



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

GELTON FERNANDO DE MORAIS

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE DIMENSIONAL NO ESTUDO DE
MÁQUINAS AGRÍCOLAS PARA MANEJO DE BIOMASSA DE
SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

**APPLICATION OF DIMENSIONAL ANALYSIS IN THE
STUDY OF AGRICULTURAL MACHINERY FOR BIOMASS
MANAGEMENT OF AGROFORESTRY SYSTEMS**

CAMPINAS

2022

GELTON FERNANDO DE MORAIS

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE DIMENSIONAL NO ESTUDO DE
MÁQUINAS AGRÍCOLAS PARA MANEJO DE BIOMASSA DE
SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de Máquinas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Albiero
Coorientador: Dr. Luiz Octávio Ramos Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
GELTON FERNANDO DE MORAIS, E ORIENTADA
PELO PROF. DR. DANIEL ALBIERO.

CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M792a Morais, Gelton Fernando de, 1988-
Aplicação de análise dimensional no estudo de máquinas agrícolas para
manejo de biomassa de sistemas agroflorestais / Gelton Fernando de Moraes. –
Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Daniel Albiero.

Coorientador: Luiz Octávio Ramos Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Agrícola.

1. Análise dimensional. 2. Mecanização agrícola. 3. Agrofloresta. 4.
Sistemas agroflorestais. 5. Capim-guine. 6. Gramínea. I. Albiero, Daniel, 1975-
II. Ramos Filho, Luiz Octávio. III. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Application of dimensional analysis in the study of agricultural
machinery for biomass management of agroforestry systems

Palavras-chave em inglês:

Dimensional analysis

Agricultural mechanization

Agroforestry

Agroforestry systems

Guinea grass

Grass

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Daniel Albiero [Orientador]

Vanilde Ferreira de Souza-Esquerdo

Ângelo Vieira dos Reis

Data de defesa: 27-10-2022

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-1915-7131>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7736326737730070>

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Gelton Fernando de Moraes**, aprovada pela Comissão Julgadora em 27 de outubro de 2022, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI

**Prof. Dr. Daniel Albiero – Presidente e Orientador
FEAGRI/UNICAMP - Campinas**

**Prof. Dr. Vanilde Ferreira de Souza-Esquerdo – Membro Titular
FEAGRI/UNICAMP - Campinas**

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

**Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis – Membro Titular
FAEM/UFPEL - Pelotas**

A Ata da defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho aos/às agricultores/as familiares que produzem o alimento que nutre todos os seres humanos. ”

“ Ofereço à minha mãe Angélica, meu pai Marcos e meu irmão Adrien, que sempre me apoiaram em todos os momentos. ”

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela existência.

A Jesus, Maria, todos os Budas, Lao-Tzé, Chico Xavier, Confúcio, Krishna, Moisés, todos os santos e todos os avatares enviados por Deus à Terra para iluminar os seres vivos.

À minha mãe Maria Angélica Facco de Morais e meu pai Marcos Aparecido de Morais, por estarem sempre presentes.

Ao meu irmão, Adrien Marcelo de Morais, pelo apoio.

À Daniela Han, pela ajuda nas coletas de dados e por todo o auxílio, carinho, paciência e companheirismo durante a escrita desta dissertação.

Ao ensino superior público gratuito e de qualidade por proporcionar mudanças na vida dos menos privilegiados.

À UNICAMP e à FEAGRI, por poder fazer parte de suas histórias.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Albiero, por todos os ensinamentos.

À Jenyffer Gomes, doutoranda da Feagri, pelo valioso suporte.

À Coordenação de Pós-Graduação, em especial à Valéria F. Altmann Ferreira, pelos esclarecimentos.

À EMBRAPA Meio Ambiente, pelo acolhimento e por possibilitar a execução do experimento.

Ao Dr. Luiz Octávio Ramos-Filho, meu coorientador, pela confiança.

Aos funcionários da Embrapa Dr. Joel Queiroga, Waldemore Moriconi e Antonio Alves de Souza e aos estagiários Leonardo Schimidt, Hugo Thiago de Souza, Fernanda Ticianelli de Castro, Tailaine Vasconcelos Rosa, Rafael Oliveira Salinas, Wagner José Villela dos Reis, Elen Regina Romo Trindade, Lucas Valentin Montezuma, Lucas Teixeira Moreira Lima, Ariel Jordi Vargas Batlle, João Gabriel de Miranda Gomes, Lúcio e Monik Monteiro de Oliveira, por toda a ajuda na implantação dos experimentos e coleta de dados.

Ao Mestre em Agroecologia e grande amigo Marcelo Xavier, pela parceria.

Ao Instituto Nova Era, Lucas Bevilaqua, Maisa Frighetto e Isaías Reis, pelo empréstimo da Colhedora de Grãos e apoio à pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

EPÍGRAFES

“Ecologia sem luta de classes é jardinagem”

(Chico Mendes)

*“Manter em pé o que resta não basta
Que alguém virá derrubar o que resta
O jeito é convencer quem devasta
A respeitar a floresta*

*Manter em pé o que resta não basta
Que a motosserra voraz faz a festa
O jeito é compreender que já basta
E replantar a floresta ...*

*... Manter em pé o que resta não basta
Já quase todo o verde se foi
Agora é hora de ser refloresta
Que o coração não destrói”*

(Gilberto Gil)

RESUMO

Esta pesquisa avalia mecanização para Sistemas Agroflorestais (SAFs) cultivados pela agricultura familiar a partir de método da “Análise Dimensional” para avaliar os dados obtidos em experimento de campo. Neste experimento, três máquinas diferentes cortaram a biomassa de capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq) produzida nas entrelinhas de SAFs e foram coletados dados sobre parâmetros pré-definidos para compreensão do fenômeno de estudo e comparação dos tratamentos. As máquinas utilizadas já existem no mercado, sendo elas: i) roçadora costal (RC); ii) roçadora rotativa montada ao trator (RRM); iii) mini colhedora de grãos (MC). Os experimentos foram realizados entre os anos de 2020 e 2022, na Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, no estado de São Paulo. O objetivo deste estudo foi avaliar a adequação de máquinas para realizar o trabalho em questão. É sabido que o mercado carece de maquinário específico para manejar os SAFs dentro de suas complexidades, fato este que faz com que os manejos realizados pela agricultura familiar sejam geralmente manuais, o que exige muito tempo, mão de obra e esforço físico. Este estudo visa contribuir para o desenvolvimento e avanço das pesquisas para a mecanização dos processos, para que seja possível otimizar o manejo de forma a reduzir o tempo de trabalho, gastos financeiros e desgaste físico. Isto possibilitará maior aderência dos/as agricultores/as para realizar a transição de sistemas convencionais para o agroflorestal, de maneira a incentivar a expansão de áreas cultivadas com sistemas sustentáveis e minimizar ou até mesmo reverter os impactos ambientais causados pela agricultura moderna. A RC é indicada para garantir a melhor vigor de rebrota, maior produção de massa seca e melhor correlação entre consumo de combustível e resposta da planta ao corte. A MC é indicada para reduzir o tempo de amontoa do capim e reduzir os custos operacionais totais, bem como para obter melhor previsibilidade financeira dos gastos com combustível e, assim como a RC, para obter maiores produções de biomassa. A RRM é indicada para reduzir o tempo de trabalho, para a obtenção da melhor correlação entre tempo de trabalho e custo de mão de obra e para obter boa previsibilidade financeira dos gastos com mão de obra. A RRM é indicada para manejos em escalas maiores pois os custos financeiros totais acabam sendo menores.

Palavras chave: análise dimensional; mecanização agroflorestal; manejo do capim-mombaça.

ABSTRACT

This research evaluates mechanization for Agroforestry Systems (SAFs) cultivated by family agriculture using the "Dimensional Analysis" method to evaluate the data obtained in a field experiment. In this experiment, three different machines cut the biomass of mombaça grass (*Megathyrsus maximus* Jacq) produced between the rows of SAFs and data were collected on pre-defined parameters to understand the phenomenon of study and compare the treatments. The machines used already exist on the market, namely: i) costal brush cutter (RC); ii) tractor mounted rotary brush cutter (RRM); iii) mini grain harvester (MC). The experiments were carried out between 2020 and 2022, at Embrapa Meio Ambiente, in Jaguariúna, in the state of São Paulo. The objective of this study was to evaluate the suitability of machines to perform the work described. It is known that the market lacks specific machinery to manage the SAFs within their complexities, a fact that makes the work performed by small-holders be generally manual, which requires much time, labour and physical effort. This study aims to contribute to the development and advancement of research for the mechanization of processes, so that it is possible to optimize the tasks in order to reduce working time, financial expenses and physical exhaustion. This will enable farmers to make the transition from conventional to agroforestry systems, in order to encourage the expansion of cultivated areas to sustainable systems and minimize or even reverse the environmental impacts caused by modern agriculture. The RC is indicated to guarantee the best regrowth vigour, greater production of dry mass and better correlation between fuel consumption and plant response to cutting. The MC is indicated to reduce the time to pile the grass and to reduce the total operational costs, as well as to obtain better financial predictability of the expenses with fuel and, like the RC, to obtain greater productions of biomass. RRM is indicated to reduce working time, to obtain the best correlation between working time and labour cost and to obtain good financial predictability of labour costs. RRM is indicated for working on larger scales because the total financial costs end up being lower.

Keywords: dimensional analysis; agroforestry mechanization; handling of mombaça grass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – a) Capim logo após o corte; b) Rebrotação; c) Perfilho novo.....	31
Figura 2 – Sítio Agroecológico da Embrapa Meio Ambiente.	39
Figura 3 – Localização do Sítio Agroecológico e da Embrapa Meio Ambiente.	40
Figura 4 – Vista aérea do modelo de SAF em questão no Sítio Agroecológico da Embrapa Meio Ambiente.....	43
Figura 5 – Sistema Agroflorestal antes do corte do capim da entrelinha.	44
Figura 6 – Sistema Agroflorestal após o corte e amontoa do capim da entrelinha.	44
Figura 7 – Informações técnicas do fabricante Yoorin.....	45
Figura 8 – Recomendação de adubação para o capim-mombaça.....	46
Figura 9 – Incorporação do fertilizante com grade.....	46
Figura 10 – (a) Roçadora costal 143R-II; (b) Lâmina de 3 pontas (direita).....	51
Figura 11 – Detalhe das facas de corte instaladas na roçadora.	52
Figura 12 – Roçadora rotativa acoplada ao sistema de três pontos do trator.	53
Figura 13 – Trator e roçadora utilizados no experimento.	53
Figura 14 – Mini colhedora de grãos: 1- acelerador; 2- câmbio; 3- motor; 4- correia; 5- roda- estrela; 6- conjunto divisor; 7- lâminas de corte; 8- corrente transportadora; 9- roda.	56
Figura 15 – Conjunto divisor.....	57
Figura 16 – (a) Lâminas de corte; (b) Corrente transportador.....	57
Figura 17 – Sistema de corte: 1) Dispositivo de rebitagem que pressiona a faca; 2) Rebitagem das lâminas móveis; 3) Placa de fricção superior; 4) Placa de fricção inferior; 5) Rebitagem das lâminas fixas; 6) Rolamento; 7) Tampa bloqueadora de poeira; 8) Anel para furo; 9) Tampa da biela.	58
Figura 18 – Penetrômetro digital PNT 2000.	59
Figura 19 – Trado holandês.....	59
Figura 20 – Tesourão de poda.	60
Figura 21 – Balança de precisão Marte AD5002.	61
Figura 22 – Gabarito de PVC.	61
Figura 23 – Régua vertical.....	62
Figura 24 – Trena.	62
Figura 25 – Amarrilho de arame.....	63
Figura 26 – Croqui da área experimental contendo as divisões dos blocos e parcelas.	64

Figura 27 – Foto aérea dos blocos e parcelas, 23 dias após o primeiro corte dos tratamentos.	64
Figura 28 – Demarcação das unidades amostrais	65
Figura 29 – Medição do comprimento foliar.....	68
Figura 30 – Medição da altura de corte das touceiras com a régua.....	70
Figura 31 – Cronometragem do tempo de manejo em cada parcela.	71
Figura 32 – (a) Volume de gasolina utilizada na mini colhedora de grãos; (b) Volume de gasolina utilizada na roçadora costal.....	72
Figura 33 – Coleta de biomassa dentro do gabarito.	78
Figura 34 – Coleta de dados de resistência à penetração.	79
Figura 35 – Coletas de amostras de solo para determinação da umidade.	81
Figura 36 – Amontoa do capim roçado	83
Figura 37 – Curvas características de operação para diferentes valores de "n" para o teste em frente e verso normal para um nível de significância $\alpha = 0,05$	92
Figura 38 – Caracterização do corte da Mini colhedora de Grãos.	97
Figura 39 – Resultado do corte da Mini colhedora de grãos.	99
Figura 40 – Caracterização do corte da Roçadora costal.....	99
Figura 41 – Caracterização do corte da Roçadora rotativa montada ao trator.	101
Figura 42 – Correlação entre número de perfilhos e altura de corte (A) e número de rebrotas e altura de corte (B) para o capim-mombaça.	102
Figura 43 – MMEP da altura de corte (AC) para o ciclo 1.	106
Figura 44 – MMEP da velocidade de rebrota (VR) para o ciclo 1.....	107
Figura 45 – MMEP da massa seca (MS) para o ciclo 1.	108
Figura 46 – MMEP do tempo de manejo (TM) para o ciclo 1.....	109
Figura 47 – MMEP do tempo de amontoa (TA) para o ciclo 1.....	110
Figura 48 – MMEP da resistência à penetração (RP) para o ciclo 1.....	111
Figura 49 – MMEP da altura de corte (AC) para o ciclo 2.	114
Figura 50 – MMEP da velocidade de rebrota (VR) para o ciclo 2.....	115
Figura 51 – MMEP da massa seca (MS) para o ciclo 2.	116
Figura 52 – MMEP do tempo de manejo (TM) para o ciclo 2.....	117
Figura 53 – MMEP do tempo de amontoa (TA) para o ciclo 2.....	118
Figura 54 – MMEP da altura de corte (AC) para o ciclo 3.	121
Figura 55 – MMEP da velocidade de rebrota (VR) para o ciclo 3.....	122
Figura 56 – MMEP da massa seca (MS) para o ciclo 3.	123
Figura 57 – MMEP do tempo de manejo (TM) para o ciclo 3.....	124

