	Porto Feliz	23° 10' 08"S	47° 32' 00"W	PVA22	Argissolo Vermelho Amarelo Típico	média/argilosa	suave/ondulado

O sistema conservacionista instalado em todos os terraços que foram avaliados foi o mesmo: i) Terraços em nível ou de infiltração; ii) Espaçamentos verticais fixos (5m); iii) Terraços embutidos.

Figura 32. Mapa de solos com destaque nas legendas de solos estudados. Fonte: Levantamento Pedológico do Estado de São Paulo (Rossi, 2017)

O espaçamento vertical e horizontal entre terraços, a seção calculada pelas dimensões determinadas em campo, as declividades medidas nos modelos de elevação, a forma e a posição do relevo de cada régua podem ser encontradas na Tabela 16.

Tabela 16. Espaçamento, dimensões, seção calculada, declividade, forma e posição no relevo

Régua	EV (m)	EH (m)	Base (m)	Altura (m)	Seção (m ²)	Declividade (%)	Forma do relevo	Posição no relevo
1	5	111	5,27	0,83	2,19	5,4	Raio côncavo e contorno côncavo	Meia encosta
2	5	91	3,75	0,58	1,09	6,4	Raio convexo e contorno convexo	Topo
3	5	71	4,15	0,73	1,51	7,0	Raio convexo e contorno convexo	Encosta inferior
4	5	59	4,65	0,58	1,35	9,9	Raio côncavo e contorno côncavo	Meia encosta
5	5	50	6,30	0,56	1,76	5,6	Raio côncavo e contorno côncavo	Topo
6	5	143	5,57	0,75	2,09	5,9	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta
7	5	200	11,59	1,17	6,78	3,1	Raio convexo e contorno côncavo	Topo
8	5	100	5,75	0,97	2,79	5,6	Raio convexo e contorno côncavo	Encosta inferior
9	5	56	5,25	0,85	2,23	9,5	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta
10	5	56	3,90	0,52	1,01	9,2	Raio convexo e contorno côncavo	Meia encosta
11	5	67	4,57	0,68	1,55	7,5	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta
12	5	83	5,35	0,49	1,31	6,3	Raio convexo e contorno convexo	Topo

As formas de relevo influenciam o fluxo de enxurrada e os processos erosivos. A compartimentação do relevo, caracterizando a posição de cada régua, e a classificação da forma do relevo, auxilia na interpretação dos dados coletados pelo experimento. A orientação do perfil do terreno, no sentido do maior declive, ou morro abaixo, define se o relevo tem o raio côncavo ou convexo, e a avaliação da forma no sentido do nível do terreno, define se o contorno é côncavo ou convexo. Há uma tendência de que as formas côncavas acumulem mais enxurrada, tanto para o raio como para o contorno, representada pelos sinais positivos e negativos na Figura 33. Os dois sinais positivos significam que a produção de enxurrada concentrada é maior que as formas com os dois sinais negativos, dos raios e contornos convexos, que dispersam o fluxo ao invés de acumular.

Figura 33. Formas de relevo classificadas por concentração de fluxo e formação de enxurrada: Adaptado de (Troeh, 1965)

As declividades das áreas no entorno dos terraços estudados são apresentadas na Figura 36. As classes de declividade foram calculadas a partir dos modelos digitais de terreno disponíveis na WEB, via link da NASA, (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>) em parceria com a universidade da Alaska, através dos dados do projeto Earth Data.

Este projeto tornou público o modelo digital do mundo todo, em arquivos para download em formato GEOTIFF, com resolução espacial (pixel) de 12 metros, cuja informação é a altitude em metros. A partir desses modelos foram geradas as curvas de nível com espaçamento vertical de 5 metros, coincidentes com o espaçamento entre os terraços estudados, e os mapas de declividade e suas respectivas classes: i) 0 a 3%; ii) 3 a 6 %; iii) 6 a 9 %; iv) 9 a 12 %; v) 12 a 15 %; vi) > 15 % (Figura 34).

Figura 34. Classes de declividade das áreas do entorno dos terraços. Área aproximada de 25 km² por régua

Além das classes de declividade foram identificadas as bacias hidrográficas, de pequeno porte, nas quais os terraços estão inseridos. A informação da posição do terraço na bacia é importante para a avaliação das áreas de contribuição que produzem enxurrada para os pontos monitorados, além de contribuir para o entendimento da dinâmica da enxurrada (Figura 35).

Figura 35. Posição dos pontos de monitoramento dos terraços estudados em relação à bacia hidrográfica e forma de relevo

A localização da linha dos terraços foi identificada na Figura 36, através das linhas vermelhas destacadas na imagem de satélite recentes (2017 e 2018). Esta identificação ajuda na determinação da bacia de contribuição para cada terraço, reforçando o entendimento do comportamento dos terraços ao longo do período estudado.

A partir do modelo digital de terreno foi possível elaborar os mapas de fluxos de enxurrada para cada situação, identificando se os terraços monitorados estão em relevos côncavos ou convexas. A variabilidade espacial dos atributos do solo, e as formas do relevo, contribuem para entender os processos erosivos que atuam nas áreas estudadas. A análise das formas de relevo que influenciam o escoamento superficial, é fundamental para o entendimento e a quantificação da erosão. Pode se afirmar que a erosão é controlada pelo relevo, enquanto as

diferentes trajetórias do fluxo de enxurrada, em diferentes formas de paisagem, é agente causador de variabilidade na erosão do solo (Sanchez et al., 2009).

Os relevos côncavos são geralmente mais suaves, com declividades menores no topo, que aumentam conforme se aproxima da drenagem e no relevo convexo se espera o oposto (Troeh, 1965).

Figura 36. Localização das réguas nos terraços monitorados, com destaque em vermelho para a posição planimétrica dos terraços

A posição da régua em relação à paisagem tem importância no entendimento do comportamento do fluxo de enxurrada de bacias hidrográficas (Figura 39) e (Figura 40). Terraços implantados em relevo côncavo, no qual o fluxo de enxurrada se concentra em uma linha de escoamento preferencial, acumulando o fluxo no fundo do vale (talvegue), apresenta variabilidade dos atributos do solo ligada ao relevo, e a infiltração da água acompanha essa variação. O escoamento superficial de enxurrada em bacias de formato côncavo, tem a característica de se concentrar no fundo dos talwegues, e quase sempre devem, além dos terraços, estar associados à adoção de práticas adicionais, como canais escoadouros vegetados ou estruturas de drenagem. As áreas cujos relevos têm formato convexos, não concentram o fluxo no talvegue, e apresentam comportamento hidrológico distinto, normalmente com produção de menos enxurrada que os relevos côncavos (Sanchez et al., 2009).

Em relevos côncavos, nos quais normalmente ocorrem solos de baixa permeabilidade e declividade mais acentuada, justamente nas áreas de maior risco de erosão, a recomendação é a implantação de sistema de controle de erosão com conceitos de drenagem, não sendo recomendado a utilização do sistema de infiltração, contrariando a ideia que os problemas de erosão, em áreas de alto risco, podem ser resolvidos com a adoção isolada de terraceamento de infiltração. Nos relevos convexos, nos quais os solos são permeáveis e ocorrem em declividades menores, o terraço de infiltração pode ser utilizado, apesar de muitas vezes de forma ociosa, devido a pequena formação de enxurrada. Os terraços de infiltração adotados em condições inadequadas, podem criar, em situações comuns, mais problemas que soluções.

3.2.2 Espaçamento entre terraços e seção de armazenamento

Há pelo menos dois métodos básicos para realizar o cálculo de espaçamento entre terraços. O primeiro considera declividade, tipo, uso, preparo e manejo do solo, utilizando a metodologia proposta por (Bertoni et al., 1985) revisada e atualizada por (De Maria et al., 2016), e outra com base na Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE), que leva em conta os limites de tolerância de perda de solo, além dos seguintes fatores: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, grau e comprimento de rampa e cobertura e manejo do solo (Wischmeier et al., 1978).