Figura 58 – MMEP do tempo de amontoa (TA) para o ciclo 3.....	125
Figura 59 – MMEP da resistência à penetração (RP) para o ciclo 3.....	126
Figura 60 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ da Roçadora Rotativa Montada (RRM) para os três ciclos (C1, C2 e C3).	130
Figura 61 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ da Mini Colhedora de Grãos (MC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).	131
Figura 62 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ da Roçadora Costal (RC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).....	131
Figura 63 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ da Roçadora Rotativa Montada (RRM) para os três ciclos (C1, C2 e C3).	133
Figura 64 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ da Mini Colhedora de Grãos (MC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).	134
Figura 65 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ da Roçadora Costal (RC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).....	134
Figura 66 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ do ciclo 1 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC)....	137
Figura 67 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ do ciclo 2 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC)....	137
Figura 68 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ do ciclo 3 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC)....	138
Figura 69 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ do ciclo 1 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC)....	141
Figura 70 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ do ciclo 2 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC)....	141
Figura 71 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ do ciclo 3 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC)....	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de solo da área do experimento.	45
Tabela 2 – Cronograma dos ciclos de corte e coleta dos dados (RP=Resistência à penetração; TM=Tempo de manejo; CC=Custo de consumo de combustível; MO=Valor de mão de obra; AC=Altura de corte; TA= Tempo de amontoa; VR=Velocidade de rebrota; MS=Massa seca).....	66
Tabela 3 – Tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados.	85
Tabela 4 – Tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados.	86
Tabela 5 – Matriz Dimensional.	87
Tabela 6 – Sub-espaço considerado para teste de característica.	87
Tabela 7 – Matriz Solução do Experimento.	89
Tabela 8 – Estatística descritiva para o Ciclo 1 (AC = Altura de corte; VR = Velocidade de rebrota; MS = Massa seca; TM = Tempo de manejo; CC = Consumo de combustível; MO = Mão de obra; TA = Tempo de amontoa; RP = Resistência à penetração).	104
Tabela 9 – Estatística descritiva para o Ciclo 2 (AC = Altura de corte; VR = Velocidade de rebrota; MS = Massa seca; TM = Tempo de manejo; CC = Consumo de combustível; MO = Mão de obra; TA = Tempo de amontoa; RP = Resistência à penetração).	112
Tabela 10 – Estatística descritiva para o Ciclo 3 (AC = Altura de corte; VR = Velocidade de rebrota; MS = Massa seca; TM = Tempo de manejo; CC = Consumo de combustível; MO = Mão de obra; TA = Tempo de amontoa; RP = Resistência à penetração).	119
Tabela 11 – Comparação dos resultados dos tratamentos.	144
Tabela 12 – Matriz Correlação do tratamento Roçadora Rotativa Montada para os três ciclos de corte.	166
Tabela 13 – Matriz Correlação do tratamento Mini Colhedora de Grãos para os três ciclos de corte.	167
Tabela 14 – Matriz Correlação do tratamento Roçadora Costal para os três ciclos de corte.	167
Tabela 15 – Dados de umidade de solo obtidos antes do início e após o término do experimento, juntamente com as coletas de dados de resistência à penetração (RP).....	168
Tabela 16 – Resumo dos valores médios de umidade de solo (%) de cada bloco, obtidos nas coletas anterior e posteriormente ao experimento.	170

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Taxa de Semeadura.....	47
Equação 2 – Velocidade de rebrota do capim	69
Equação 3 – Velocidade de rebrota do capim por unidade amostral.....	69
Equação 4 – Consumo de combustível.....	73
Equação 5 – Consumo específico de combustível.....	73
Equação 6 – Multiplicador de aceleração parcial.....	73
Equação 7 – Relação entre velocidade parcial e total do motor.....	74
Equação 8 – Fração de potência de TDP equivalente disponível.....	74
Equação 9 – Valor do consumo de combustível (CC).....	75
Equação 10 – Consumo de combustível por tratamento	75
Equação 11 – Custo da mão de obra (MO)	77
Equação 12 – Valor da mão de obra.....	77
Equação 13 – Umidade do solo	81
Equação 14 – [M].	88
Equação 15 – [L].	88
Equação 16 – [T].	88
Equação 17 – K5.	88
Equação 18 – K6.	88
Equação 19 – K7.	88
Equação 20 – π 1	89
Equação 21 – π 2	89
Equação 22 – π 3	90
Equação 23 – π 4	90
Equação 24 – Coeficiente de correlação ρ	90
Equação 25 – Erro médio padrão	91
Equação 26 – Desvio padrão	92
Equação 27 – Equação do Gráfico de Controle da MMEP.....	93
Equação 28 – Equação da variância da variável "z"	93
Equação 29 – Equação para obtenção do LCS	94
Equação 30 – Equação para obtenção do LCI.....	94
Equação 31 – π 1	128

Equação 32 – π^2	128
Equação 33 – π^3	129
Equação 34 – π^4	129

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVOS	22
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	PROBLEMATIZAÇÃO DA REALIDADE AGROECOLÓGICA.....	23
2.2	AGROFLORESTA E AGRICULTURA SINTRÓPICA	24
2.3	O SOLO É VIVO.....	27
2.4	BIOMASSA DE CAPIM PARA COBERTURA DE SOLO	28
2.5	MECANIZAÇÃO DOS SAFS PARA AGRICULTURA FAMILIAR.....	32
2.6	ANÁLISE DIMENSIONAL.....	34
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO.....	37
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	39
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF) ESTUDADO..	41
3.4	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	45
3.5	MATERIAL.....	48
3.5.1	Caracterização da espécie cultivada (capim-mombaça).....	48
3.5.2	Caracterização das máquinas utilizadas	48
3.5.3	Caracterização dos equipamentos para coleta de dados	58
3.6	MÉTODOS	63
3.6.1	Delineamento experimental.....	63
3.6.2	Método para obtenção de dados	66
3.6.3	Método para tratamento de dados.....	83
3.6.4	Método do cálculo da Análise Dimensional.....	85
3.6.5	Método do cálculo do Número Mínimo de Amostras	91
3.6.6	Método Estatístico	92

3.6.7	Método da Escala Likert.....	95
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE CORTE	96
4.2	ANÁLISES ESTATÍSTICAS CONVENCIONAIS.....	103
4.2.1	Ciclo 1	104
4.2.2	Ciclo 2	112
4.2.3	Ciclo 3	119
4.3	ANÁLISE FENOMENOLÓGICA DO CORTE POR ANÁLISE DIMENSIONAL.....	127
4.3.1	Forma especificada dos Pi-termos.....	128
4.3.2	Caracterização dos cortes dos tratamentos	129
4.3.2.1	Gráficos adimensionais $\pi 1 \times \pi 3$	130
4.3.2.2	Gráficos adimensionais $\pi 2 \times \pi 4$	133
4.3.3	Comparação dos cortes dos tratamentos.....	136
4.3.3.1	Gráficos adimensionais $\pi 1 \times \pi 3$	136
4.3.3.2	Gráficos adimensionais $\pi 2 \times \pi 4$	140
4.4	Adequação das Máquinas para o Manejo da Biomassa do Capim-mombaça Cultivado em SAFs pela Agricultura Familiar	144
5	CONCLUSÃO	147
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	149
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	ANEXOS	160
	ANEXO 1 – Características técnicas da roçadora costal Husqvarna 143R-II utilizada.	160
	ANEXO 2 – Características técnicas do trator Tramontini, modelo T5045-4 utilizado para acoplar na roçadora rotativa montada.	160
	ANEXO 3 – Características técnicas da roçadora rotativa montada Jumil JM-RUTD-A 1.4.....	163

ANEXO 4 – Característica técnicas da mini colhedora de grãos Reaper Machine 4G–120A.....	163
ANEXO 5 – Nota de empréstimo da mini colhedora de grãos Reaper Machine 4G–120A para utilização no experimento.	164
ANEXO 6 – Dados técnicos do penetrômetro DLG PNT 2000.	164
ANEXO 7 – Valores dos combustíveis utilizados nos cálculos do valor do consumo de combustível (CC).	165
ANEXO 8 – Valores dos salários dos cargos de mensalista e tratorista utilizados nos cálculos do custo de mão de obra (MO).	165
APÊNDICES	166
APÊNDICE 1 – Matrizes de Correlação	166
APÊNDICE 2 – Dados de umidade de solo	168

1 INTRODUÇÃO

O surgimento da agricultura ocorreu em torno de 10.000 anos atrás. Esta prática foi de extrema importância para o desenvolvimento da espécie humana pois, como descrita por Toledo (2005), a agricultura permitiu o aumento populacional, mudanças sociais e culturais. A agricultura moderna se desenvolveu no meio do século XX e ganhou força na década de 60, época conhecida como Revolução Verde e também Industrialização da Agricultura. Com a revolução houve um aumento na produção agrícola e na exportação, que alavancou ainda mais o desenvolvimento da sociedade humana, mas isto se deu à custo de diversos problemas sociais e ambientais. Segundo Siliprandi (2009), esta revolução veio acompanhada do aumento do uso de agrotóxicos, das desapropriações de terras, dos latifúndios e da redução da biodiversidade. Além disso, o uso da mecanização para cultivos em larga escala pela agricultura industrial torna desleal a competição por espaço do mercado agrícola contra a agricultura familiar.

No Brasil, o debate da agroecologia para se contrapor a esse modelo de produção iniciou-se a partir da mudança das técnicas de produção. Os princípios da Agricultura Sintrópica, nos quais se baseiam os Sistemas Agroflorestais (SAFs), são comumente utilizados em sistemas agroecológicos. São princípios com alto grau de complexidade e biodiversidade, fazendo com que estas técnicas de cultivo sejam, em maioria, realizadas manualmente e estes sistemas de cultivos fiquem restritos à pequenas áreas, decorrente do baixo rendimento dos trabalhos manuais quando comparado aos mecanizados. Isto acaba por descartar a utilização da mecanização existente no mercado, por serem estas desenvolvidas, basicamente, para trabalhos com monoculturas e não adequadas para os manejos complexos dos SAFs.

Com isso em mente, o problema que este trabalho visa resolver é o da ausência de mecanização específica para manejos de SAFs a partir do levantamento das informações necessárias para que seja possível a adequação de máquinas já existentes para manejos dos SAFs. As informações e sugestões sobre a mecanização aqui reunidas poderão ser disponibilizadas para agricultores, técnicos extensionistas e gestores de políticas públicas de forma a otimizar a grande carga de trabalho demandada pela agricultura familiar – onde a mão de obra é escassa – que fazem dos SAFs o meio de geração de renda, especificamente sobre o manejo da biomassa de capim produzida nas entrelinhas do modelo de SAF estudado.

Neste modelo de SAF, as entrelinhas são cultivadas com “monoculturas” de capim, uma vez que esta é a única cultura plantada nas entrelinhas, enquanto as linhas são compostas

por diversas outras espécies. Neste sentido, a utilização de máquinas já existentes no mercado, para manejar as entrelinhas, pode melhorar o trabalho da agricultura familiar que trabalha com SAFs, de maneira que este trabalho seja menos penoso e resulte em resultados satisfatórios, principalmente, no aumento da produtividade e da competitividade no mercado. Com isto em mente, a hipótese deste trabalho é que existe diferença na produção de biomassa de capim ao longo dos ciclos de corte da cultura de acordo com os diferentes tipos de corte realizados pelas máquinas testadas.

Para isso serão testadas 3 máquinas: duas roçadoras que cortam o capim por impacto da lâmina, sendo uma delas com corte frontal (roçadora costal) e outra com corte traseiro (roçadora rotativa montada ao trator). A terceira máquina (mini colhedora de grãos) é uma colhedora do tipo segadora, utilizada para colher arroz e trigo, e foi aqui testada para colher o capim porque possui o corte frontal e de maior qualidade, a fim de comparar a resposta do capim quanto aos diferentes tipos de corte. Diferentes máquinas com diferentes sistemas de corte podem resultar em diferentes respostas à rebrotação da planta e consequente diferença na produtividade de biomassa ao longo dos ciclos de corte.

Para se provar esta hipótese foi utilizado o método da análise dimensional para análise dos dados obtidos em campo. Este método é importante para descrever fenômenos naturais a partir de equações e apoiar a análise dos resultados através dos gráficos e dos Pi-terms. Para obter as informações referentes aos parâmetros analisados, o delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (COSTA, 2003). Cada bloco foi constituído por 3 parcelas (uma para cada tratamento). O experimento foi constituído por 6 blocos, ou seja, 6 repetições. Em todas as parcelas dos blocos foi cultivada a mesma espécie de capim-mombaça. Foi feita a estatística descritiva pelo R Studio e o pacote “moments”, a normalidade dos dados dos tratamentos passou pelos testes de curtose ($k < 3$ e $k > -3$) e simetria ($g < 3$ e $g > -3$) de acordo com Oliveira (2010) e como controle estatístico, de acordo com Montgomery (2002), foi utilizada a Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP), proposta por Roberts (1959).

Assim, o objetivo desta pesquisa é analisar e comparar o trabalho das três máquinas testadas, a fim de poder observar a diferença em relação ao corte e à resposta do capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq) quanto à produção de biomassa ao longo dos ciclos de corte. Esta diferença foi observada nos resultados do método da análise dimensional. Os resultados são gráficos gerados a partir do cálculo dos Pi-terms, que por sua vez, utilizarão como base os valores dos parâmetros obtidos nas medições em campo. As diferenças dos

trabalhos das máquinas foram observadas no que diz respeito aos valores de: i) velocidade de rebrota capim; ii) altura do corte da máquina; iii) tempo de manejo; iv) consumo de combustível; v) custo da mão de obra; vi) peso da matéria seca; vii) resistência à penetração; viii) tempo amontoa capim.

1.1 OBJETIVOS

- Caracterizar e analisar os tipos de corte dos tratamentos e o trabalho das máquinas, bem como comparar as diferenças observadas;
- Caracterizar e analisar a resposta do capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq) após os cortes de cada tratamento, bem como comparar as diferenças observadas ao longo dos sucessivos cortes;
- Através dos resultados obtidos pelas análises dimensional e estatística, comparar a adequação das máquinas para o manejo da biomassa do capim-mombaça cultivado em SAFs pela agricultura familiar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PROBLEMATIZAÇÃO DA REALIDADE AGROECOLÓGICA

O Brasil está entre os países com a maior megabiodiversidade do mundo e possui, segundo Myers et al. (2000), um alto índice de endemismo e áreas de *hotspots*. Kageyama (2009) explica que tal característica se dá devido a sua extensão territorial e pelo fato de estar situado no trópico, apresentando grande biodiversidade. Os trópicos possuem um alto potencial para a vida dos seres vivos, no entanto, a biodiversidade está sendo ameaçada por atividades antrópicas como o avanço do agronegócio, provocando o aumento do desmatamento (FEARNSIDE, 2006), extração desordenada de recursos (KAGEYAMA, 2009), além de outras formas de ocupação de terras prejudiciais ao meio ambiente e aos seres vivos que dele dependem.

Ainda dentro deste cenário, em confronto com a racionalidade exploratória surge o termo “agroecologia” (SILVA, 2014). Na década de 70, Miguel Altieri e Stephen Gliessman foram os principais autores e divulgadores do termo. Na década de 90, as publicações de Eduardo Sevilla Guzmán e Manuel González de Molina foram marcos históricos em relação a utilização deste termo enquanto ciência multidisciplinar (CAPORAL e PETERSEN, 2012). A agroecologia propõe princípios e maneiras de ocupação de terras de forma sustentável, que beneficia o meio ambiente e até mesmo recupera áreas já degradadas.

Para Caporal e Petersen (2012), as políticas públicas para a transição agroecológica são pontuais em comparação com as políticas para o agronegócio, dificultando assim a amplitude de sua implementação, principalmente por conta do embate político existente. Conseqüentemente, essa questão implica na dificuldade da implementação de políticas de sustentabilidade, provocando a marginalização da agroecologia por muitos atores durante as tomadas de decisões.

Os movimentos agroecológicos brasileiros são intrínsecos à defesa pela agricultura e pela transição sustentável. Caporal e Petersen (2012) citam que esta é uma disputa da sociedade pela transformação do modelo estruturante que existe no atual cenário. Desta forma, de acordo com Siliprandi (2009), os movimentos visam a transformação social e a construção de uma nova forma de viver, propondo uma proposta contra hegemônica. Caporal e Petersen (2012) salientam que é preciso contestar o agronegócio a partir de suas vias estratégicas, por justiça social e cultura ecológica a partir dos princípios da sustentabilidade.

2.2 AGROFLORESTA E AGRICULTURA SINTRÓPICA

Dentro dos princípios de sustentabilidade, diversos outros termos surgiram, dentre eles a agricultura orgânica, natural e biodinâmica. Todos os termos possuíam frentes preocupadas com a conservação da biodiversidade (SILIPRANDI, 2009). Esta diversidade de termos surgiu com os movimentos internacionais em resposta ao modo hegemônico de produção e consumo. A agricultura alternativa não segue uma receita padronizada para todos os tipos de solo e clima, mas sim, de acordo com Brandenburg (2002), adquire sentidos diferentes em cada país ou região, dependendo de sua conjuntura de surgimento e implantação.

Dentro da agricultura alternativa e da agroecologia, aqui no Brasil, os SAFs ganham destaque através das pesquisas realizadas por Ernst Götsch, que denominou os seus estudos e práticas como Agricultura Sintrópica. O termo “sintropia”, ao contrário de “entropia” – onde tudo tende ao caos –, se refere à ideia de que a vida e os ecossistemas tendem à organização e à complexidade. Rebello e Sakamoto (2021, p.17) definem sintropia como sendo a organização das partículas de um dado sistema; é a função que representa o grau de ordem e de previsibilidade existente; quando o sistema vai do simples para o complexo, convergindo e concentrando a energia, trata-se de um sistema sintrópico.

A Agricultura Sintrópica é um conceito que tem sido utilizado para caracterizar um tipo de agricultura focada em otimizar os processos naturais da floresta através do adensamento de diversas espécies de plantas consorciadas no espaço e tempo (biodiversidade), das podas para obtenção de matéria orgânica, da utilização desta matéria como cobertura do solo para a manutenção da atividade microbiana e consequente fertilização, além da maior retenção da umidade no solo. Todos esses manejos são realizados com a intenção de acelerar o ciclo natural das florestas, minimizar os impactos ambientais e reduzir – até eliminar – o uso de insumos externos.

Após anos de experimentos e resultados, Ernst Götsch compilou princípios e processos para que recursos, como nutrientes e água, venham a se acumular conforme as práticas agrícolas são desenvolvidas ao longo do tempo. Ao contrário, a agricultura convencional tende a perder recursos do solo, obrigando-se a investir cada vez mais em insumos externos e monocultura para a produção. Segundo Monte (2013, p.30), Götsch (1997) relaciona o “fenômeno da sintropia com as evidências do incremento de recursos como nutrientes,

energia, biodiversidade e recursos hídricos por meio da utilização de técnicas específicas de manejo de agroecossistemas, hoje conhecida como manejo sucessional”.

Um dos princípios do manejo sucessional em SAFs é o aumento da Quantidade e Qualidade de Vida Consolidada (QQVC), ou seja, cada intervenção e manejo feitos no agroecossistema deve ser no sentido de aumentar a biodiversidade e a fertilidade do sistema. Em relação ao solo, a maneira mais viável de aumentar a QQVC existente neste local é manter o solo sempre coberto com material vegetal, seja esta cobertura viva ou morta, e também desagregar o mínimo possível as partículas do solo, a partir do revolvimento somente no local específico de plantio. Em outras palavras, manter o solo protegido e com condições adequadas para o desenvolvimento da atividade microbiana. Alguns impactos deste tipo de manejo são o aumento da fertilidade do solo, aumento da capacidade de retenção hídrica e aumento controle biológico natural do solo (SILVEIRA e FREITAS, 2007).

Não existe um modelo ou receita a serem seguidos para o planejamento e condução de sistemas sintrópicos, mas sim princípios que guiam as decisões. Estas decisões podem ser adaptadas de acordo com a realidade do local onde será implementado este sistema. No livro “Agricultura Sintrópica Segundo Ernst Götsch”, Rebello e Sakamoto (2021) apontam 8 princípios, estratégias e principais técnicas usadas na Agricultura Sintrópica, que são descritas a seguir:

i) Foco na fotossíntese: quanto mais fotossíntese, mais vigoroso o sistema. O aumento deste processo, por meio do plantio em alta densidade e com conjunto de espécies que ocupam diferentes estratos, permite tornar verde escuro o sistema e o ambiente menos quente;

ii) Dinâmicas da sucessão natural usadas como ferramenta: diz respeito à sucessão natural das espécies em nosso agroecossistema e está intimamente associada à estratificação da floresta, sendo a estratificação um dos mais importantes conceitos;

iii) Solo coberto e plantios adensados: a cobertura do solo, viva ou morta, poderá devolver-lhe sua fertilidade; plantios adensados contribuem para a manutenção do solo sempre coberto;

iv) Capinas seletiva e podas: realizadas sempre que se inicia a manutenção do sistema sintrópico, retirar do sistema plantas que tenham cumprido sua função (normalmente estas plantas já estão no momento em que têm sistema radicular fraco) e podar apenas o que está amadurecendo (plantas que saíram da fase de rápido crescimento);

v) Concentrar energia e gerar biomassa de forma eficiente: aglutinar recursos em linhas ou ilhas, o que é particularmente importante quando o trabalho é realizado em solos degradados, e plantar nestes lugares os cultivos que podem receber o luxo de algum insumo;

vi) Ecofisiologia e funções ecofisiológicas das plantas: estuda a adaptação da fisiologia dos organismos às condições ambientais para a perfeita escolha das plantas adaptadas à realidade do local de cultivo, focando na produção e nas funções que poderão exercer no sistema, como geração de biomassa, sombreamento, etc.;

vii) Sincronizar os plantios: plantar tudo junto e adensado, para aproveitar o preparo de solo e, com o passar do tempo, através dos princípios da capina seletiva, poda e estratificação, selecionar as plantas que ficam e as que saem do sistema por já terem cumprido suas funções;

viii) Tentar enxergar o que cada ser está fazendo de bom: a parte visível da natureza ao ser humano é infinitamente menor que a parte não visível e, na maioria das vezes, não há a capacidade de olhar para além de seu aspecto material; o surgimento de plantas e animais não desejados deve ser observado como um sinal de desequilíbrio no sistema imunológico do agroecossistema.

Os SAFs têm potencial para reativar corpos hídricos perdidos, tanto terrestres quanto aéreos na forma de nuvens e chuvas, aumentar a biodiversidade e recuperar o ecossistema como um todo, mas para que isso ocorra é preciso que este sistema seja amplamente utilizado. Estas técnicas de cultivo são, em maioria, realizadas manualmente devido à complexidade do sistema, decorrente da alta diversidade de espécies. Isso faz com que os impactos ambientais positivos fiquem restritos apenas aos microclimas das áreas de cultivo.

A agricultura familiar, em suas múltiplas realidades, muitas das vezes, dispõe apenas da própria mão de obra para seu sustento. Levando em consideração o tempo e esforço físico exigido para a condução das atividades essenciais para o manejo de um SAF, é possível que a família agricultora não disponha de todos estes recursos.

Para que o SAFs possam ser mais difundidos, é necessário o estudo e desenvolvimento de mecanização específica ou utilização de mecanização já existente para otimizar o manejo deste sistema. Segundo Siliprandi (2009), a mecanização da agricultura para práticas sustentáveis se faz importante a fim de redesenhar o modelo de produção e de

economia. Atualmente ainda existe muito pouca pesquisa que se esforce em desenvolver tecnologias para mecanizar a produção de SAFs.

Este trabalho limita-se a estudar a mecanização, com máquinas já existentes, do manejo da biomassa de capim-mombaça produzida nas entrelinhas de SAFs. Este sistema em específico é planejado para a produção de diversos produtos arbóreos consorciados. As entrelinhas são planejadas para a produção de biomassa para cobertura de solo e nutrição das árvores cultivadas nas linhas.

2.3 O SOLO É VIVO

Sobre a importância de um solo bem cuidado e da atividade microbiana, Alcântara (2017, p.7), cita uma frase dita por Ana Maria Primavesi durante uma entrevista em 2012: “o segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio onde o solo não é sadio e as plantas nutridas”.

Neste sentido, Freitas (2007) salienta a importância da presença das Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCPs) no solo, Andreola e Fernandes (2007, p.21), ressaltam que “os microrganismos são responsáveis pelos processos de mineralização, representando eles próprios uma quantidade considerável de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas”, Silveira e Gomes (2007, p.57), dizem que “a associação mutualística formada entre os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) e as raízes de frutíferas é de grande importância e interesse, devido aos benefícios causados”, Andrade (1999, p.79), em relação à atividade microbiana na rizosfera, diz que “nela, os microrganismos desempenham importante papel nos sistemas naturais e agrícolas, já que participam das transformações da matéria orgânica e dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes” e Hoffman (2007) confirma a importância das bactérias de solo fixadoras de nitrogênio atmosférico para a nutrição das plantas.

Atualmente a atividade microbiana já é utilizada como ferramenta de análise de qualidade do solo, pois, segundo Silveira e Freitas (2007, p.6), “utilizar a microbiologia para avaliar a qualidade do solo é fundamental no caminho da sustentabilidade ambiental agrícola. Portanto, os microrganismos têm sido cada vez mais associados à qualidade ambiental”.

2.4 BIOMASSA DE CAPIM PARA COBERTURA DE SOLO

Seguindo os princípios da Agricultura Sintrópica, um fator essencial para o sucesso do sistema é a produção abundante de biomassa, viva e/ou morta, para cobertura, proteção, recuperação e fertilização do solo. Spinelli (2013) salienta que nos desenhos de SAFs deve-se considerar como fundamental a presença de espécies que produzam muita biomassa, de preferência em todos os estágios da sucessão ecológica. Em relação ao primeiro estágio da sucessão ecológica, quando é feita a implantação do sistema, existe muita incidência da radiação solar e pouca oferta de biomassa, bem como quase nenhum sombreamento. Desta maneira, espécies gramíneas se mostram eficientes para suprir as necessidades do sistema por matéria orgânica, uma vez que são espécies rústicas, de rápido crescimento, que geram quantidades consideráveis de biomassa e toleram insolação direta durante o dia todo.