Inicialmente, para determinar os espaçamentos entre terraços no Brasil, bases de dados empíricas determinadas para as condições dos Estados Unidos foram utilizadas (Bertoni, 1959). A metodologia foi desenvolvida com auxílio de fórmulas e tabelas, considerando que as tabelas desenvolvidas a partir de dados de perdas de solos, obtidos de maneira estatística em parcelas de 100 metros quadrados, considerando períodos anuais em condições edafoclimáticas de outro país eram inadequadas para uso nos trópicos. Em alguns anos de trabalho, pesquisadores da Seção de Conservação de Solo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), determinaram parâmetros de cálculos para espaçamento entre terraços, a partir de dados para as condições das estações experimentais do IAC (Mococa, Pindorama, Campinas e Piracicaba). Entretanto, o desenho estatístico dos ensaios foi com parcelas pequenas, em escala incompatível, como nos ensaios realizados nos países que desenvolveram a metodologia. A partir dos resultados obtidos no Brasil e deduções matemáticas a primeira fórmula de cálculo de espaçamento entre terraços foi a Equação 3 (Bertoni, 1959):

$$EV = 0,4518 * K * (D^{0,58}) \quad \text{Equação 3 (1959)}$$

em que,

EV = espaçamento horizontal entre terraços

K = constante para tipos de solos

D = grau de declive do terreno

A equação considerava apenas duas variáveis e por isso produziu espaçamentos muito pequenos entre terraços, inviabilizando a mecanização das áreas. Conforme a nova abordagem da recomendação de cálculo de espaçamento entre terraços a fórmula proposta por Lombardi Neto et al. (1989) representada pela Equação 4:

$$EV = 0,4518 * K * (D^{0,58}) * ((u+m)/2)$$

Equação 4 (1989)

em que **EV** = espaçamento vertical entre terraços, m

K = constante variável com o tipo de solo

D = declividade da área, %

u = fator de uso do solo

m = fator de manejo do solo

Na qual os parâmetros de uso e manejo do solo foram incluídos na fórmula, que apesar da forma empírica e sem experimentação de campo na escala das áreas de produção, contribuiu para que o dimensionamento fosse realizado com mais segurança, incluindo variáveis importantes para o controle da erosão. A inclusão dos parâmetros permitiu que os espaçamentos calculados fossem maiores e, portanto, com rendimentos operacionais melhores, preocupação comum entre os técnicos na década de 1990, quando a mecanização começou a ganhar força no setor de produção.

Conforme uma nova abordagem recente, para recomendação de cálculo de espaçamento entre terraços, que seguiu o mesmo caminho de (Lombardi Neto et al., 1989), com inclusão de parâmetros empíricos como os tipos de preparo e controle de tráfego, com objetivo de aumentar o espaçamento entre terraços, em função de uma demanda ainda maior que na década de 1990, para o aumento de rendimento operacional, foi proposta a Equação 4 (De Maria et al., 2016):

$$EV = 0,4518 * K * (D^{0,58}) * ((u+m)/2) * p$$

Equação 5 (2016)

em que **EV** = espaçamento vertical entre terraços, m

K = constante variável com o tipo de solo

D = declividade da área, %

u = fator de uso do solo

m = fator de manejo do solo

p = fator de preparo do solo

O dimensionamento do canal do terraço de infiltração deve ser feito a partir da equação sugerida por (De Maria et al., 2016) através da Equação 5:

$$V = A * h * C$$

Equação 5

V = volume de enxurrada (m³)

A = área de captação entre terraços (m²)

h = chuva máxima para o local com tempo de retorno de 10 anos (m)

c = coeficiente de enxurrada

O dimensionamento do canal do terraço de drenagem é feito pelo método racional através da Equação 6:

$$Q = (c * I * A) / 360 \quad \text{Equação 6}$$

em que Q = Vazão (m^3s^{-1})

c = coeficiente de enxurrada

I = intensidade de precipitação ($mm\ h^{-1}$)

A = área de captação (ha)

A vazão de entrada do sistema é calculada pelo método racional e a vazão de escoamento da seção do terraço é calculada pela Equação 7:

$$Q = S * V \quad \text{Equação 7}$$

em que Q = Vazão (m^3s^{-1})

S = seção de armazenamento do terraço (m^2)

V = velocidade de escoamento ($m\ s^{-1}$)

O critério corrente para o dimensionamento de terraços em gradiente é a adoção de uma seção capaz de escoar a vazão de escoamento superficial, causada por uma chuva de duração igual ao tempo de concentração da área de contribuição. Para os terraços de infiltração ou em nível, dimensiona-se a seção capaz de armazenar o volume de escoamento superficial causado por uma chuva mais longa, de 24 horas. Entretanto, este critério gera seções excessivamente grandes, sobretudo quando o escoamento superficial é calculado pelo método do Número da Curva (Cruciani, 1989).

Em terraços com seção parabólica na qual o cálculo se dá pela Equação 8

$$S = 2/3 * B * H \quad \text{Equação 8}$$

em que,

S = Seção do terraço (m^2)

B = largura da lâmina no canal do terraço (m)

H = altura da lâmina no canal do terraço (m)

3.3 Resultados e Discussão

Para avaliar a recomendação de terraceamento de infiltração adotada nos terraços estudados, o dimensionamento individualizado, para cada terraço, foi realizado através da metodologia sugerida pelo Boletim 216 do IAC (De Maria et al., 2016), publicação mais recente em conservação do solo, para a cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo.

Foram encontradas variações nas seções dos terraços analisados. As variações não se deram devido ao dimensionamento hidrológico ou hidráulico específico, para cada condição de solo e relevo, foram mais relacionadas com as condições de construção do terraço, e com as máquinas utilizadas. As recomendações empíricas de

construção dos terraços, estipulam um valor fixo de hora/máquina para terraços embutidos. Provavelmente, por esta razão, as maiores seções foram encontradas nos solos mais permeáveis e mais friáveis, em relevos mais planos, decorrente da facilidade de movimentação de terra, que permite a construção de camalhões com grande eficiência das máquinas. Talvez, também por essa razão, as seções menores foram encontradas nos solos pouco permeáveis, e mais coesos, nas declividades maiores. Esse fato contraria o dimensionamento hidrológico e hidráulico, pois nos casos estudados, as maiores seções deveriam estar nos solos menos permeáveis em declividades mais altas, devido à maior necessidade de represamento de água no canal decorrente da maior formação de enxurrada nas condições de solo e relevo. De forma contrária as menores seções devem estar nos solos mais permeáveis, com coeficientes de enxurrada menores devido às condições de solo e relevo (Tabela 17).

Foram comparadas as seções medidas em campo, com as seções recomendadas pelas metodologias científicas para o dimensionamento hidrológico e hidráulico, ao longo da história da conservação do solo no Brasil. Os resultados mostraram que houve uma tendência, ao longo do tempo, com a evolução dos manejos e da mecanização, dos espaçamentos entre terraços se tornarem cada vez maiores, porém ainda muito longe do que é praticado nas áreas de produção, e distante da capacidade de infiltração de água no canal dos terraços construídos em campo, que na maioria dos casos, estão subdimensionados para a chuva máxima esperada em 24 horas para os locais, conforme a Figura 37 e Tabela 17.

Figura 37. Isoietas de chuvas diárias (24h) máximas, em milímetro, para período de retorno de 10 anos. (De Maria et al., 2016)

A chuva máxima esperada foi retirada do mapa de isoietas do estado de São Paulo, em função da localização das réguas. Os parâmetros utilizados para os cálculos foram: i) declividade da área calculada pelo sistema de informações geográficas a partir do modelo digital do terreno (NASA); ii) Espaçamento e seção calculada para cada terraço, a partir das dimensões tomadas em campo; iii) Espaçamentos verticais entre terraços calculados para cada metodologia proposta na história, (Bertoni, 1959), (Lombardi Neto et al., 1989) e (De Maria et al., 2016); iv) Seção calculada pelas metodologias (Bertoni, 1959), (Lombardi

Neto et al., 1989) e (De Maria et al., 2016) Seção construída em campo e a eficiência do sistema para a chuva esperada; vi) coeficiente de enxurrada (De Maria et al., 2016) (Tabela 17).

Tabela 17. Dimensionamento hidráulico e hidrológico das régua

Régua	Chuva máxima mm24h ⁻¹	Coeficiente de enxurrada	Espaçamento horizontal m	EV (Régua) m	Espaçamento Vertical (m)			Seção Calculada m ²	Seção no canal do terraço (m ²)			Seção construída m ²	Eficiência %
					1959	1989	2016		1959	1989	2016		
1	110	0,4	111	5,00	0,90	1,34	1,78	4,89	0,88	1,31	1,74	2,20	45,0
2	115	0,3	91	5,00	1,01	1,50	2,00	3,14	0,64	0,94	1,26	1,07	34,2
3	115	0,5	71	5,00	1,33	1,96	1,96	4,11	1,09	1,61	1,61	1,53	37,3
4	115	0,6	59	5,00	1,89	2,20	2,20	4,06	1,54	1,78	1,78	1,33	32,9
5	115	0,8	50	5,00	1,43	1,45	1,74	4,60	1,32	1,33	1,60	1,76	38,3
6	115	0,5	143	5,00	0,89	1,16	1,28	8,21	1,46	1,90	2,11	2,25	27,4
7	115	0,2	200	5,00	0,73	0,78	0,86	4,60	0,67	0,72	0,80	7,88	171,3
8	115	0,6	100	5,00	0,96	1,16	1,51	6,90	1,32	1,61	2,09	2,76	40,1
9	115	0,6	56	5,00	1,35	1,64	2,13	3,83	1,03	1,25	1,63	2,21	57,7
10	115	0,6	56	5,00	1,35	1,64	2,13	3,83	1,03	1,25	1,63	1,01	26,5
11	115	0,6	67	5,00	1,21	1,47	1,91	4,60	1,12	1,35	1,76	1,56	34,0
12	115	0,6	83	5,00	1,07	1,29	1,68	5,75	1,23	1,49	1,93	1,30	22,6

A eficiência foi calculada pela razão entre a seção construída, ou seja, aquela que foi medida em campo, com a seção calculada, que deveria ser construída para suportar a enxurrada esperada pela chuva máxima. Os resultados mostraram eficiência muito baixa nos sistemas de terraceamento de infiltração, implantados com seções subdimensionadas com espaçamentos fixos, o que aumenta muito o risco de falha, como observado em várias régua no experimento. Em virtude desses resultados, podemos afirmar que o sistema de infiltração sem o dimensionamento correto, não deve ser recomendado como sistema de conservação do solo nos casos estudados. A inadequação do sistema simplificado, com espaçamentos e metodologia de construção padronizada para todas as condições, utilizado como recomendação pela maioria dos técnicos em conservação, é flagrante no caso do terraço em que a régua 07 foi instalada.

A régua 7 apresentou o menor risco de erosão, pois estava em solo argiloso com drenagem acentuada em posição de relevo de topo, com relevo de raio convexo e o maior custo de implantação devido à maior seção encontrada (7,88 m²), sendo a seção calculada necessária para o espaçamento vertical de 5 metros de 4,60 m², apresentou a menor taxa de formação de enxurrada verificada em todo o experimento. As contradições encontradas podem ser explicadas pela simplificação e generalização da prática que neste caso ironicamente apresentou a maior eficiência de todas as régua, 171 %, sem que houvesse represamento que justificasse a prática (Figura 38).

Figura 38. Eficiência do sistema de terraceamento calculada pela divisão da seção necessária pela seção construída

3.3.1 Determinação da taxa de infiltração e represamento nos terraços

Régua 01 – Município de Areiópolis – SP

A régua 01 foi monitorada de 04/12/2015 a 04/04/2016, através de 61 medições de altura da lâmina de água, medidas pelas alturas da boia em relação à graduação na régua. O intervalo entre as medições foi em média de 2 dias (Figura 39).

Figura 39. Intervalo entre as medições da régua 01; valor médio de 2 dias

A partir dos dados de chuva diária do radar, foram calculadas as chuvas acumuladas dos dias anteriores, com acúmulo de 1 a 61 dias. O conjunto de valores de 1 dia, correspondem aos resultados diretos da chuva diária corrigida, provenientes do radar, conforme metodologia proposta por (Bassan et al., 2015).

Os dados de 2 dias acumulados foram obtidos com a soma da precipitação do dia, e a precipitação do dia anterior, a chuva de 3 dias é a chuva do dia mais a chuva dos dois dias anteriores e assim por diante, até 61 dias de chuva acumulada. Para cada sequência de dias acumulados foi feita a regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, com determinação de R^2 para cada sequência. Os resultados mostraram que os dados de chuva acumulada se relacionam melhor com os dados da altura da lâmina, do que a chuva diária corrigida. No caso da régua 01, a partir de 6 dias acumulados, o coeficiente de determinação R^2 atingiu valores acima de 0,40, que chegam no valor máximo de 0,64 aos 25 dias e começa a cair até atingir valores menores que 0,40 aos 38 dias. O valor de 0,40 foi considerado adequado neste caso, para explicar em parte, a relação que existe entre a ocorrência de chuvas sequenciais e as falhas hidráulicas em terraços de infiltração nas condições do experimento (Figura 40).

Figura 40. Sequência de cálculos de 1 a 61 dias de chuva acumulada

As medidas de altura da lâmina foram comparadas com os dados corrigidos (CRC), utilizando o método dos quadrados mínimos no Excel, através da função PROJ.LIN. A adequação do ajuste do modelo aos dados foi determinada pelos valores dos coeficientes de determinação r^2 . Foi calculada a linha reta que melhor se ajusta aos dados de precipitação e altura da lâmina. A variável dependente foi a chuva acumulada, calculada a partir dos dados de chuva diária, variando de 1 a 61 dias.

Os resultados da régua 01 mostraram que o terraço ficou ocupado com água durante todo o período de avaliação. Considerando a ocupação da seção, com água de eventos anteriores, podemos afirmar que em todos os eventos de precipitação ocorridos no período avaliado a seção estava comprometida, no mínimo com 22% da sua capacidade de armazenamento, e no máximo 100% quando as falhas hidráulicas ocorreram. As falhas hidráulicas ocorreram em dois momentos distintos que se assemelham pelo volume de chuva do radar, acumulado em 6 dias, com valores acima de 90 mm. A primeira falha, detectada no dia 12/01/2016, ocorreu após evento de 99,3 mm, a segunda, ocorreu no dia 21/02/2016, após chuva de 101,9 mm. Quando a chuva acumulada de 6 dias foi menor que 90 mm não ocorreu falha hidráulica (Figura 41).

Figura 41. Variação da lâmina de água durante o período de avaliação das 61 medições

Apesar da área entre terraços estar coberta, com vegetação densa da cana em estágio de crescimento avançado, nos eventos sequenciais de precipitação que acumularam mais que 90 mm, as falhas ocorreram, provavelmente pelo sub dimensionamento da seção do terraço, em virtude da imprevisibilidade da ocupação do canal com chuvas de eventos anteriores. As falhas dos terraços causaram uma erosão em sulcos profundos na área, decorrente da enorme quantidade de energia acumulada na forma potencial no canal do terraço que talvez não existisse se os terraços não fossem construídos nessas condições. A cobertura do solo proporcionada pela cana-de-açúcar com valores acima de 50 % controla a erosão de forma satisfatória e além disso, não colocam a área em risco com falhas de estruturas subdimensionadas ou mal construídas.

Figura 42. Imagens de satélite destacando o rompimento do terraço e a área afetada

A erosão causada nas falhas hidráulicas foi observada nas imagens de satélite disponível no link: <https://www.planet.com/>. As imagens foram coletadas nas datas anteriores e posteriores às falhas. A primeira falha ocorreu entre os dias 12 e 15 de janeiro de 2016, e a segunda falha ocorreu depois do dia 15 de fevereiro de 2016.

A Figura 42 indica com a seta vermelha o local da falha. Após a imagem de 07/01/16 pode ser observado que a cor onde a cana foi arrancada pela erosão mudou nas imagens seguintes, o solo ficou descoberto e a reflectância mudou a cor da imagem na região afetada.

O relevo da régua 01 é classificado como de raio côncavo e contorno côncavo, situação que mais favorece a formação e concentração de enxurrada, provavelmente, características que contribuíram para a ocupação do canal do terraço com água proveniente de enxurrada durante todo o período e pelas duas falhas que ocorreram. As duas falhas hidráulicas no terraço da régua 01, durante o período de medição, estão associadas a chuvas acumuladas em 6 dias com valores acima de 90 mm, sendo a primeira falha após chuva de 99 mm acumulados, e a segunda após 108 mm.

A seção do canal não suportou o volume de enxurrada proveniente da área entre terraços e o transbordamento, provavelmente durante a chuva, provocou erosão a jusante do terraço. As variáveis envolvidas nas causas do transbordamento dos terraços são diversas, e entre as mais importantes, está o acúmulo de enxurrada de vários eventos sucessivos dos dias anteriores, que comprometem a seção que não suportam o volume de enxurrada. Além disso, a precipitação acumulada em eventos seguidos, é suficiente para manter o solo com umidade elevada, proporcionando condições favoráveis para que a chuva promova maior formação de enxurrada em eventos sequenciais (Figura 43).

Figura 43. Fotos da falha hidráulica do terraço da régua 01

O funcionamento do sistema de infiltração exige que a taxa de infiltração da água, no canal do terraço, seja igual, ou maior, que a taxa de produção de enxurrada entre os eventos de precipitação. A taxa de infiltração de água, no canal do terraço, foi determinada pela variação da altura da boia na régua de medições.

As taxas de infiltração, próximas ao valor da intensidade de precipitação, podem ocorrer no início da formação de enxurrada, entretanto, tendem a diminuir com o aumento da duração da chuva, até atingir valor constante. Em solos cobertos, em sistema de plantio direto, os valores observados da taxa de infiltração estável, foram em torno de 50 mm h⁻¹. Entretanto, resultados encontrados por Alves Sobrinho et al. (2003), variaram de 22 a 45 mm h⁻¹ no plantio direto, e foram de 14 mm h⁻¹ no tratamento preparado com grade aradora. Os resultados evidenciaram a variabilidade dos atributos dos solos em diferentes usos e manejos, sugerindo necessidade de pesquisas aplicadas para obtenção de referências (Panachuki, et al., 2011) (Tabela 18).