A produção de biomassa (viva e morta) para cobertura do solo é essencial para os cultivos em SAFs. Contudo, existem poucas pesquisas que subsidiem o desenvolvimento de tecnologias que otimizam os recursos, definam os espaçamentos, os momentos adequados para a poda, a forma como se organiza este material no sistema e, principalmente, que otimizem a mão de obra – um importante gargalo na agricultura familiar e agroflorestal. Assim como a pesquisa sobre mecanização agroflorestal é rara, os estudos sobre os aspectos que envolvem a produção e o manejo mecanizados da biomassa de entrelinhas, tema deste trabalho, são mais raros ainda.

Gramíneas são espécies com grande potencial para produção de biomassa pois apresentam elevadas taxas de acúmulo quando comparadas a outras espécies utilizadas para a produção de biomassa vegetal. O bom desenvolvimento da planta e conseqüente bons índices de acúmulo de forragem são reflexos do manejo correto, respeito do período de descanso e dos fatores ambientais. Estes reflexos podem ser evidenciados cientificamente através dos conceitos de índice de área foliar (IAF), interceptação da radiação incidente, acúmulo de biomassa, taxa média de crescimento (velocidade de rebrota), nível de reservas orgânicas e número de folhas por perfilho (GOMIDE et al., 2007). Alguns destes conceitos foram utilizados para o levantamento de dados do experimento deste trabalho.

O uso de gramíneas em SAFs para a produção de biomassa para cobertura do solo tem sido uma prática difundida entre agricultores agroflorestais nos últimos anos (XAVIER et al., 2017). Além de cumprir a função de recuperação da fertilidade e retenção hídrica do solo,

as gramíneas são espécies rústicas e que geram quantidades consideráveis de biomassa em pouco tempo pois seu ciclo é relativamente curto. Estas espécies são caracterizadas pela boa capacidade de rebrotar e produzir grandes quantidades de biomassa ao longo dos anos. Contudo, como comumente ocorre nos SAFs, as gramíneas tender a reduzir sua produção devido ao sombreamento das áreas ocasionado pelo crescimento das árvores que compõem o sistema.

A cultivar “Mombaça” vem se consolidando como opção para fornecer matéria orgânica para cobertura e fertilização do solo através da grande e rápida produção de biomassa (XAVIER et al., 2017) quando comparado a outras espécies utilizadas para produção de biomassa. Esta cultivar é facilmente encontrada em SAFs implantados em área de solo exposto e sem aporte de biomassa. Nesse sentido, é importante encontrar informações que permitam desenvolver soluções inovadoras que contribuam para otimizar o manejo do capim-mombaça. A mecanização do manejo da biomassa de capim produzido nas entrelinhas se faz essencial tanto para os SAFs em larga escala quanto para os em pequena escala que são manejados por poucas ou uma única pessoa, como é evidenciado no caso da agricultura familiar.

A cultivar Mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq. B. K. Simon e S. W. L. Jacobs syn. *Panicum maximum*) foi lançada em 1993 no Brasil, com o objetivo inicial de servir como fonte de alimento para animais através de pastagem. Uma de suas principais características é a elevada produção de massa seca total (até 41 t/ha/ano), 130% a mais que a cultivar ‘Colônio’ (SAVIDAN et al., 1990; JANK et al., 2008). Por suas características fisiológicas, o capim-mombaça tem um grande potencial de produção de biomassa, uma vez que o alto índice de luminosidade e umidade nos ambientes de clima tropical, em adição ao rápido metabolismo desta cultivar, permite um rápido desenvolvimento vegetativo. Além disso, esta cultivar possui um alto grau de tolerância ao sombreamento e com capacidade de suportar períodos de seca (DIAS-FILHO, 1995; MORAES DA MATTA et al., 2009; MALAVIYA et al., 2020).

Segundo Araújo et al (2018), a produtividade do capim-mombaça varia de acordo com as estações do ano, sendo que há fatores chave que determinam a dinâmica de desenvolvimento em cada estação, a exemplo da temperatura, fotoperíodo e pluviosidade. Souza et al. (2005) constataram que irrigação e adubação nitrogenada aumentam a produtividade de biomassa do capim-mombaça com destaque quando comparado a outras cultivares de *Panicum maximum* Jacq.

A depender da intensidade e da qualidade do corte, o capim tende a responder de maneiras diferentes. Este conceito é definido como “vigor de rebrota” e este pode acarretar em

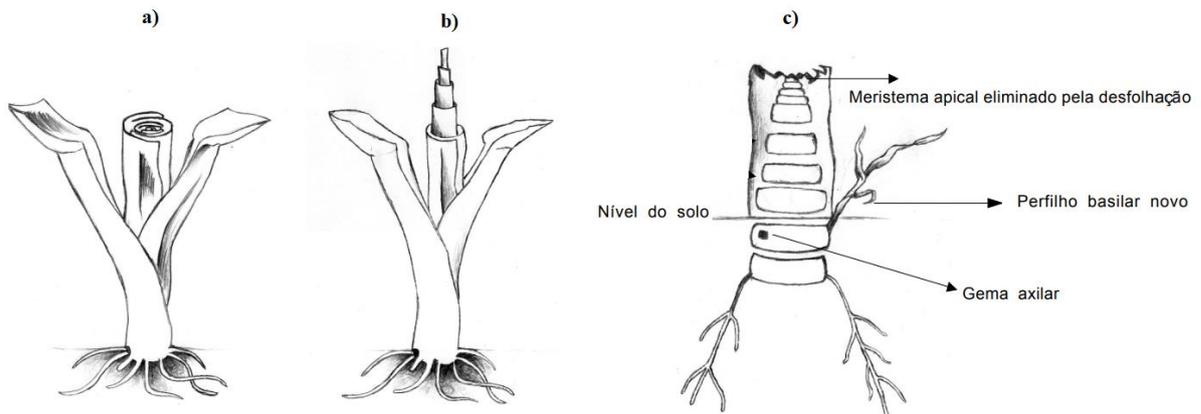
produtividades diferentes. O corte do capim é mais intenso quando a altura de corte é mais baixa e a desfolha é maior, enquanto que um corte de capim menos intenso é o oposto. O corte também pode ter uma melhor qualidade quando é feito com lâminas afiadas e com sistemas de cortes mais precisos, resultando em melhores condições para cicatrização e rebrota. Um corte com intensidade adequada e de boa qualidade pode resultar melhores índices de vigor de rebrota e, conseqüentemente, em uma resposta melhor no desenvolvimento e também maiores valores de produtividade.

O tempo de descanso entre um corte e outro varia a depender de a época do ano ser chuvosa ou de seca. A época de seca requer um período de descanso mais longo que a época chuvosa, pois o capim leva mais tempo para atingir o ponto ideal de corte. O corte antecipado resulta em menor produção de biomassa, enquanto o prolongamento do período de descanso, segundo Gomide et al. (2007), compromete a estrutura da planta e reduz a população de perfilhos.

Após o corte, o capim costuma rebrotar de 2 maneiras: a partir da produção de novos perfilhos e a partir da rebrotação de um perfilho já desenvolvido. Observa-se que cada tipo de rebrota se desenvolve com vigor e velocidade diferentes, isto pode resultar também em diferenças na produtividade. Ao levar em consideração os diferentes tipos de corte mecanizado de capim, as diferenças de intensidade e qualidade dos cortes podem resultar em diferentes quantidades de novos perfilhos e rebrotações produzidas durante o processo de rebrota. Estas quantidades diferentes dos tipos de rebrota podem acarretar em produtividades diferentes de biomassa.

Perfilhos e rebrotações são dois tipos de rebrotas que dão início ao desenvolvimento do capim após o corte. Perfilhos (ou perfilhos basilares) são rebrotas que surgem a partir das gemas axilares, bem próximo ao solo. Rebrotações são as rebrotas que se desenvolvem a partir do mesmo perfilho que teve suas folhas cortadas, porque continua vivo por não ter seu meristema apical danificado. A Figura 01 representa o capim logo após o corte “a)”, o surgimento da rebrotação “b)” e o surgimento do perfilho “c)” poucos dias após o corte.

Figura 1 – a) Capim logo após o corte; b) Rebrotação; c) Perfilho novo



Fonte: Adaptado de Barbosa et al., 2002.

Comumente, a produção de biomassa de capim-mombaça em SAFs é feita nas entrelinhas, ou seja, as linhas de produção são espaçadas aproximadamente de 5 a 12 metros e são nestes espaços entre as linhas que é cultivado o capim-mombaça. Em decorrência, percebe-se que a área cultivada com capim é maior que a área de produção em si, isto demanda trabalho para manejar o capim na época correta. Em áreas grandes e manejadas manualmente, a demora para completar o trabalho de roçagem do capim pode resultar em florescimento e produção de sementes da planta. Isto é indesejado, pois os nutrientes das folhas são translocados para as sementes e estas, por sua vez, podem ser dispersadas nas linhas de produção.

Além do problema de tempo do manejo manual em grandes áreas, percebe-se também o alto grau de exaustão do trabalhador. O manejo do capim em SAFs é feito em dois estágios: i) roçagem do capim; ii) transporte da forragem para cobertura das linhas de produção. Manualmente, o capim pode ser roçado com enxada, foice, facão, etc., enquanto o transporte pode ser feito com rastelo ou gadanho. Muitos agricultores utilizam a roçadora costal ou a roçadora rotativa montada ao trator para a roçagem, a depender do tamanho da área e da capacidade financeira disponível. Ainda assim o trabalho de rastelar a forragem é normalmente feito de forma manual. Supõe-se que a utilização de máquinas forrageiras para o manejo da biomassa das entrelinhas seja o ideal no momento, pois estas máquinas poderiam roçar, triturar e direcionar a biomassa diretamente para as linhas de produção.

Este trabalho limita-se a estudar o manejo de 3 máquinas que não são forrageiras, portanto, isto demanda, posteriormente, o trabalho de rastelar a biomassa de capim cortada para transportá-la para cobrir as linhas de produção arbórea. Foi observado, ao longo da pesquisa,

que a maneira com que cada máquina corta e deposita o capim no solo influencie o trabalho de amontoa e organização da biomassa, de acordo com as características da biomassa cortada. A roçadora costal deixa as folhas do capim inteiras, porém espalhadas, a roçadora rotativa montada tritura e espalhada o capim, enquanto a mini colhedora de grãos deixa as folhas do capim inteiras e depositada no solo em feixes. A cada ciclo de corte foram cronometrados os tempos de amontoa de cada repetição dos diferentes tratamentos.

2.5 MECANIZAÇÃO DOS SAFS PARA AGRICULTURA FAMILIAR

É sabido que os manejos em SAFs são realizados em maioria manualmente, com o auxílio de ferramentas como: enxada, enxadão, facão, tesoura-de-poda, etc. Isto resulta em uma agricultura que exige muito tempo, mão de obra e esforço físico, o que acaba por limitar o cultivo de SAFs em pequena escala. Desta maneira, faz-se necessário o avanço das pesquisas para a mecanização dos processos, para que, assim, seja possível otimizar o manejo de forma a reduzir o tempo de trabalho e desgaste físico dos trabalhadores. Consequentemente, a mecanização dos manejos dos SAFs possibilitará maior aderência dos/as agricultores/as para realizar a transição para os mesmos. Este fenômeno poderá incentivar cada vez mais a expansão de áreas cultivadas com sistemas sustentáveis.

A agricultura familiar é caracterizada por ser uma categoria que baseia sua produção no uso preferencial da mão de obra familiar, tanto no campo como na gestão do empreendimento. Buainain et al. (2003) afirmam que a mão de obra é um fator escasso na agricultura familiar. Guanziroli et al. (2012) observam ainda três fatores escassos na agricultura familiar: capital, terra e mão de obra. O problema da complexidade de manejo e da falta de mecanização se agrava ainda mais pelo fato da escassez de mão de obra presente na realidade familiar rural. Ainda segundo o autor, 30% dos/as agricultores/as familiares trabalham usando exclusivamente a enxada como ferramenta para aração da terra. No que se refere à utilização de SAFs como meio de produção, outros gargalos também se evidenciam, como a capacitação técnica e conhecimento específico para a condução destes sistemas.

Atualmente, evidencia-se, também, o fenômeno da evasão da juventude rural. Os jovens são atores importantes na agricultura familiar por serem responsáveis pela sucessão direta destes empreendimentos. Segundo Viganó et al. (2019), os jovens têm optado por não darem continuidade na produção familiar porque, atualmente, existe uma exigência em seguir

padrões de vida que sejam diferentes do conceito de trabalho penoso e manual observados nas realidades familiares rurais. De acordo com Silva (2017), os jovens tendem a buscar profissões e trabalhos desvinculados ao ambiente rural. Bieger et al. (2020) afirmam que, no cenário brasileiro, a falta de perspectiva da juventude rural em permanecer no campo é alarmante. Estes fatores contribuem para que o trabalho rural familiar fique restrito aos membros com idade mais avançada e com menores graus de escolaridade ou que tiveram menores oportunidades de estudo.

A sobrecarga de trabalho rural manual em pessoas idosas resulta em desgaste físico e patologias permanentes. Em seus estudos, Celich e Galon (2009) observaram que, de todos os idosos entrevistados que sofriam com dor crônica, 92,6% eram agricultores. Os lugares mais comuns de dor crônica por eles relatados foram a coluna lombar e cervical, pernas, articulação do joelho e membros superiores. Uma agricultura familiar eficiente, moderna e rentável requer autonomia e competitividade. Tendo em vista estas questões e também o bem-estar dos trabalhadores familiares, faz-se necessário a realização de estudos que, como este, forneçam informações que possam contribuir para a redução do custo do trabalho, do volume de mão de obra necessária para as operações e do desgaste físico.