Tabela 18. Taxa de infiltração de água no canal dos terraços, forma e posição no relevo

Régua	Forma do relevo	Posição no relevo	Taxa de Infiltração (mm h ⁻¹)		
			Média	Máximo	Mínimo
1	Raio côncavo e contorno côncavo	Meia encosta	0,79	1,83	0,17
2	Raio convexo e contorno convexo	Topo	0,87	1,73	0,26
3	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta	1,32	2,66	0,38
4	Raio côncavo e contorno côncavo	Meia encosta	--	--	--
5	Raio côncavo e contorno côncavo	Topo	0,83	1,46	0,21
6	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta	--	--	--
7	Raio convexo e contorno côncavo	Topo	--	--	--
8	Raio convexo e contorno côncavo	Encosta inferior	0,65	1,35	0,21
9	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta	0,80	1,67	0,11
10	Raio convexo e contorno côncavo	Meia encosta	0,64	1,12	0,31
11	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta	0,72	1,82	0,06
12	Raio convexo e contorno convexo	Topo	0,85	2,14	0,12

Nas condições do estudo, os valores esperados para a taxa de infiltração de água, na área entre terraços, provavelmente serão próximos aos valores encontrados em área com cana-de-açúcar e colheita mecanizada, em Latossolo Vermelho de textura média, nos quais foram encontrados valores mínimos de 13 mm h^{-1} , e valores máximos de 50 mm h^{-1} em áreas com colheita de cana crua (Tomasini et al., 2010). A determinação da taxa de infiltração da régua 01 foi de $0,79 \text{ mm h}^{-1}$, em média de todas as determinações. Mesmo considerando a mais alta taxa registrada, de $1,83 \text{ mm h}^{-1}$, a seção do terraço não seria suficiente para suportar a quantidade de chuva que precipitou nos meses mais chuvosos, pois nessa taxa de infiltração o terraço suporta apenas chuvas menores que 44 mm em 24 horas, isso se a seção estiver totalmente desocupada no período considerado, o que não ocorreu, exceto no final do período chuvoso. Os dados obtidos em campo confirmam as incertezas do sistema de infiltração, pois os dados de chuvas diárias mostram que o terraço transbordou com chuvas acima de 60 mm em 24 horas (Figura 44).

Figura 44. Transbordamento (falha hidráulica representada pelas setas vermelhas) em chuvas acima de 60 mm em 24 horas

Figura 45. Régua 01: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

Os valores de evaporação na lâmina de água no canal do terraço foram estimados para 6 mm dia^{-1} ($0,25 \text{ mm h}^{-1}$) (ESALQ, 2016). Os valores de infiltração de água no canal do terraço foram calculados pela leitura da altura da lâmina através das réguas, subtraindo a evaporação média diária ocorrida na região no mesmo período.

O valor médio da infiltração de água no canal do terraço foi de $0,79 \text{ mm h}^{-1}$, o valor máximo foi de $1,83 \text{ mm h}^{-1}$, e o valor mínimo foi de $0,17 \text{ mm h}^{-1}$. Os valores encontrados indicam que a taxa de infiltração de água encontrada no canal do terraço, mesmo utilizando o valor máximo, é insuficiente para manter o sistema funcionando como previsto na adoção da prática (Figura 45).

Apesar da ocorrência de eventos de precipitação sequenciais, com mais de 90 mm acumulados nos 6 dias considerados, por dez vezes durante o período, em apenas duas vezes os terraços falharam. As razões que explicam o fato, provavelmente estão ligadas à intensidade mais elevada das chuvas nesses dois eventos de falhas, uma vez que os dados de pluviômetros ou dados de chuvas diárias, como os que foram utilizados no estudo, não permitem a obtenção da intensidade da chuva, apenas o volume acumulado.

O movimento da lâmina descendente foi considerado como infiltração de água no canal do terraço, quando a boia tinha movimento descendente, indicando que a água estava infiltrando e evaporando, ou seja, o volume de

água armazenado diminuía. Nos registros nos quais a boia mostrou movimento ascendente, este foi considerado como represamento ou ascensão da lâmina, indicando que o terraço recebeu enxurrada e o volume armazenado aumentou.

Durante o período de avaliação foi possível observar a seção do terraço ocupada com água de eventos anteriores em todas as visitas feitas para leitura das réguas, variando em função da quantidade de chuva acumulada. A ocupação da seção do terraço foi comprometida em todos os eventos de precipitação e o terraço só esvaziou no final do período de medição, no dia 04/04/2016 (Figura 47). A cobertura do solo na área de contribuição do terraço da régua 01 foi, predominantemente, cana-de-açúcar de 7 a 11 meses de crescimento após o corte, proporcionando proteção total do solo durante todo o período de avaliação. A variação da lâmina representa a taxa de infiltração de água no canal do terraço, quando o valor é positivo, e quando o valor é negativo, foi considerado como taxa de represamento de água, em função da enxurrada produzida pela chuva.

Régua 02 Município de São Pedro – SP

A régua 02 foi monitorada de 18/12/2015 a 23/03/2016, através de 10 medições da altura da lâmina, com intervalo entre as medições, em média, de 9 dias. A régua 02 foi implantada em área com cultura da cana energia, utilizada na produção de energia elétrica. No início do estudo, a área já apresentava 100 % de cobertura com a cultura, com o tempo a massa vegetativa só aumentou e o solo permaneceu coberto e protegido da chuva durante todo o período de avaliação (Tabela 19).

Tabela 19. Período de leitura da régua 02, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	18-Dec-15	0
1	30-Dec-15	12
2	4-Jan-16	5
3	12-Jan-16	8
4	15-Jan-16	3
5	22-Jan-16	7
6	29-Jan-16	7
7	2-Mar-16	33
8	9-Mar-16	7
9	22-Mar-16	13
10	29-Mar-16	7

Foi determinada a sequência que explica de maneira satisfatória a relação entre altura de lâmina no canal do terraço, e a chuva acumulada de eventos anteriores, que no caso da régua 02 foi de 8 dias acumulados (Figura 46).

Figura 46. Régua 02: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

A área está sobre um Neossolo Quartzarênico órtico típico, com histórico de erosão em ravinas e voçorocas, e com raspagens corretivas sucessivas, ao longo dos anos. A taxa de infiltração da água no canal do terraço foi, em média, de $0,87 \text{ mm h}^{-1}$ com valor máximo de $1,73 \text{ mm h}^{-1}$, e valor mínimo de $0,26 \text{ mm h}^{-1}$, demonstrando elevada variação nos dados obtidos (Figura 47).

Figura 47. Parâmetros de leitura e altura de lâmina, infiltração e represamento de água no canal do terraço: Régua 02

É possível observar um valor de R^2 igual a 0,43, aos 8 dias de acúmulo, e o valor máximo de 0,77 aos 22 dias de chuva acumulada. Devido a relação entre as observações de campo, nas quais foi possível perceber falhas hidráulicas dos terraços na região estudada após chuvas sequenciais de 5 a 10 dias, optou-se em utilizar os dados de chuvas acumuladas de 8 dias, ao invés de utilizar os valores que apresentaram o maior coeficiente R^2 , no caso dessa régua, aos 22 dias. Dessa forma os resultados podem ser utilizados na previsão de falhas em sistemas de infiltração.

Os resultados das análises estatísticas mostraram que a altura de lâmina no canal do terraço e a chuva do radar tiveram melhor ajuste com os dados da chuva acumulada de 8 dias, correlação considerada satisfatória para explicar a variação da lâmina (Figura 48).

Figura 48. Régua 02: Ocupação da seção do terraço em função da chuva acumulada de 8 dias

A relação entre a ocupação do terraço (altura de lâmina) em porcentagem, e a chuva de 8 dias acumulados em mm, apresentada na Figura 48 explicou, em parte, a ocupação da seção do terraço ao longo do estudo. Não houve a falha do terraço durante o período, mesmo quando ocorreu chuva acumulada de 8 dias de 121,5 mm. As características favoráveis à infiltração da água no solo, esperadas para as condições deste terraço, tais como, solo Neossolo Quartzarênico, terraço instalado no topo do relevo, distante do talvegue, e por isso, com pequeno acúmulo de fluxo e pequena área de captação, com a rampa curta e a infiltração acentuada, foram suficientes para evitar as falhas do terraço. Entretanto, a ocupação do terraço por longos períodos, e a marca de 85 % de ocupação após chuva de 121,5 mm em 8 dias, pode ser explicada pela contribuição de água da estrada que produz enxurrada a montante do ponto estudado (Figura 49).

Figura 49. Contribuição de enxurrada da estrada no canal do terraço de infiltração, relativo à régua 02

A evolução da cobertura vegetal que agiu na proteção do solo, contra o efeito da energia das gotas de chuvas, pode ser observada na Figura 50.

Figura 50. Régua 02: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

A variação da altura da lâmina e altura do clip, com a linha de altura máxima da lâmina, que representa a seção do terraço, é apresentada na Figura 50, que mostra a seção ocupada com enxurrada acumulada durante todo o período estudado. Nesse ponto do relevo, o terraço não transbordou, pelas razões inerentes às condições específicas do ponto amostrado, entretanto, no restante da área, em pontos que não foram estudados, a falha dos terraços causou erosão em voçorocas (Figura 51).

Figura 51. Várias falhas dos terraços de infiltração, em pontos na mesma área em que a régua 02 foi instalada

Régua 03 Município de Rios das Pedras – SP

A régua 03 foi monitorada de 05/01/2016 a 27/02/2016, através de 7 leituras da altura da lâmina abaixo da boia. O intervalo entre as medições foi em média de 8 dias (Tabela 20).