A mecanização agrícola se faz necessária para o aumento da produção agrícola, da rentabilidade e, além disso, melhora a qualidade do trabalho a ser realizado por meio da redução do esforço físico e fadiga (ENERO, 2008). Sobre este tema, Milan (2004) enfatiza que o sistema mecanizado deve levar em consideração o meio ambiente e a saúde dos funcionários como parte da estratégia de escolha das máquinas e produção.

É possível encontrar alguns cultivos de SAFs em escalas maiores. Estes sistemas costumam ser mais simplificados e menos biodiversos à medida que aumentam de tamanho, em função da padronização e praticidade dos manejos. Isto se deve ao fato de que tais agricultores utilizam máquinas desenvolvidas para trabalhos em monoculturas. Esta simplificação gera certa preocupação quanto à questão da biodiversidade, de modo que SAFs em escalas maiores, da maneira como vêm sendo empregados, podem não ser de fato sustentáveis e ecologicamente corretos. SAFs são sistemas complexos que requerem alta demanda de trabalho e, por consequência, a criação de novos processos, novas máquinas e também estudos relacionados. Neste sentido, este trabalho compara o trabalho de máquinas já existentes no mercado quando utilizadas para o manejo de SAFs, com o propósito de diminuir fatores como o tempo de trabalho e esforço físico, levando em consideração a realidade da agricultura familiar.

Estudos, experiências e experimentos para mecanização de SAFs para produção de grãos consorciados com elementos arbóreos estão sendo realizados por uma parceria entre Ernst Götsch e o Centro de Pesquisas em Agricultura Sintrópica (CEPEAS). Outras iniciativas como da Fazenda da Toca (em Itirapina, São Paulo), da Mata do Lobo (em Rio Verde, Goiás), do Instituto Nova Era (em Terra Roxa, Ribeirão Preto e Cravinhos, São Paulo) e de outros parceiros e instituições também têm trabalhado com o objetivo de desenvolver técnicas, processos, estratégias e máquinas para que os manejos sintrópicos possam ser aplicados em processos mecanizados e utilizados em SAFs. Uma maneira para que isso ocorra é tornar acessível a tecnologia para produção pela agricultura familiar. Máquinas agrícolas compactas, de baixo custo e baixo consumo de combustível são boas opções para a acessibilidade de tecnologia agrícola.

De acordo com Mialhe (1974), a mecanização agrícola tem o objetivo principal de racionalizar o uso das máquinas, estudando-as de maneira aplicada. Desta forma, é importante compreender que existem princípios e processos para a escolha da máquina, o que faz necessário o planejamento dos sistemas mecanizados. Para a escolha das máquinas a serem empregadas nos manejos é importante levar em consideração as características operacionais e as características de produção, bem como observar o meio operatório, ou seja, o local de utilização da máquina agrícola (MIALHE, 1974). Ainda de acordo com o autor, o meio operatório faz a mediação entre as características de produção e as características operacionais. Desta forma, podemos entender que a escolha da máquina é muito relevante para a produtividade.

2.6 ANÁLISE DIMENSIONAL

Análise dimensional é o método utilizado para descrever fenômenos naturais a partir de equações matemáticas, através dos conceitos da Física. Esta é a área da Física que se interessa pela relação entre os fenômenos físicos e pelas unidades de medida desses fenômenos. É um método que possibilita a inspeção, a adaptação e até mesmo a previsão de fenômenos naturais dos quais são objetos de estudo. As unidades de medidas destes fenômenos são utilizadas, por sua vez, para a criação e resolução de equações. Em seus resultados, Albiero (2006) evidencia que a metodologia da análise dimensional utilizada para a avaliação de máquinas agrícolas é superior a análise de variância do tipo classificação de via simples.

A análise dimensional, segundo Langahaar (1951), é amplamente utilizada pelo seu potencial de descrição álgebra, numérica, matemática e física dos fenômenos naturais com a utilização de equações. É uma análise que permite, segundo Maciel (1993) observar dados qualitativos e dados quantitativos. A análise é realizada através de conceitos de álgebra linear em espaços e subespaços lineares independentes. Através da análise dimensional, salienta Szucs (1980), é possível encontrar um modelo preciso para um fenômeno conhecido.

Segundo Albiero (2006), o método de cálculo utilizado na análise dimensional foi desenhado por Murph (1950) e Taylor (1974) e foi descrito por Langahaar (1951) e Szucs (1980). Posteriormente, Maciel (1993) adapta e explica tal método para a realidade da mecanização agrícola, especificamente para máquinas de preparo de solo.

Na análise dimensional são aplicados os fundamentos da álgebra para que possa ser determinada em qual unidade de medida uma determinada grandeza deve ser expressa, fazendo com que a homogeneidade entre as grandezas seja garantida. Diante análise, busca-se levantar parâmetros, para assim, identificar as variáveis. Após esse procedimento, será possível elaborar a matriz dimensional para então, identificar o sub-espaço e a partir deste, montar o sistema de equações lineares homogêneas. O resultado desta equação é a definição de Pi-termos. O número de Pi-termos será a quantidade de parâmetros ou variáveis menos o sub-espaço, que este último terá como base os três parâmetros principais. Deste modo, com todo o procedimento e passos realizados, será montada a matriz solução (ALBIERO, 2006).

Ainda segundo Albiero (2006), na matriz solução, tem-se as linhas que podem ser chamadas de expoentes dos componentes dos Pi-termos ou, então, invariantes. As linhas representam os adimensionais formados pelos parâmetros estudados. Tendo esse procedimento, o próximo passo é montar a matriz de correlação, determinar a correlação entre Pi-termos e, assim, encontrar os gráficos adimensionais melhor correlacionados, a fim de facilitar a interpretação dos dados. O método da análise dimensional otimiza a quantidade de dados necessária para a obtenção de respostas perceptíveis e gera gráficos com o número mínimo de pontos, não havendo a exigência de normalidade.

A partir da interpretação dos gráficos gerados pela análise dimensional será possível comparar os trabalhos das máquinas estudadas e, com isso, evidenciar as diferenças das máquinas em relação ao corte e à resposta do capim-mombaça quanto à produção de biomassa ao longo dos ciclos de corte, de forma a contribuir para os avanços das pesquisas de mecanização para SAFs. A escolha da avaliação a partir da análise dimensional se deu por conta

da potencialidade deste método em estudos e comparações de fenômenos físicos complexos com o envolvimento de diversas variáveis, principalmente em relação à mecanização agrícola.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa foram implementados experimentos de campo para coletar dados sobre o manejo das máquinas e os aspectos de produtividade de biomassa do capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq) submetido a três diferentes técnicas de corte, utilizando diferentes máquinas. Na segunda etapa foi feita a análise dimensional com base nos dados obtidos, com vistas a comparar os valores de eficiência da operação das máquinas no que diz respeito ao manejo da biomassa produzida em entrelinhas de SAFs. Estes experimentos buscaram simular as condições de entrelinha de um SAF.

A seguir encontram-se as caracterizações do experimento, da área experimental, do sistema agroflorestal – no qual estão inseridas as entrelinhas cultivadas com capim-mombaça, que o experimento deste trabalho simula –, informações sobre a implantação e condução do experimento, os materiais e os métodos utilizados para alcançar os objetivos deste trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO

Este trabalho foi feito em parceria com projeto de pesquisa “OTIMIZASAF” da Embrapa Meio Ambiente, situada em Jaguariúna, São Paulo. Este projeto está direcionado para encontrar soluções que visam a viabilização de sistemas agroflorestais para a agricultura familiar. Foram instalados experimentos no campo experimental da Embrapa que buscaram simular as condições de entrelinhas do modelo de SAF estudado. Este modelo de SAF, conforme caracterização no item 3.3 deste trabalho, é composto por linhas cultivadas com espécies de interesse econômico e entrelinhas produtoras de biomassa de capim-mombaça. O papel das entrelinhas, que estão sendo simuladas neste experimento, é produzir a maior quantidade e a melhor qualidade de biomassa possível. Esta biomassa, após colhida, é organizada como cobertura do solo das culturas plantadas nas linhas, onde tem-se o foco econômico.

É importante ressaltar que o experimento simulou as áreas de entrelinhas de SAFs a partir do cultivo de parcelas de capim com a mesma largura de faixa de que os SAFs costumam dispor, de 6 metros. Contudo o experimento foi feito em monocultura, ou seja, não simulou as condições idênticas de um SAF. Portanto, algumas características específicas de SAFs não estiveram presentes no experimento, como por exemplo as variações de microclima resultantes

da presença de linhas de árvores a cada 6 metros: variação da luminosidade, temperatura e umidade do solo de acordo com os locais mais próximos ou mais distantes das árvores. Desta forma, o experimento se tornou mais homogêneo.

O experimento avaliou o desempenho do capim-mombaça quando submetido a três diferentes cortes mecanizados, desta forma configuram-se 3 tratamentos: T1 - Roçadora costal, T2 - Mini colhedora de grãos e T3 - Roçadora rotativa montada. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (COSTA, 2003), onde os tratamentos foram distribuídos de forma aleatória em 6 blocos subdivididos em 3 parcelas cada, constituindo 6 repetições por tratamento, conforme pode ser visualizado no croqui no item 3.6.1.

Após a coleta dos dados, foram construídos gráficos adimensionais para demonstrar as tendências dos parâmetros medidos. Para a construção dos gráficos foi utilizada a metodologia da análise dimensional, que é caracterizada pela escolha de variáveis dimensionais dependentes e independentes do fenômeno em estudo. Em seguida foi utilizado um método de cálculo algébrico para determinar os componentes e combinações essenciais entre as variáveis. Por fim foi feito o cálculo do número mínimo de amostras necessárias por parcela para que haja normalidade no experimento. A minuciosa interpretação destes resultados possibilitou uma melhor compreensão do fenômeno estudado para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados.

O fenômeno em estudo neste trabalho é o corte mecanizado do capim-mombaça. Para atender os objetivos determinados neste trabalho, o experimento foi planejado para identificar, principalmente, a máquina que propicie a maior quantidade de produção de biomassa, decorrente da boa qualidade de rebrota e perfilhamento do capim, após os sucessivos cortes durante o período de 1 ano. Para avaliar o desempenho de cada tratamento, o principal indicador avaliado foi a produção de massa seca (MS) em cada tratamento. As coletas de biomassa foram realizadas ao longo de 3 ciclos de corte, o que configura um ano agrícola para o capim.

Além disso, com vistas na obtenção de argumentos complementares para compor a discussão acerca da compreensão do fenômeno estudado, bem como na obtenção de dados complementares para compor a análise dimensional, outros indicadores e aspectos de cada tratamento foram monitorados, como a velocidade de rebrota do capim (VR), altura de corte da máquina (AC), tempo de manejo (TM), consumo de combustível (CC), custo da mão de obra

(MO), resistência à penetração do solo (RP) e tempo de amontoa do capim (TA). Os dados levantados de RP não foram utilizados na análise dimensional, apenas para as discussões gerais.

Todos os parâmetros analisados foram considerados independentes perante a análise dimensional, pois são parâmetros que dizem respeito ao trabalho das máquinas testadas, ao desenvolvimento do capim, aos custos e tempos de trabalho.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

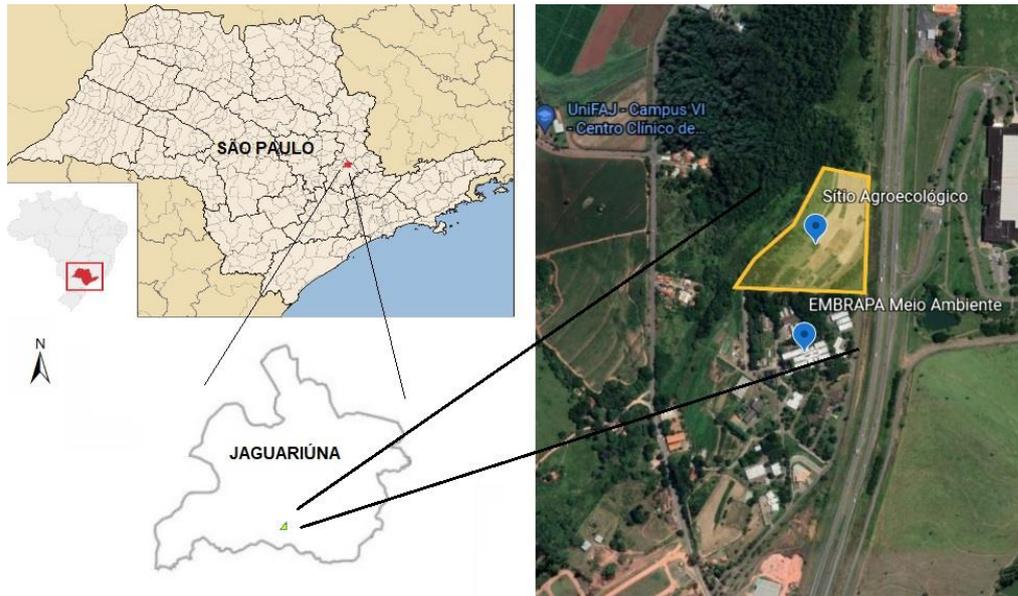
O campo experimental do Sítio Agroecológico (Figura 02) ocupa uma área de cerca de 5 hectares dentro da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (Embrapa) Meio Ambiente, localizada no km 127,5 da rodovia SP-340 (Campinas - Mogi Mirim), bairro Tanquinho Velho, município de Jaguariúna (Figura 03), região de Campinas-SP, entre os rios Atibaia e Jaguari, com área total de 131 hectares. As coordenadas geográficas centrais da área experimental são: 22°43'28,41" de latitude Sul e 47°00'56,08" de longitude Oeste. Santos e Calderano Filho (2000) definem o solo predominante nesta área como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, classe textural franco-argilo-arenosa, horizonte A moderado e fase floresta tropical subcaducifólia.

Figura 2 – Sítio Agroecológico da Embrapa Meio Ambiente.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 3 – Localização do Sítio Agroecológico e da Embrapa Meio Ambiente.



Fonte: Google, 2021.

O relevo é constituído por colinas de formas suavizadas, caracterizado como suave ondulado; a declividade da área experimental varia de 8 a 12% (NEVES et al., 2017), sendo que a altitude da área total da Embrapa Meio Ambiente varia entre 570 e 620 metros. Os topos das colinas chegam a apresentar relevo quase aplainado. Ocorrem na área rochas Pré-Cambrianas do Grupo Amparo (granitos/gnaisses), rochas sedimentares do subgrupo Itararé (arenitos, siltitos e argilitos) e rochas da formação Serra Geral (diabásio). Ocorrem também Sedimentos Aluviais do Quaternário (OLIVEIRA et al., 1979; ZUQUETE e GANDOLFI, 1992; SANTOS e CALDERANO FILHO, 2000).

A distribuição pluvial segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, o inverno é seco de abril a setembro e apresenta temperatura média inferior a 18°C; a estação chuvosa de verão se estende de outubro a março e a temperatura média é superior a 22°C. A temperatura média anual fica em torno dos 20°C e a precipitação anual média fica acima dos 1.300mm, apresentando chuvas mal distribuídas com concentração no verão. Observa-se um déficit de água total de 15mm entre os meses de junho, julho, agosto e setembro. O clima é identificado como mesotérmico de inverno seco (NEVES et al., 2017; SANTOS e CALDERANO FILHO, 2000). A região é caracterizada como sendo local de transição dos biomas Cerrado e Mata Atlântica (CAMARERO et al., 2018).

A origem do Sítio Agroecológico está associada aos resultados da atuação de uma comissão interna da Embrapa Meio Ambiente que tinha como objetivo criar uma área inicialmente intitulada de Vitrine Tecnológica da Embrapa Meio Ambiente, mas que após algumas rodadas de discussão, segundo Neves et al. (2017), foi estabelecido um acordo para que esta noção simples de demonstração fosse ampliada para um conceito de construção participativa do conhecimento agroecológico e de tecnologias sociais, superando a ideia difusionista e um tanto estática de “vitrine”. O tema central do Sítio Agroecológico seria então, e continua sendo atualmente, o de tornar a produção agrícola mais sustentável.

Após aprovação, as atividades de manejo na área tiveram início no segundo semestre de 2008. Desde então o Sítio Agroecológico vem desenvolvendo diferentes estudos em sua unidade experimental (CAMARERO et al., 2018) com testes envolvendo diferentes tecnologias para implantação e condução de Sistemas Agroflorestais em propriedades rurais.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF) ESTUDADO

Um Sistema Agroflorestal (SAF) impulsiona a biodiversidade, pois trabalha a favor das leis que regem sistemas florestais naturais. O planejamento, implantação e condução de um SAF é baseado em uma tentativa de imitar e acelerar os processos naturais, principalmente os processos que são observáveis pelas pessoas. Um SAF pode ser uma alavanca para a recuperação de áreas degradadas.

Na legislação brasileira os SAFs têm sido definidos como:

Sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes. (BRASIL, 2009, p.2).

Os SAFs costumam ter arranjos e finalidades distintas, de acordo com a finalidade à que foram implantados, por isso não existe um desenho padrão ou uma receita para se planejar um SAF, o que existe são princípios que devem ser seguidos para que se obtenha êxito e sucesso no planejamento, implantação e condução de um SAF. O presente trabalho estuda a

mecanização do manejo do capim-mombaça cultivado em um tipo específico de SAF, onde o plantio é feito em linhas e o capim ocupa o espaço das entrelinhas. Este modelo de SAF é comumente planejado para áreas constituídas de solo exposto (degradadas e solo nu). De forma geral, este tipo de SAF é planejado com desenhos e definições mais específicas:

a) Plantio de árvores em linhas e cultivo das entrelinhas com espécies não arbóreas;

b) Caracterização das linhas:

i) compostas por espécies arbóreas para a produção econômica (frutíferas e madeiras), para a produção de biomassa (“adubadeiras”) e para reflorestamento; estas podem ser nativas ou exóticas, de acordo com a finalidade produtiva do sistema; as árvores frutíferas, em geral, geram produção em médio prazo (a partir de 4 anos); as árvores madeiras, em menor quantidade, geram produção econômica a longo prazo (acima de 15 anos); as árvores adubadeiras e para reflorestamento, através das podas, permitem o aporte de matéria orgânica no solo e, com isso, aumentam a entrada de luz no sistema;

ii) bananeiras; plantadas entre as espécies arbóreas, com dupla finalidade: produção econômica de frutos no curto e médio prazo e produção de biomassa para cobertura e fertilidade do solo;

iii) muvuca de sementes; composta por sementes de adubação verde, árvores (principalmente nativas), e plantas de ciclo curto (milho, feijão, quiabo, mamão, etc.);

iv) arranjo das linhas podendo variar entre:

- linhas mistas; onde espécies arbóreas para produção econômica e “adubadeiras” são cultivadas na mesma linha;

- linhas especializadas; alternando linhas de árvores para produção econômica e linhas de árvores “adubadeiras”; neste último, a biomassa produzida na linha das adubadeiras deve ser transportada para cobertura do solo da linha das árvores de produção econômica;

v) espaçamento podendo variar entre 1 e 4 metros entre árvores;

c) Caracterização das entrelinhas:

i) entrelinhas com largura de 5 ou 6 metros, podendo chegar até 12 metros; entrelinhas mais largas permitem a mecanização, maior entrada de luz solar e oferecem maiores áreas para cultivos anuais: hortaliças, grãos ou espécies de adubação verde para produção de biomassa (gramíneas e/ou leguminosas);

ii) no caso de entrelinhas cultivadas com capim-mombaça, a biomassa produzida é cortada periodicamente e depositadas nas linhas de produção econômica de árvores como cobertura morta do solo, visando o controle de espontâneas sem uso de herbicidas, a manutenção da temperatura e umidade do solo, bem como o aporte de nutrientes para alimentar a vida no solo; vida abundante no solo resulta em matéria orgânica em decomposição constante, que por sua vez, fertiliza o solo e as plantas.

Este desenho de SAF em questão, com suas variações locais, vem sendo desenvolvido e praticado desde 2014 em situações de campo pela Embrapa Meio Ambiente (Figura 04) e por parceiros do setor produtivo, como a Fazenda São Luiz em São Joaquim da Barra, Sítio Clareira Agroflorestal em Jaguariúna, Sítio Agroflorestal em Terra Roxa, Fazenda Painal em Cravinhos, Fazenda da Toca em Itirapina e também por famílias do Assentamento Sepé Tiarajú em Serra Azul, todos os municípios do estado de São Paulo. Portanto, já existem diversas aplicações deste desenho básico em diferentes situações de ambiente produtivo e diferentes estágios de desenvolvimento.

Figura 4 – Vista aérea do modelo de SAF em questão no Sítio Agroecológico da Embrapa Meio Ambiente



Fonte: O autor, 2021

A Figura 05 ilustra o cultivo do capim na entrelinha deste sistema no momento de máximo desenvolvimento e anterior ao corte, onde pode ser observada a quantidade de biomassa produzida. A figura 06 demonstra o resultado do cultivo de capim nas entrelinhas do sistema após o corte da biomassa e amontoa da mesma ao lado das plantas de interesse econômico, ao longo de todas as linhas, dos dois lados, para que sejam obtidos os benefícios deste tipo de manejo.

Figura 5 – Sistema Agroflorestal antes do corte do capim da entrelinha.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 6 – Sistema Agroflorestal após o corte e amontoa do capim da entrelinha.



Fonte: O autor, 2021.

3.4 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

3.4.1 Preparo de solo

Para a implantação do experimento, foi realizado o preparo do solo com auxílio da grade aradora, grade niveladora e subsolador e houve aplicação exclusivamente de adubo fosfatado natural.

No dia 20/10/2020 foi realizado o primeiro preparo de solo com grade aradora. O mesmo trabalho foi repetido duas semanas após esta data. No dia 9/11/2020 foi feito o preparo de solo com grade niveladora. No dia 17/11/2020 foi realizada a descompactação em profundidade do solo com auxílio do subsolador.

No dia 24/11/2020 foi feita a adubação do solo com adubo fosfatado. Foram utilizados 160kg (4 sacos) de Yoorin Master®. O cálculo da quantidade de aplicação foi feito com base na análise de solo (Tabela 01), nas informações do fabricante do produto (Figura 07) e na recomendação de adubação prevista pelo Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (Werner et al., 1997) (Figura 08).

Tabela 1 – Análise de solo da área do experimento.

	Acidez	P	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	C.T.C.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V
	pH-CaCl ₂	mg/dm ³	-----				mmol/dm ³	-----						
PLENO SOL	4,8	9	3,8	20	8	24	31,8	55,8	0,23	1,6	74	21,4	1	57

SB: soma de bases; V: saturação por bases

Fonte: O autor, 2021.

Figura 7 – Informações técnicas do fabricante Yoorin.

Garantias (%)

PRODUTO	FÓSFORO (P ₂ O ₅)		GARANTIAS (%)							
	Total	Solúvel em Ácido Cítrico 2% (1:100)	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Si	Zn
Yoorin Master 1	17,0	16,0	18,0	7,0	-	0,10	0,05	0,30	10,0	0,51

Fonte: Yoorin Fertilizantes®, 2021.

Figura 8 – Recomendação de adubação para o capim-mombaça.

Quadro 1. Adubação de formação para forrageiras										
N no plantio	N aos 30-40 dias	P no solo, mg/dm ³				K no solo, mmol _c /dm ³				S
		0-6	7-15	15-40	>40	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	>3,0	
N, kg/ha		P ₂ O ₅ , kg/ha				K ₂ O, kg/ha				S, kg/ha
Gramíneas para pasto exclusivo, Grupo I										
0	40 ⁽¹⁾	100	70	40	0	60	40	0	0	20

Fonte: Werner et al., 1997.

Com 9mg/dm³ de P resina, é recomendada a aplicação de 70kg de P₂O₅ por hectare. Sabendo que existe 16% de P₂O₅ no fertilizante fosfatado, a quantidade de fertilizante a ser aplicado, por hectare, é de 437,5kg. A área do experimento cultivada com capim é de 1.404m² (0,1404ha), fazendo com que a quantidade total de fertilizante fosfatado recomendada para aplicação seja de 62kg.

A adubação foi realizada a lanço, de forma manual. Dividiu-se a área em faixas, com auxílio de estacas de bambu e barbante, a quantidade de fertilizante foi dividida igualmente para cada faixa, buscando manter a homogeneidade de aplicação em toda a área. Após a adubação, foi passada a grade niveladora para incorporação do fertilizante (Figura 09).

Figura 9 – Incorporação do fertilizante com grade.



Fonte: O autor, 2020.

3.4.2 Semeadura

A semeadura foi realizada a lanço, de forma manual, com densidade de semeadura de 3kg de sementes puras viáveis (SPV) por hectare. De acordo com Kichel e Kichel (2001), a taxa de semeadura foi obtida segundo a seguinte equação (Equação 01):

Equação 1 – Taxa de Semeadura

$$TS = \frac{SPV * 100}{VC} \quad 1$$

Onde: “TS” é a taxa de semeadura (kg/ha);

“SPV” é a quantidade de sementes puras viáveis recomendada em literatura (kg/ha);

“VC” é o valor cultural, que expressa a SPV de um determinado lote de sementes (%).

Para uma semeadura mais homogênea, dividiu-se a área em faixas, com auxílio de estacas de bambu e barbante. A semeadura foi realizada no dia 25/11/2020. Após a semeadura foi passada a grade niveladora para incorporação das sementes no solo.

3.4.3 Demarcação dos blocos e parcelas

Foi realizada a demarcação dos blocos e parcelas com auxílio de trena, estacas de bambu e barbante, de forma a delimitar a área para semeadura com as devidas dimensões, conforme delineamento experimental (item 3.6.1).

3.4.4 Corte de uniformização

No dia 11/02/2021 foi realizado o primeiro corte do capim do experimento. Foi feito um corte de uniformização, com o auxílio da roçadora rotativa montada ao trator. Todo o

capim das parcelas e blocos foram cortados com a mesma máquina. O próximo corte já foi realizado pelas máquinas testadas neste experimento (tratamentos).

3.5 MATERIAL

3.5.1 Caracterização da espécie cultivada (capim-mombaça)

O capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq) foi a cultivar de capim escolhida como cultura a ser utilizada para a realização dos experimentos propostos neste trabalho. Esta cultivar é extensamente utilizada em SAFs e apresenta quantidade e velocidade de produção consideravelmente alta quando comparadas às de outras cultivares e espécies de capim.

3.5.2 Caracterização das máquinas utilizadas

A escolha da máquina é muito relevante para a produtividade (MIALHE, 1974). Para o presente trabalho, que estuda a mecanização do manejo da biomassa de capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq) cultivado nas entrelinhas de SAFs, foram escolhidas 3 máquinas para serem testadas e gerar dados que possibilitem a comparação dos manejos, são elas: i) roçadora costal; ii) roçadora rotativa montada; iii) mini colhedora de grãos.