Tabela 20. Período de leitura da régua, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	5-Jan-16	0
1	9-Jan-16	4
2	12-Jan-16	3
3	17-Jan-16	5
4	25-Jan-16	8
5	15-Feb-16	21
6	27-Feb-16	12

A área de contribuição entre terraços, na qual a régua 03 foi instalada, ficou sem cobertura durante todo o período de avaliação. O solo já estava exposto no início dos trabalhos, e foi submetido à gradagem e subsolagem para aguardar o plantio, que ocorreu no início de fevereiro. O solo é um latossolo vermelho de textura argilosa, que apresenta risco muito baixo de erosão, pois além da textura favorável, ocorre em relevo suave no terço final da rampa de declive. A área foi preparada com mobilização do solo de forma intensa, em uma época de alta probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, provavelmente pelas características de risco baixo de erosão laminar

devido à forte agregação inerente ao solo em questão. O escoamento superficial observado durante o período de estudo, foi proveniente da estrada a montante do terraço. A relação entre contribuição de enxurrada de estradas com as falhas hidráulicas observadas nos terraços de infiltração é bastante elevada. A enxurrada gerada pelas estradas tem papel importante na dinâmica hidrológica dos sistemas de conservação do solo (Figura 52).

Figura 52. Régua 03: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

A chuva utilizada para melhor ajustar a relação entre altura de lâmina, e chuva acumulada, foi a de 8 dias. O coeficiente r^2 determinado, para a chuva de 8 dias acumulados, foi de 0,49, considerado suficiente para explicar em parte, o comportamento da lâmina no canal do terraço em relação à chuva acumulada de 8 dias, confirmando dados e observações de campo, além de ser semelhante à relação da régua 01 com chuva de 8 dias (Figura 53).

Figura 53. Régua 03: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

A taxa de infiltração de água medida no canal do terraço 03 foi, em média de $1,32 \text{ mm h}^{-1}$, com valor máximo de $2,66 \text{ mm h}^{-1}$, e valor mínimo de $0,38 \text{ mm h}^{-1}$. As taxas de infiltração encontradas para a régua 03, foram muito inferiores do que as taxas de infiltração de água no solo, entre terraços, e não foram suficientes para evitar a falha do sistema. As taxas encontradas para a régua 03 foram superiores a todas as outras régua do experimento, mais alta que o Neossolo Quartzarênico e Latossolo de textura média (Figura 54).

Figura 54. Leituras da régua 03: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

A régua 03 apresentou uma falha durante o período de avaliação, ocorrida com o solo preparado com grade e sem cobertura na superfície. A chuva acumulada que provocou a falha de 91,5 mm, resultado semelhante aos da régua 01, aonde o terraço falhou nas chuvas acima de 90 mm em 8 dias acumulados (Figura 55).

Figura 55. Régua 03: Ocupação da seção do terraço em função da chuva acumulada de 8 dias

A falha do terraço pode estar relacionada com enxurrada proveniente da estrada. Em trabalho com metodologia de identificação das fontes de sedimentos foram quantificadas as contribuições relativas na produção total de sedimentos em bacias hidrográficas e as estradas foram consideradas como fonte importante de sedimentos (Minella, et al., 2007) (Figura 56).

Figura 56. Falha hidráulica do terraço monitorado pela régua 03 após eventos sequenciais com precipitação acumulada de 91,5 mm

A falha do terraço 03, pode estar relacionada com a enxurrada proveniente da estrada, que posicionada ao longo do fluxo de enxurrada, no sentido morro abaixo, contribui para o escoamento da enxurrada ao lado das estradas, demonstrado pela imagem de satélite do Google Earth, do ano de 2013 (Figura 57).

Figura 57. Imagem do Google Earth de 2013 mostrando a erosão causada pela enxurrada proveniente da estrada na área onde está instalada a régua 03

A enxurrada gerada nas estradas, normalmente, não é considerada no dimensionamento hidrológico e hidráulico, em sistemas de terraceamento de infiltração. Apesar de não considerada, a enxurrada das estradas tem enorme contribuição na ocupação do canal de terraços de infiltração. Nesse estudo, os resultados evidenciaram esse fato, confirmando as observações de campo.

Para o correto dimensionamento de terraços de infiltração, a contribuição da enxurrada das estradas deve ser considerada no cálculo, entretanto, provavelmente, a taxa de produção de enxurrada na estrada será maior do que a taxa de infiltração no canal dos terraços, e em eventos consecutivos, os riscos de falha passam a ser muito elevados. Se ainda for considerada a incerteza de ocupação da seção do terraço, com água de eventos anteriores, o sistema se torna inviável, com risco de falha próxima a 100 %, quando ocorrem precipitações acima de 90 mm nas condições em que a área se encontrava no experimento.

Os conceitos envolvidos no cálculo de espaçamento entre terraços, no dimensionamento da seção do canal do terraço, devem ser revistos e as variáveis relacionadas às estradas devem ser incluídas. Mesmo que sejam incluídas as variáveis das estradas, permanece a incerteza de ocupação do canal no momento da chuva. Por isso o sistema de terraços de infiltração para interceptar a enxurrada da estrada se torna muito arriscado e os sistemas de drenagem, com canais escoadouros vegetados para essa finalidade são mais recomendados. É possível observar em várias partes do mundo, como Austrália, EUA e Europa, as estradas rurais com faixas paralelas vegetadas, com função de drenagem, ao invés de terraços ou caixas de retenção, muito comuns no Brasil.

Régua 04 Município de Capivari – SP

A régua 04 foi monitorada de 12/12/2015 a 09/04/2016, através de 13 medições da altura da lâmina. O intervalo entre as medições foi em média de 9 dias (Tabela 21).

Tabela 21. Período de leitura da régua, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	12-Dec-15	0
1	14-Dec-15	2
2	19-Dec-15	5
3	23-Dec-15	4
4	28-Dec-15	5
5	5-Jan-16	8
6	9-Jan-16	4
7	17-Jan-16	8
8	25-Jan-16	8
9	15-Feb-16	21
10	27-Feb-16	12
11	24-Mar-16	26
12	9-Apr-16	16

A área em que a régua 04 foi instalada, permaneceu em pousio grande parte do período. No início, na área entre terraços, o solo já apresentava cobertura abundante. No período inicial, não foi observada ocupação de água no canal, apenas a indicação que houve represamento através do clip, que demonstra taxa de infiltração mais elevada que outros terraços que permaneceram ocupados todo o período de estudo. A cobertura do solo aumentou com o tempo, pois a vegetação espontânea se desenvolveu rapidamente no solo com alta disponibilidade de nutrientes e água, como no caso dos nitossolos. No final de janeiro a cobertura da área era de 100 % com vegetação exuberante. Apesar do aumento das precipitações no início de fevereiro com a área ainda coberta, a enxurrada formada não foi suficiente para ocupar a seção do canal do terraço. No momento em que o solo foi preparado, na segunda quinzena de fevereiro, as chuvas produziram enxurrada suficiente para ocupar em até 48 % da seção do terraço, no mesmo Nitossolo.

Em Nitossolos típicos derivado de diabásio, a expectativa de ocorrência de erosão é baixa, pela experiência adquirida, e por isto, a área é considerada de baixo risco de erosão e o planejamento permite o preparo intenso do solo em épocas de alto risco de chuva intensas. Da mesma forma, a época de plantio destes solos acompanha o risco de preparo, entretanto, a formação de enxurrada em solos descobertos é suficiente para causar erosão, mesmos nas melhores condições edafoclimáticas encontradas.

Os dados de chuva corrigida do radar, com as várias sequências de chuvas acumuladas, foram tratados através da regressão pelos mínimos quadrados, e revelou que a sequência que melhor se ajusta aos dados de altura de lâmina desta régua foi de 5 dias (Figura 58).

Figura 58. Régua 04: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

Devido à dificuldade de monitorar a altura da lâmina, em função da falta de represamento de água no canal do terraço, os dados não apresentaram boa correlação com as observações de campo e com os dados das outras régua, que tiveram melhor ajuste com os dados de 8 dias em média (Figura 59).

Figura 59. Régua 04: Ocupação da seção do terraço em função da chuva acumulada de 5 dias

O deslocamento das curvas no gráfico da Figura 60 demonstra que a chuva aumentou em fevereiro, mas a enxurrada só aumentou quando a cobertura foi retirada pelo preparo. A sequência de chuva de 5 dias acumulados foi escolhida para ajudar na interpretação do comportamento da enxurrada na régua 04, pois os ajustes com maiores valores de r^2 foram encontrados em 40 dias ou mais, deixando os dados muito distantes da realidade de planejamento e dimensionamento dos sistemas de conservação.

Figura 60. Régua 04: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

A taxa de infiltração no canal do terraço não pôde ser calculada devido a inexistência de represamento nas ocasiões das leituras, inviabilizando a medida da taxa. A avaliação da régua 04 demonstrou que, apesar do manejo do solo ter sido realizado com preparo intenso, em época de alto risco de chuvas intensas, a erosão observada na área foi insignificante. Os terraços na área tiveram função hidráulica incipiente, importante apenas para interceptar a enxurrada gerada na estrada acima do terraço, sendo que na área agrícola a enxurrada não foi detectada (Figura 61).

Figura 61. Leituras da régua 04: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

Régua 05 Município de Rafard – SP

A régua 05 foi monitorada de 12/12/2015 a 09/04/2016, através de 13 medições de altura da lâmina de água abaixo da boia. O intervalo entre as medições foi em média de 9 dias (Tabela 22).

Tabela 22. Período de leitura da régua, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	12-Dec-15	0
1	14-Dec-15	2
2	19-Dec-15	5
3	23-Dec-15	4
4	28-Dec-15	5
5	5-Jan-16	8
6	9-Jan-16	4
7	17-Jan-16	8
8	25-Jan-16	8
9	15-Feb-16	21
10	27-Feb-16	12
11	24-Mar-16	26
12	9-Apr-16	16

Como ocorreu com a régua 01, durante o período de avaliação, na maioria das vezes em que a régua foi visitada, foi possível observar a seção do terraço ocupada com água de eventos anteriores, comprometendo a seção do terraço, em todos os eventos de precipitação monitorados. Apenas na última avaliação, no dia 09/04/2016, o terraço estava vazio.

Os dados das sequências de chuvas acumuladas para a régua 05 foram tratados pela metodologia dos mínimos quadrados. Os resultados demonstraram que, a relação satisfatória, entre a altura de lâmina e chuva acumulada, foi encontrada com a chuva de 8 dias acumulados, com valor de r^2 igual a 0,21 (Figura 62).

Figura 62. Régua 05: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

A régua 05 foi instalada sobre um Cambissolo Háplico, textura argilosa, com argila de atividade baixa e imperfeitamente drenado. As condições do solo exigem que o sistema de conservação seja obrigatoriamente de drenagem, uma vez que a drenagem imperfeita inviabiliza o sistema de infiltração. Talvez, por causa disso, o terraço apresentou tantas falhas durante o período de avaliação. Durante o período estudado, em três oportunidades, foram encontraram evidências de falhas (Figura 63).

A taxa de infiltração de água no canal do terraço foi, em média de $0,83 \text{ mm h}^{-1}$, valor máximo foi de $1,46 \text{ mm h}^{-1}$, e valor mínimo de $0,21 \text{ mm h}^{-1}$. A variação encontrada entre as leituras foi elevada, o que está de acordo com os resultados de Sanchez et al. (2009) e Castro (2001) no entanto, os valores absolutos foram semelhantes aos encontrados pelos autores citados e pelas outras régua em condições semelhantes de solos, como as 8, 9, 10, 11 e 12.

Além disso, os valores baixos de infiltração no canal do terraço da régua 05, apesar de não terem sido os menores valores encontrados no experimento, estão relacionados com características de geomorfologia e as relações de solo paisagem. As características do relevo, com raio e contorno côncavos, apesar da posição de topo, em

Cambissolo de drenagem imperfeita, provavelmente, contribuíram para a constatação da maior ocupação do canal do terraço pelo período mais longos em todas as régua estudadas, e ainda devem ter sido responsáveis pelas três falhas verificadas.

Figura 63. Régua 05: Ocupação da seção do terraço em função da chuva acumulada de 8 dias

A ocupação da seção do terraço por longos períodos é consequência da pequena taxa de infiltração encontrada, e da grande formação de enxurrada destes solos. A variação da altura de lâmina no canal do terraço está representada na Figura 63, e deixa claro a insuficiência do sistema de infiltração, em armazenar e infiltrar enxurrada nessas condições de solo e relevo.

A régua 05 apresentou o maior número de falhas de todas as régua avaliadas e ainda a maior ocupação da seção do terraço ao longo do período estudado. O solo em que a régua foi instalada é sem dúvida, o mais restritivo em relação à infiltração e profundidade, pois se trata de um Cambissolo (Figura 64).

Nestas condições, o sistema de conservação do solo recomendado é o de drenagem da enxurrada através da interceptação em terraços de drenagem ou em linhas de plantio com declividade controlada, como no sistema de escoamento superficial difuso (Mazza et al., 2017), com destino da enxurrada para canais escoadouros vegetados, construídos e preparados para essa função.

Figura 64. Leituras da régua 05: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

O clip dessa régua não funcionou como esperado, em virtude de uma espécie de vandalismo científico, pois moradores da vila próxima ao ponto de instalação da régua, encontravam motivação para alterar a altura do clip várias vezes, provavelmente de forma recreativa. Houve até uma ocasião em que a régua foi retirada do terraço e instalada dentro do talhão, que foi realocada no local original.

Os resultados dessa régua evidenciam que a prática de terraceamento de infiltração, com as recomendações simplificadas e generalizadas para qualquer tipo de condição de solo e manejo, e ainda sem dimensionamento hidrológico e hidráulico, não apresenta bons resultados de eficiência em condições de solos com alto risco de erosão, sendo que a necessidade de utilização de sistemas de drenagem, para estas condições de solo e manejo, ficam claramente evidenciadas (Figura 65).

Figura 65. Falha hidráulica régua 05 em 23/12/2015

O solo da área apresenta restrições severas de permeabilidade e profundidade, resultando em ocupação do canal do terraço por longos períodos, com criação de peixes no canal dos terraços e a presença de aves pescadoras, percebida em todas as visitas de campo, exceto quando o terraço secou, no início de abril de 2016 (Figura 66).

Figura 66. O encontro com garças pescando no canal dos terraços foi muito frequente

A evolução da cobertura do solo durante o período de estudo, influenciou muito pouco a quantidade de enxurrada interceptada pelo terraço. A cobertura aumentou no período, porém a enxurrada também, e as falhas ocorreram independentes da quantidade de cobertura (Figura 67).

Figura 67. Rgua 05: Registros fotogrficos da evoluo da cobertura do solo no entorno do terrao

Rgua 06 Municpio de Rafard – SP

A rgua 06 foi monitorada de 23/12/2015 a 09/04/2016, atravs de 13 medies de altura da lâmina. O intervalo entre as medies foi, em mdia, de 9 dias (Tabela 23).

Tabela 23. Perodo de leitura da rgua, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	23-Dec-15	0
1	28-Dec-15	5
2	5-Jan-16	8
3	9-Jan-16	4
4	17-Jan-16	8
5	25-Jan-16	8
6	15-Feb-16	21
7	27-Feb-16	12
8	24-Mar-16	26
9	9-Apr-16	16

A régua 06 foi instalada em terraço embutido, sobre um Latossolo Vermelho Típico argiloso, cuja área entre terraços ficou coberta com a palha da soqueira, até o final de janeiro. O preparo do solo foi realizado com grade aradora, grade intermediária e subsolagem. A área ficou sem cobertura do solo, aguardando o plantio que ocorreu no início de março. Após o plantio, até o final do período de avaliação, a área permaneceu sem cobertura, pois a cana não teve tempo de crescimento suficiente para cobrir o solo. Apesar da falta de cobertura, durante o período com chuvas mais intensas, não foi observada ocupação da seção do terraço em nenhuma das medições de campo. A leitura do clip demonstrou que uma quantidade muito pequena de enxurrada foi interceptada pelo terraço, em três eventos de precipitação, porém sem represamento que permitisse a medição da variação da lâmina e a determinação da taxa de infiltração desse terraço.

Figura 68. Régua 06: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

Os dados de chuvas acumuladas foram tratados pela metodologia dos mínimos quadrados, e os resultados mostraram que há uma correlação satisfatória para a sequência de 2 dias, com valor de 0,20. As relações entre os dados de chuva acumulada e altura de lâmina desta régua, foram cíclicas nas sequências menores com picos de valores em torno de 0,05 de R^2 , e com as chuvas de 34 dias em diante tiveram uma distribuição normal dos dados. A explicação provável para esse fato é a ausência de armazenamento de água no canal do terraço, demonstrando pequena produção de enxurrada pela área, e dificultando a determinação de taxa de infiltração de água no canal do terraço (Figura 68).

Figura 69. Régua 06: Ocupação da seção do terraço em função da chuva acumulada de 2 dias

Não foi possível determinar a taxa de infiltração de água no canal do terraço da régua 06 devido à ausência de represamento de água em todo o período de medição (Figura 69 e Figura 70).

Figura 70. Leituras da régua 06: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

Os resultados das medidas de altura do clip evidenciaram que houve represamento no canal do terraço, porém, provavelmente, devido a uma taxa de infiltração mais elevada, associada aos solos vermelhos em relevos de raios e contornos côncavos, com declividades baixas, explicando em parte, as razões de não terem sido presenciados represamentos de água nos canais dos terraços em nenhuma das visitas efetuadas ().

Figura 71. Régua 06: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

Régua 07 Município de Capivari – SP

A régua 07 foi monitorada de 14/12/2015 a 09/04/2016, através de 12 medições de altura da lâmina de água abaixo da boia. O intervalo entre as medições foi em média de 10 dias (Tabela 24).