As duas primeiras máquinas foram escolhidas por serem as máquinas mais comumente empregadas no manejo de capim das entrelinhas de SAFs pela agricultura familiar. São máquinas disponíveis no mercado, mas que ainda não foram avaliadas e validadas cientificamente sob as perspectivas de produção e otimização dos manejos em entrelinhas de SAFs. A roçadora costal foi escolhida por ser a máquina mais utilizada para manejar as entrelinhas cultivadas com gramíneas em SAFs de áreas menores. A roçadora rotativa montada ao trator foi escolhida por ser um dos implementos mais utilizados para o manejo de gramíneas em áreas maiores. A mini colhedora de grãos foi escolhida por ser uma colhedora do tipo segadora que possui um sistema de corte diferenciado das roçadoras citadas anteriormente.

Através dos resultados obtidos por esta pesquisa foi possível avaliar a diferença do corte do capim pelos tratamentos em relação ao vigor de rebrota do capim, com a hipótese de que haja diferença na produção de biomassa ao longo dos ciclos de corte. Além disso, outros parâmetros também foram avaliados e discutidos, tais como a otimização da mão de obra, o

tempo de trabalho realizado por cada implemento, a viabilidade econômica de cada implemento conforme o consumo de combustível, o custo da mão de obra dos operadores das máquinas, a compactação do solo realizada pelas máquinas e os tempos necessários para amontoar o capim de acordo com o estado físico da biomassa resultante de cada tipo de corte.

Após o experimento de manejo da biomassa de entrelinhas de SAFs e coleta de dados, foram realizadas análises e comparações dos manejos das três máquinas citadas a cima, através do método da análise dimensional.

Existe hoje em dia no mercado uma outra máquina que se adequaria perfeitamente nos testes e comparações deste trabalho, a “Trincha Ecológica”, produzida pela empresa “Vicon”, sediada no município de Cotia, no estado de São Paulo. Durante o planejamento do experimento buscou-se conseguir o empréstimo desta máquina para ser testada, mas não houve êxito nesta parceria. Esta máquina traria resultados interessantes e, possivelmente, mais satisfatórios que as máquinas testadas. Isto se deve ao fato de que esta é uma máquina que possui sistema de distribuição lateral, através de uma esteira transportadora, que permite cortar o capim, triturar e descarregar a biomassa em faixas simétricas em ambos os lados, abaixo das plantas arbóreas cultivadas nas linhas de produção. Esta máquina é um implemento que é acoplado ao trator e corta o capim após o pisoteio do mesmo.

Estas características possivelmente implicariam, quando comparada aos outros tratamentos, em menores tempos de trabalho, menores tempos de amontoa de capim e consequentemente menores custos com mão de obra. Não foram encontrados trabalhos científicos que avaliassem o trabalho da Trincha Ecológica da Vicon em SAFs.

Foram utilizadas três máquinas diferentes no experimento deste trabalho, sendo duas máquinas comuns no mercado nacional e uma importada. As duas primeiras têm a característica positiva de que são acessíveis à agricultura familiar, enquanto a última, menos acessível, sua característica positiva é que possui um sistema de corte menos agressivo para as touceiras de capim. A escolha das máquinas foi feita baseada na hipótese de que, em relação às máquinas mais acessíveis (roçadora costal e roçadora rotativa montada), o manejo das entrelinhas de SAFs pode ser, por elas, otimizado; já em relação a última máquina (mini colhedora de grãos), esta foi escolhida pela hipótese de que seu corte resulta na produção de maior volume de biomassa de capim a cada corte, além de poder, também, otimizar o manejo.

A mini colhedora de grãos possui um sistema de corte de qualidade superior às outras máquinas testadas, por ser um corte liso, parecido com o da colhedora de soja, que muito

pouco danifica a touceira de capim. Este corte mantém a touceira mais saudável para o próximo ciclo de produção, o que, possivelmente, resultará em maiores produções após os cortes. É uma máquina pequena, utilizada neste trabalho como protótipo para obtenção de dados e comparação do trabalho das máquinas. Pensando em maquinário para SAFs, seria mais ideal que o sistema de corte da colhedora de grãos estivesse em máquinas de porte maior.

3.5.2.1 Roçadora Costal

Máquina que possui lâminas que giram através da força gerada pela tomada de potência (TDP). Máquina portátil, pesa no máximo 14kg, é equipada com um pequeno motor que, através de um prolongamento, permite a rotação de um disco de corte montado na extremidade. Podem ser instalados discos adaptados a diversas situações, permitindo a utilização da máquina no corte de gramíneas e para operações de desbaste. A sustentação da roçadora costal faz-se mediante uma cinta colocada no tronco do utilizador.

A roçadora costal é a máquina mais comumente utilizada para o manejo da biomassa das estrelinhas de SAFs. Devido à complexidade de manejo destes sistemas, que acabam por restringir o manejo às práticas manuais, o tamanho reduzido das áreas cultivadas com SAFs faz com que a roçadora costal seja normalmente adotada para o manejo em questão. Cabe aqui ressaltar que existem diversas variações de desenho, composição e finalidades de tipos de SAFs, este trabalho estuda um dos tipos de SAFs, aqueles nos quais as entrelinhas são cultivadas com capim para produção de biomassa para cobertura do solo das linhas de árvores, o qual comumente observa-se a utilização da roçadora costal para o manejo da entrelinha. A roçadora costal deixa as folhas do capim inteiras e espalhadas. Por estas características esta máquina foi escolhida para compor os parâmetros estudados neste trabalho.

A primeira máquina testada foi a roçadora costal Husqvarna, modelo 143R-II, à gasolina (Figura 10a). A cilindrada do motor é de 41.5 cm³, a potência é de 1,5 kW / 2,01 hp à velocidade máxima de 7.500 rpm e o volume do tanque de combustível é de 0,95 litros. A lâmina de corte utilizada nos testes foi a de 3 pontas (Figura 10b).

Figura 10 – (a) Roçadora costal 143R-II; (b) Lâmina de 3 pontas (direita).



Fonte: O autor, 2021.

3.5.2.2 *Roçadora Rotativa Montada*

Implemento composto, além de outras partes, por uma barra de tração. Nesta barra existe o engate para que possa ser acoplado à um trator. O engate deve estar a uma altura adequada de modo que o cabeçalho esteja paralelo ao solo e na mesma linha de tração da máquina engatada. De modo geral, o implemento é composto por um chassi, cabeçalho, mão francesa, cardam, multiplicador, patins laterais, capa de proteção, roda de ferro e engate. Esta roçadora possui a finalidade de limpezas leves, corte de forrageiras, controle de ervas e plantas espontâneas. Este implemento possui rotores que giram no sentido anti-horário. Soares (2011) recomenda que a altura de corte seja 40mm acima do solo. A regulagem de altura de corte é efetuada através dos esquis que são equipados com sistema de regulagem de altura e da roda guia. Também é possível regular a altura de corte através da alavanca do hidráulico e através de ajustes na roda guia.

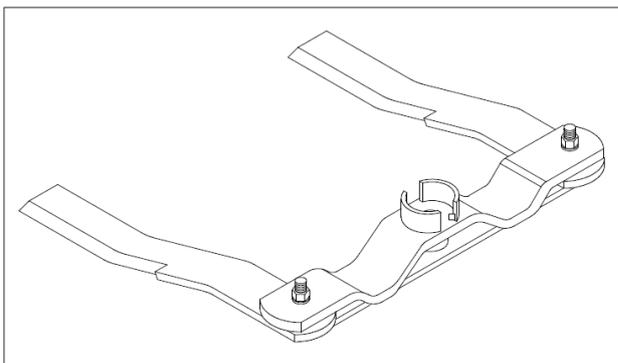
Apresentam grande facilidade de operação, sendo acopláveis aos três pontos do trator (sistema hidráulico) com posicionamento de trabalho central ou lateral. São acionadas pela TDP do trator, através de cardam que transmite o movimento ao conjunto da caixa de redução.

A roçadora rotativa montada é um implemento que também é diversas vezes observado em manejos da entrelinha dos SAFs, assim como a roçadora costal, mas em menor

quantidade. É um implemento que requer um trator para que possa ser utilizado. Este fato restringe a utilização desta máquina para agricultores que tenham acesso ao trator. Esta máquina é empregada principalmente para o manejo de SAFs de tamanhos maiores. Esta máquina agiliza o manejo da biomassa das entrelinhas consideravelmente quando comparada à roçadora costal, além de reduzir o esforço físico e/ou o custo com mão de obra. A roçadora rotativa montada corta, tritura e espalhada o capim. Por estas características esta máquina foi escolhida para compor os parâmetros estudados neste trabalho.

A segunda máquina testada foi a roçadora rotativa montada da marca Jumil, modelo JM-RUTD-A 1.4, ano 2010, série 185.045-1, com largura de corte de 1,3m, a altura de corte entre 2 e 10 cm, possui 2 facas (Figura 11), a rotação das facas varia de 800 a 1.100 rpm, peso de 342kg, largura de 1,5m, comprimento de 1,95m e altura de 1,13m. É uma roçadora de transmissão direta e com isso aproveita melhor a potência do trator, evita paradas para ajustes de correias, proporciona maior agilidade e ganho de tempo nas operações. A caixa de redução é equipada com sistema de segurança por embreagem de fricção e giro livre, que tem a função de proteger o sistema de transmissão contra possíveis impactos nas operações de trabalho (JUMIL, 201-).

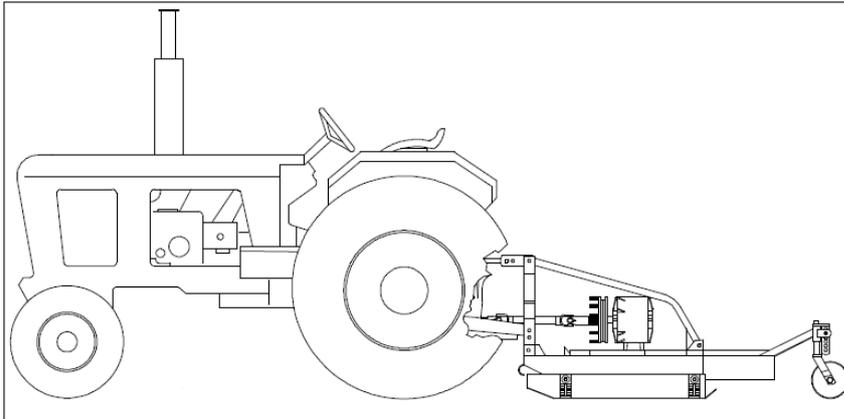
Figura 11 – Detalhe das facas de corte instaladas na roçadora.



Fonte: JUMIL, 201-.

Esta roçadora necessita estar acoplada ao sistema de 3 pontos de um trator e ser acionada pela força da tomada de potência (TDP) do mesmo para que o trabalho seja executado (Figura 12).

Figura 12 – Roçadora rotativa acoplada ao sistema de três pontos do trator.



Fonte: JUMIL, 201-.

O trator utilizado no experimento para acionar a roçadora foi um trator da marca Tramontini (Figura 13), modelo T5045-4, 4x4, Série Brasil Cafeeiro, com largura total de 1,170m, direção hidrostática, comando auxiliar hidráulico, embreagem duplo estágio, TDP - 540 - 1000 rpm, 50 CV de potência e motor 4 cilindros.

Figura 13 – Trator e roçadora utilizados no experimento.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.2.3 *Mini Colhedora de Grãos*

É uma máquina colhedora do tipo segadora, criada para colher grãos, como arroz e trigo, mas que foi utilizada neste trabalho para cortar o capim devido ao seu sistema de corte diferenciado das roçadoras, para fins de comparação. É uma máquina do porte de um motocultivador tratorito, também controlada pelo operador que segue caminhando atrás da máquina, operando a mesma. A TDP desta máquina é utilizada para o sistema de corte e transporte da biomassa.

O operador controla a direção, aceleração e câmbio da máquina, que por sua vez, se desloca com a aceleração do motor, corta e transporta para o lado a biomassa colhida. Conforme a máquina se desloca, a biomassa entra pelo conjunto divisor que a direciona para as lâminas de corte. Depois de cortada, a biomassa é transportada para a lateral da máquina, onde é, então, depositada no solo em feixes. Esta maneira de deposição da biomassa, no caso do capim, facilita o trabalho posterior de rastelar e cobrir o solo das linhas de produção, principalmente, também, porque esta máquina possibilita que as folhas do capim se mantenham inteiras.

A máquina utilizada neste experimento foi importada da China por um grupo de produtores rurais do estado de São Paulo, através de uma compra coletiva, o que possibilitou a diminuição considerável dos valores de compra e importação para cada produtor. Esta máquina foi comprada para testes de manejo de capim, baseados em uma hipótese de Ernst Götsch de que o tipo de corte desta máquina seria o corte ideal para manejar o capim das entrelinhas de SAFs, uma vez que esta realiza um corte mais liso, ou seja, com bem menos danos à touceira do capim. Por corte liso entende-se aquele feito de maneira a prejudicar menos a touceira e permitir menos chances de entrada de patógenos na planta.

Além da maior qualidade do corte desta máquina quanto aos danos causados nas touceiras de capim, outro fator importante para a escolha desta máquina foi que seu corte é frontal, ou seja, é realizado anteriormente ao pisoteio do capim pelas rodas da máquina e pelo operador. Este fator traz mais eficiência para o manejo pois, em observações realizadas em campo, percebe-se que quando o corte é realizado por implemento traseiro, as rodas do trator pisoteiam as touceiras e amassam as mesmas, de forma que as lâminas do implemento não alcancem o capim para realizar o corte com eficiência e homogeneidade. Isto acaba por criar faixas de capim não cortados.

Este tipo de corte pode resultar em touceiras mais saudáveis e possibilitar um maior vigor de rebrota, de forma que o capim demandará menos energia para se recuperar dos danos causados pelo manejo. Se esta hipótese estiver correta, espera-se que a rebrota do capim manejado por esta máquina se dê mais rapidamente e a produção de biomassa para o próximo corte seja maior, quando comparado aos capins manejados pelas roçadoras.