Tabela 24. Período de leitura da régua, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	14-Dec-15	0
1	19-Dec-15	5
2	23-Dec-15	4
3	28-Dec-15	5
4	5-Jan-16	8
5	9-Jan-16	4
6	17-Jan-16	8
7	25-Jan-16	8
8	15-Feb-16	21
9	27-Feb-16	12
10	24-Mar-16	26
11	9-Apr-16	16

A régua 07 foi instalada em Latossolo Vermelho Típico, de textura muito argilosa, em um terraço embutido com seção superdimensionada. A combinação de vários fatores como solo, relevo, cobertura permanente do solo durante o período estudado, e ainda o superdimensionamento da seção, foi decisiva na ausência de represamento de

enxurrada no canal do terraço. Este terraço apresentou a menor taxa de ocupação entre os terraços avaliados. A enxurrada interceptada em apenas dois eventos, provavelmente foi proveniente somente da estrada próxima ao terraço, pois não foi encontrada, nenhuma evidência de escoamento entre os terraços (Figura 72).

Figura 72. Régua 07: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

A seção calculada para as condições locais foi de $2,65 \text{ m}^2$, e a seção construída é de $7,88 \text{ m}^2$. O espaçamento vertical calculado entre terraços foi de $0,86 \text{ m}$, entretanto, no campo, a distância encontrada foi de 5 m . Práticas de conservação do solo, implantadas de forma simplificada, adotadas isoladamente, sem dimensionamento hidrológico e hidráulico, se tornam parte do problema ao invés da solução. A adoção de sistemas inadequados, que causam danos ao solo e geram custos desnecessários deve ser evitada, com argumentos ambientais, sociais e econômicos.

Figura 73. Régua 07: Ocupação da seção do terraço em função da chuva acumulada de 8 dias

A sequência de chuva que se ajustou com os dados de altura de lâmina da régua 07 foi o de 8 dias de acúmulo. Com coeficiente de determinação R^2 de 0,32, considerado valor médio para as condições do ensaio (Figura 73 e Figura 74).

Figura 74. Leituras da régua 07: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

A cobertura do solo durante o período de avaliação proporcionou proteção completa contra a energia das gotas de chuva nas partículas do solo (Figura 75).

Figura 75. Régua 07: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

Régua 08 - 09 - 10 Município de Porto Feliz - SP

As régua 08, 09 e 10 foram monitoradas de 14/12/2015 a 09/04/2016, através de 12 medições de altura da lâmina. O intervalo entre as medições foi em média de 9 dias (Tabela 25).

Tabela 25. Período de leitura das réguas, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	12-Dec-15	0
1	14-Dec-15	2
2	19-Dec-15	5
3	23-Dec-15	4
4	28-Dec-15	5
5	5-Jan-16	8
6	9-Jan-16	4
7	17-Jan-16	8
8	25-Jan-16	8
9	15-Feb-16	21
10	27-Feb-16	12
11	24-Mar-16	26
12	9-Apr-16	16

As três réguas foram instaladas em um mesmo terraço e monitoradas nas mesmas visitas, por isso apresentaram evolução semelhante na cobertura do solo. No início dos trabalhos o solo estava em pousio, com vegetação espontânea em fase inicial de crescimento. Em 12/12/2015 a cobertura do solo era ainda deficiente para proteger o solo da energia da gota de chuva. Em 05/01/2016 a área já tinha 100 % de cobertura com vegetação espontânea. No início de fevereiro a área foi dessecada com herbicida para aguardar o preparo e plantio, que ocorreram simultaneamente em início de abril.

A área entre terraços apresentou cobertura satisfatória para proteger o solo durante o período estudado, entretanto houve uma falha hidráulica no terraço, que causou erosão em sulcos grandes e ravinas. Não foi possível detectar erosão laminar na área durante o estudo, talvez devido à cobertura protetora do solo, que permaneceu até o final do experimento.

As análises de regressão pelo método dos mínimos quadrados, determinaram para R^2 o valor de 0,22 para a sequência de chuva de 7 dias acumulados para a régua 08, valor abaixo da média das outras réguas, porém ainda com correlação satisfatória com a altura da lâmina em comparação com as outras sequências de chuvas acumuladas para esta régua. Para as réguas 09 e 10 foram encontradas valores adequados de chuvas acumuladas de 8 dias, que apresentaram maior correlação com a altura de lâmina destas réguas (Figura 76 e Figura 77 e Figura 78).

Figura 76. Régua 08: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

Figura 77. Régua 09: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

Figura 78. Régua 10: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

Foi encontrada uma correlação entre as taxas de infiltração e a forma e posição do relevo. A relação solo paisagem, nesse caso mais relacionada à paisagem ou ao relevo, mostrou que para um mesmo tipo de solo, a taxa de infiltração pode ser maior para formas distintas, como no caso da régua 09, que apresentou uma taxa média maior que as outras régua instaladas no mesmo terraço, com a diferença na forma do relevo, com raio e contornos convexos, que proporcionam menos acúmulo de enxurrada e, provavelmente maior taxa de infiltração do solo no canal do terraço (Figura 81).

Tabela 26. Taxa de infiltração, forma e posição no relevo das régua 8, 9 e 10

Régua	Forma do relevo	Posição no relevo	Taxa de Infiltração (mm h ⁻¹)		
			Média	Máximo	Mínimo
8	Raio convexo e contorno côncavo	Encosta inferior	0,65	1,35	0,21
9	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta	0,80	1,67	0,11
10	Raio convexo e contorno côncavo	Meia encosta	0,64	1,12	0,31

Figura 79. Falha hidráulica causando erosão em ravinas

As réguas foram instaladas em um terraço sobre Argissolo Vermelho Amarelo Típico, de textura arenosa/média, em relevo forte ondulado, com drenagem moderada. Os resultados da régua 08 foram semelhantes aos encontrados na régua 05, que estava em Cambissolo imperfeitamente drenado. A taxa de infiltração de água no canal do terraço 08 foi, em média de $0,65 \text{ mm h}^{-1}$, o valor máximo foi de $1,35 \text{ mm h}^{-1}$, e o valor mínimo foi de $0,21 \text{ mm h}^{-1}$ (Figura 80).

Figura 80. Leituras da régua 08: Ocupação da seção do terraço em função da chuva acumulada de 7 dias

Figura 81. Leituras da régua 08: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

No ponto da régua 08, não foi possível identificar a falha que ocorreu no terraço (Figura 82).

Figura 82. Régua 08: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

A régua 09 apresentou resultados semelhantes aos das réguas 08 e 10. A falha do terraço, no qual as três réguas foram instaladas, foi observada apenas na régua 09 (Figura 83).

Figura 83. Ocupação da seção do ponto em que a régua 09 foi instalada no terraço, em função da chuva acumulada de 8 dias

O comportamento da lâmina de água nas três régua deveria ser muito semelhante, pois as régua foram instaladas no mesmo terraço com distâncias pequenas entre taxas de infiltração e a chuva acumulada em 8 dias foi praticamente a mesma (Figura 84).

Figura 84. Leituras da régua 09: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

A estagnação da água no canal do terraço, e a permanência de uma lâmina de água por longos períodos, como o observado nos resultados do monitoramento da régua 08, cria condições de sobrevivência de pequenos peixes e outros organismos aquáticos que servem de alimento para aves, muito comuns em terraços de infiltração (Figura 85).

Figura 85. Foto de garça que, provavelmente, complementa sua dieta com peixes que vivem no canal dos terraços

Figura 86. Régua 09: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

Figura 87. Ocupação da seção do ponto em que a régua 10 foi instalada em função da chuva acumulada de 8 dias

Figura 88. Leituras da régua 10: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

Figura 89. Rêgua 10: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

Réguas 11 e 12 Município de Porto Feliz – SP

As réguas 11 e 12 foram implantadas em terraços muito próximos, com condições muito semelhantes de solos e por isso monitoradas juntas. Ambas estão em Argissolo Vermelho Amarelo Típico, de textura média/argilosa, com gradiente textural acentuado, não sendo considerado abrupto. A posição no relevo da régua 11, na meia encosta, difere da régua 12 que está no topo. O intervalo médio entre as leituras foi de 9 dias (

Tabela 27).

Tabela 27. Período de leitura da régua, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	12-Dec-15	0
1	14-Dec-15	2
2	19-Dec-15	5
3	23-Dec-15	4
4	28-Dec-15	5
5	5-Jan-16	8
6	9-Jan-16	4
7	17-Jan-16	8
8	25-Jan-16	8
9	15-Feb-16	21
10	27-Feb-16	12
11	24-Mar-16	26
12	9-Apr-16	16

As seqüências de dados de chuva acumulada que melhor se relacionaram com a altura de lâmina das régua foi a de 2 dias para a régua 11 e de 8 dias para a régua 12 (Figura 90).

Figura 90. Régua 11: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

A relação entre a altura de lâmina e chuva no caso da régua 11 não demonstrou valores elevados de r^2 , entretanto foram suficientes para demonstrar o comportamento da altura de lâmina no canal do terraço. Esta régua não apresentou grande armazenamento de enxurrada, provavelmente por receber a menor produção de enxurrada de estradas ente todas as régua estudadas. Havia um desvio da enxurrada da estrada mais próxima, para dentro do mesmo terraço, porém do outro lado da estrada, o que evitou a entrada da água no canal do terraço do lado em que a

régua estava instalada, contrariando as expectativas de ocupação elevada da seção, ou até mesmo a falha, devido às condições de solo e paisagem evitando falhas (Figura 102).

Figura 91. Ocupação da seção do terraço da régua 11 em função da chuva acumulada de 2 dias

As taxas de infiltração encontradas nestes terraços foram distintas. A régua 12, posicionada na meia encosta apresentou uma taxa de infiltração maior que a régua 11, que estava na meia encosta (Tabela 28).

Tabela 28. Taxas de infiltração de água nos canais dos terraços das régua 11 e 12.

Régua	Forma do relevo	Posição no relevo	Taxa de Infiltração (mm h ⁻¹)		
			Média	Máximo	Mínimo
11	Raio convexo e contorno convexo	Meia encosta	0,72	1,82	0,06
12	Raio convexo e contorno convexo	Topo	0,85	2,14	0,12

Figura 92. Leituras da régua 11: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

Tabela 29. Período de leitura da régua, data e intervalo entre as leituras

Período	Data	Intervalo (dias)
0	5-Jan-16	0
1	9-Jan-16	4
2	17-Jan-16	8
3	25-Jan-16	8
4	15-Feb-16	21
5	27-Feb-16	12
6	24-Mar-16	26
7	9-Apr-16	16

Figura 93. Régua 12: Regressão pelo método dos mínimos quadrados para chuva de 1 a 61 dias acumulados

Figura 94. Régua 11: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

Figura 95. Ocupação da seção do terraço da régua 12 em função da chuva acumulada de 8 dias

Figura 96. Leituras da régua 12: Variação da altura da lâmina, com a seção representada entre as linhas de altura máxima e mínima

Figura 97. Régua 12: Registros fotográficos da evolução da cobertura do solo no entorno do terraço

3.4 Considerações Finais

A pesquisa em conservação do solo no Brasil, nas últimas décadas, teve contribuição incipiente na atualização das recomendações de práticas conservacionistas adotadas na cultura da cana-de-açúcar, e não acompanharam as mudanças tecnológicas ocorridas nos últimos anos. As práticas recomendadas e adotadas de maneira generalizada estão fundamentadas em sistemas de infiltração exclusivamente.

Os sistemas conservacionistas utilizados no Brasil são via de regra simplificados, com generalização de uso de terraços de infiltração implantados com espaçamentos verticais aumentados e seções reduzidas, com objetivo de aumentar rendimento operacional de máquinas que não atendem ao papel de conservar o solo (controlar erosão) e em casos não raros, a presença do sistema sem projeto produz mais erosão do que ausência dele, decorrente das falhas hidráulicas que estão associadas a grandes quantidades de energia acumulada nas enxurradas, resultando no transbordamento dos terraços.

Projetos de conservação de solos que integram práticas de controle de erosão e de enxurrada com dimensionamento hidrológico e hidráulico adequados para condições locais, necessitam ser elaborados para resolver os problemas de erosão.

Referências

BARRETTO, A. G. O. P., BARROS, M. G. E. E SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, 2008.

BASSAN, J. M.; MARTINS, J. E. M. P.; SUGAHARA, S.; SILVEIRA, R. B. Application of weather radar CAPPI data to verify NWP rainfall accumulation data. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v 127, p. 725-743, 2015.

BERTOLINI, D.; GALETI, P.A.; DRUGOWICH, M.I. Tipos e Formas de Terraços. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. **Anais do Simpósio sobre Terraceamento Agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, 1989, p. 266.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinados em função das predas por erosão. **Bragantia**, v. 18, n. 10, p. 113-140, 1959.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ícone, 9ª ed., 2014. 355p.

BERTONI, J.; BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. **Catena**, v. 68, p. 73-86, 2006.

BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B. Erosão entre Sulcos em Diferentes Condições de Cobertura de Solo, Sob Cultivo de Cana-de-Açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 565-576, 2006.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. **Catena**, v. 68, p. 73-8, 2006.

BORGES, L. C. V.; COSTA C. V.; SÁ, L. F. Terraceamento na Região Centro-Oeste. **Simpósio sobre terraceamento agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, p. 11-22, 1989.

CASTRO, L. G. **Dinâmica da água em Terraços de Infiltração**. 2001. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

CARDOSO, M.C.S.; GARCIA, A. R.; SILVA, E.; FONTES, A. M. C. Comparação de Taxas de Erosão em Estradas Florestais Estimadas Pelo Modelo Wepp (Water Erosion Prediction Project) Modificado em Relação a Medições Experimentais, **Revista da Árvore**, Viçosa, v. 34, p.351-357, 2012.

CAVIGLIONE, J. H. Espaçamento entre Terraços em Plantio Direto.. **IAPAR - Boletim Técnico**, v. 71. Londrina, 2010.

CRUCIANE, D. E. Dimensionamento de Sistemas de Drenagem Superficial e Terraços com Bases nas Características Hidrológicas Locais. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI Jr., R. **Anais do Simpósio sobre Terraceamento Agrícola**, Campinas, p. 26-54, 1989.

DE MARIA, I. C.; DRUGOWICH, M. I.; BORTOLETTI, J. O.; VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; FONTES, J. L.; TCACHENCO, J.; MARGATHO, S. M. F. Recomendações Gerais para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-Açúcar. **Boletim Técnico 216**, Campinas, 2016.

DIAMOND, J. M.: Trad. de RAPOSO, A. **Colapso**; Trad. Collapse. Segunda ed., Rio de Janeiro: Record, 2005.

DRUGOWICH, M. I. Boas Práticas em Conservação de Solo e da Água. **Manual Técnico 81**, Campinas, CATI, 2014, 38p.

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D.F.; MATOS, A.T. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando o sistema de informações geográficas. Estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 299-306, 2000.

GRIEBELER N. P.; PRUSKI, F. F.; TEIXEIRA, A. F.; SILVA, D. D. Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. **Engenharia Agrícola**. v. 25, n. 3, pp. 696-704, 2005.

LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G.; DEUSCHLE, d.; SCHNEIDER, F. J. A.; BOENI, M.; MERTEN, G. H. Impact of broad-based terraces on water and sediment losses in no-till (paired zero-order) catchments in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**.v. 18, p. 1159-1175, 2017.

MAGALHÃES, G.M.F. Análise da eficiência de terraços de retenção em sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1109-111, 2013.

MARGOLIS, E, Terraceamento na Região Nordeste do Brasil. **Simpósio sobre terraceamento agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, p. 3-10, 1989.

MASLOW, A.H. **Psychology of Science: A Reconnaissance**. Michigan, 1966. 121p.

MAZZA, A. M., FRANCO, A. P. B.; CAMPANELLI, V. P. C. Manejo e conservação do solo e da água na cultura de cana-de-açúcar com a intensificação da mecanização na região Centro-Sul do Brasil. In: **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. EMBRAPA. Brasília DF: Parte 5, Cap. 1, p. 346-343, 2017.

MIRANDA, A. C. R.; SILVA, D.P.; MELLO, E.L.; F.F., PURSKI. Assessment of Efficiency and Adequacy of Retention Terraces. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 577-586, 2012.

NEARING, M.A. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. **Catena**, v. 32, p. 15-22, 1998.

NEARING, M.A. Variability in Soil Erosion data from replicated plots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1829-1835, 1999.

NEIBLING, W. H. E THOMPSON, A. L Terrace design affects inter-terrace sheet and rill erosion. **American Society of Agricultural Engineers**. p. 1473-1481, 1992.

OLIVEIRA, J. M. Atenuação de Riscos em Sistemas de Terraceamento em Goiás. **Dissertação de mestrado**. Goiânia, GO, Brasil: s.n., 2009.

OLIVEIRA, J. R. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A.; SILVA, D. P. Comparative analysis of the performance of mixed terraces and level and graded terraces. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, p. 351-357, 2012.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, A.; P. T. S.; BICCA, D. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PAULA, A. L. T e PRUSKI, F. F. Sistema de monitoramento de infiltração da água em terraços e bacias de acumulação. **Boletim Técnico**. Viçosa: ANA/RURALMINAS/UFV, 2007.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: Revisado e ampliado. São Paulo, SP: Instituto Florestal. Vol. 1, p. 118p (inclui mapa). ISBN: 978-85-64808-16-4, 2017.

SANCHEZ, R. B., MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, p. 1095-1103, 2009.

SCHMIDT, A. V. Critérios Básicos para Estabelecimento de Sistema de Terraços. **Simpósio sobre terraceamento agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, p. 18-23, 1989.

SIDLE, R.C. Hydrogeomorphic processes and scaling issues in the continuum from soil pedons to catchments. **Earth-Science Reviews**, p. 75-96, 2017.

SPAROVEK, G.; MAULE, R.F. Técnicas de conservação do solo e da água. In: BELARDO, C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**. 1 ed.-Jaboticabal, SBEA, p. 129-147, 2015.

TOMASINI, B. A. . Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajuste de equações de infiltração. **Revista da Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 1060-1070, 2010.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**. Vol. 263, p. 616-627, 1965.

WISCHMEIER, W.H.; SIMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. **U.S. Departament of Agriculture: Agriculture Handbook**, v. 537, 1978.