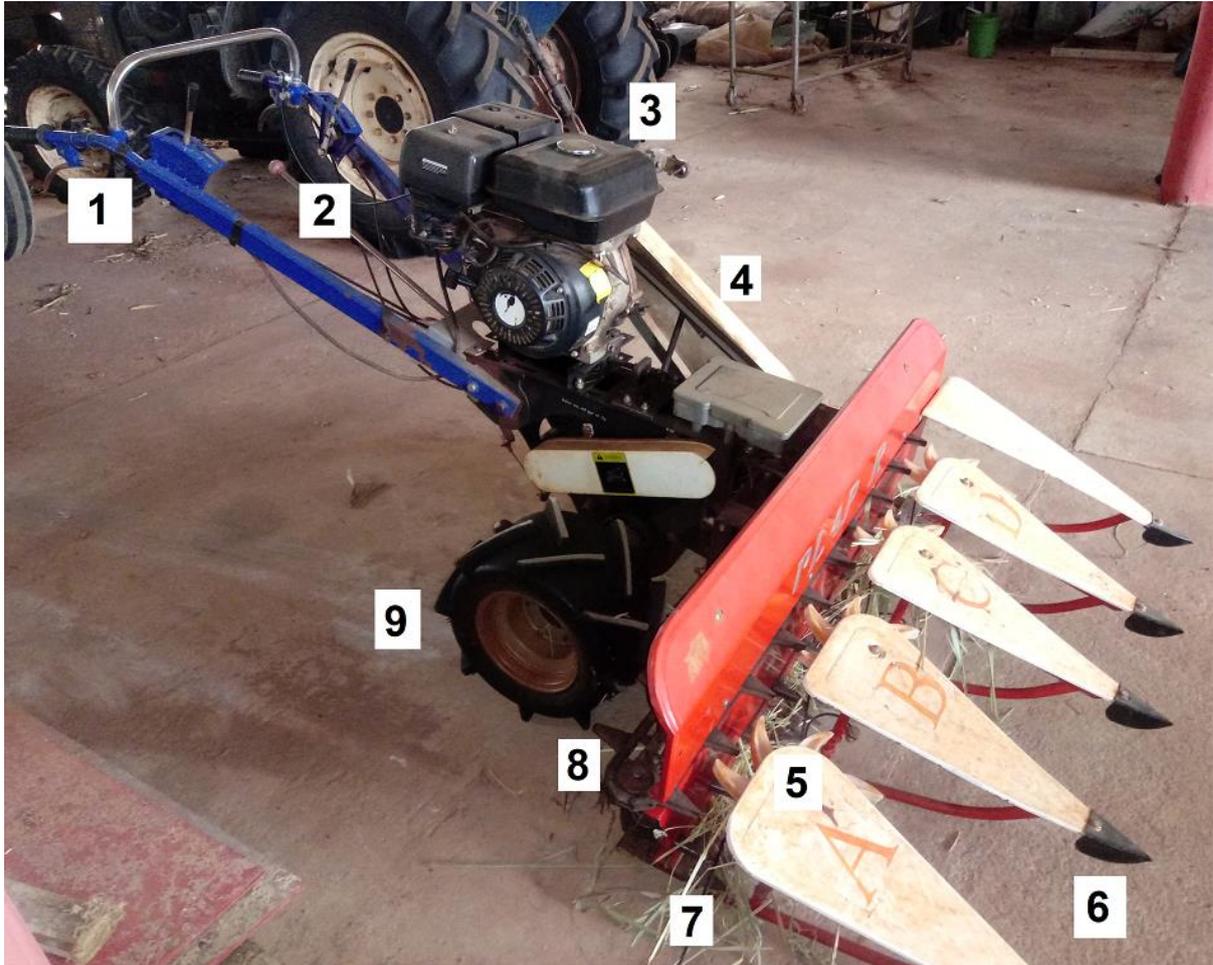
Esta máquina é de pequeno porte e foi utilizada neste experimento, assim como foi utilizada pelos proprietários da mesma, como protótipo para os testes relativos ao tipo de corte da máquina. Ao pensar em mecanização para SAFs e a expansão deste sistema para grandes áreas, o objetivo de Ernst Götsch é desenvolver uma máquina de grande porte com as mesmas características, o que possibilitará o manejo extensivo.

Os resultados observados pelos proprietários da máquina foram positivos em relação ao corte das touceiras e do vigor da rebrota do capim, mas não impressionaram muito devido às dificuldades de operação observadas nesta máquina em questão. Ficou claro que o corte era bom, mas a operação ficava comprometida devido ao fato de ser uma máquina projetada para colher grãos, como arroz, trigo, cevada e soja, e o trabalho desta com touceiras de capim acarretava no embuchamento frequente da máquina.

Através de uma parceria firmada entre a Embrapa Meio Ambiente – onde foram realizados os experimentos – e uma destas empresas que compraram as máquinas – o Instituto Nova Era – foi possível utilizar a mesma para os experimentos deste trabalho. Por estas características esta máquina foi escolhida para compor os parâmetros estudados neste trabalho.

A mini colhedora de grãos (Figura 14) utilizada neste experimento para manejar o capim é uma Reaper Machine modelo 4G-120A, é uma colhedora do tipo segadora. É uma máquina criada para colher grãos, como arroz e trigo. Esta máquina corta a uma altura de corte mínima de 5cm, tem 1,2m de largura de trabalho, trabalha a uma velocidade de 2,6 a 6,2km/h, tem peso líquido de 90kg e bruto de 120kg, transmissão por engrenagem, dimensões de 1m de largura, 2,05m de comprimento e 0,57m de altura. A potência combinada do motor é de 6,6kw (9 cavalos), o qual consome de 8,15 a 12,11L de gasolina por hectare. É uma colhedora automotriz guiada por um operador que caminha junto com a máquina, colhe 4 filas ao mesmo tempo, com um rendimento de 2.000 a 2.600m² por hora de trabalho (0,2 a 0,26 ha/h).

Figura 14 – Mini colhedora de grãos: 1- acelerador; 2- câmbio; 3- motor; 4- correia; 5- roda-estrela; 6- conjunto divisor; 7- lâminas de corte; 8- corrente transportadora; 9- roda.



Fonte: O autor, 2021.

O sistema de corte desta máquina é composto por pelo conjunto divisor (Figura 15) que atua para separar e direcionar o material para as lâminas de corte (Figura 16a). Após o corte, a corrente transportadora (Figura 16b) e as rodas-estrela trabalham juntas para empurrar e depositar o trigo perfeitamente no solo ao lado direito da máquina e operador. O espaço entre as lâminas é de 12,7cm, o diâmetro da roda estrela é de 28cm e a corrente transportadora trabalha com a velocidade de 2,24m/s.

Figura 15 – Conjunto divisor.



Fonte: O autor, 2021.

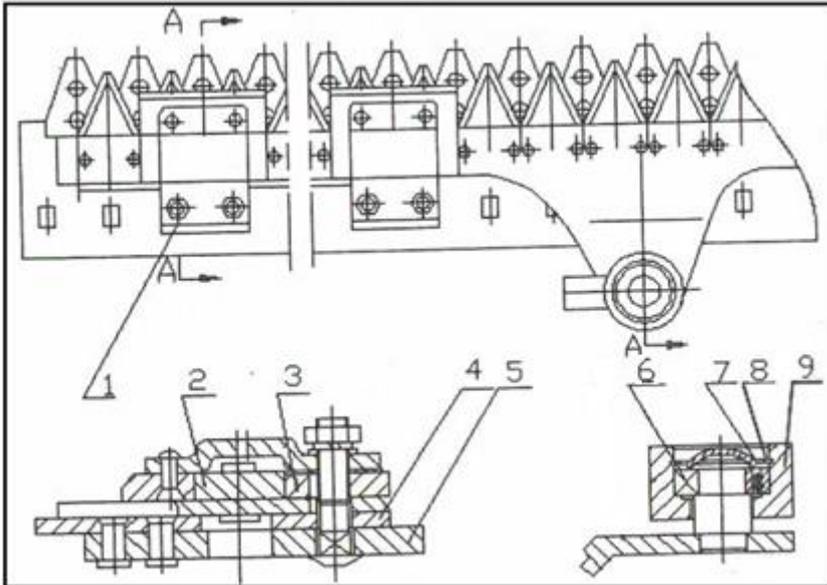
Figura 16 – (a) Lâminas de corte; (b) Corrente transportador.



Fonte: O autor, 2021.

As lâminas de corte são instaladas na parte inferior da plataforma de corte, que é a parte principal de trabalho da máquina. Seu desempenho influenciará diretamente a máquina. Quando a máquina está funcionando, a caixa de engrenagens, o pino do eixo excêntrico e a biela irão se mover para fazer as lâminas fixas e móveis se moverem, de modo a cortar a colheita. O sistema de corte é composto principalmente pelo dispositivo de rebiteamento que pressiona a faca, rebiteamento das lâminas móveis, placa de fricção superior, placa de fricção inferior, rebiteamento das lâminas fixas, rolamento, tampa bloqueadora de poeira, anel para furo e tampa da biela. (Figura 17).

Figura 17 – Sistema de corte: 1) Dispositivo de rebitagem que pressiona a faca; 2) Rebitagem das lâminas móveis; 3) Placa de fricção superior; 4) Placa de fricção inferior; 5) Rebitagem das lâminas fixas; 6) Rolamento; 7) Tampa bloqueadora de poeira; 8) Anel para furo; 9) Tampa da biela.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.3 Caracterização dos equipamentos para coleta de dados

3.5.3.1 *Penetrômetro digital*

O penetrômetro digital DLG PNT 2000 (Figura 18) utilizado para a determinação dos dados de resistência mecânica à penetração, em função da profundidade, foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação e Controle da FEAGRI/UNICAMP, juntamente com a empresa DLG – Automação Industrial (SILVA, 2002). O aparelho trabalha até a profundidade máxima de 660 mm, suporta uma força de até 100 kgf para penetração e possui a ponta da haste no padrão ASAE A ou B.

Figura 18 – Penetrômetro digital PNT 2000.



Fonte: Albiero, 2006.

3.5.3.2 *Trado holandês*

Como ferramenta para coleta de material para posterior análise de umidade do solo foi utilizado o trado holandês (Figura 19). A ferramenta é feita de aço inox e o comprimento da ponteira é de 10cm, o que permite coletas de solo a cada 10cm de profundidade.

Figura 19 – Trado holandês.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.3.3 *Tesourão de poda*

Para as coletas de biomassa do capim-mombaça foi utilizado o tesourão de poda (Figura 20), também chamado de tesoura para cerca viva. Esta ferramenta propiciou uma melhor padronização na altura de corte das touceiras do capim, uma vez que possui lâminas compridas e retas. As coletas de biomassa com o tesourão de poda foram realizadas momentos antes do corte dos tratamentos. A ferramenta é da marca Trapp, modelo TS-30886, possui

lâmina ondulada em aço carbono teflonado, cabo em tubo de aço oval e 56cm de comprimento com o cabo.

Figura 20 – Tesourão de poda.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.3.4 Recipientes para determinação de biomassa e umidade

Os recipientes utilizados para as coletas de amostras de biomassa de capim e coletas de solo foram sacos plásticos. Estes sacos plásticos foram lacrados com nó cego assim que os materiais coletados foram inseridos neles, para que não houvesse perdas de água durante o tempo entre a coleta e a pesagem.

3.5.3.5 Balança de precisão

Para as medições de peso de biomassa do capim fresco e desidratado foi utilizada a balança de precisão semi-analítica modelo AD5002 (Figura 21), aprovada pelo Inmetro conforme portaria Inmetro/dimel nº 0008 de 05 de janeiro de 2012, fabricada pela Marte, com resolução de 0,01g, com tara subtrativa em toda escala, mostrador digital de cristal líquido (LCD) com 8 dígitos, capacidade de pesagem de 0,01 a 5010g, dimensões de 240mm de largura por 80mm de altura por 320mm de comprimento, o prato possui as dimensões de 160 x 200mm. A tensão de trabalho é de 110/220V, frequência 50/60Hz. A balança acompanha selo de aferição inicial do IPEM (Instituto de Pesos e Medidas).

Os materiais coletados em campo e lacrados em sacos plásticos foram pesados nesta balança. Em seguida, estes materiais foram colocados em sacos de papel e levados para estufa com temperatura de 50°C até a estabilização do peso. Por último, a massa seca foi pesada na balança e registrada.

Figura 21 – Balança de precisão Marte AD5002.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.3.6 Gabarito

Para as demarcações das unidades amostrais dentro das parcelas, onde foram feitas as coletas de biomassa e dos dados de monitoramento do desenvolvimento das touceiras após os tratamentos (cortes de cada máquina testada), foi confeccionado e utilizado um gabarito quadrado de 0,25 m² (50 x 50 cm) com canos e cotovelos de PVC (Figura 22).

Figura 22 – Gabarito de PVC.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.3.7 Cronômetro

Para as medidas de tempo de manejo das máquinas nas parcelas foram utilizados cronômetros de aparelhos celulares, com fundo de escala de 1 segundo.

3.5.3.8 Régua vertical

A régua vertical (Figura 23), utilizada para medidas de monitoramento do crescimento do capim após os cortes pelos tratamentos (altura de corte e altura de dossel), foi confeccionada a partir da fixação de uma trena comum em uma ripa de madeira de 2 metros.

Figura 23 – Régua vertical.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.3.9 Trena

As trenas utilizadas para delimitar as parcelas e localizar os pontos sorteados nas parcelas foram trenas de fibra de vidro de 50m, modelo PJ501, classe III, da marca Starfer (Figura 24).

Figura 24 – Trena.



Fonte: O autor, 2021.

3.5.3.10 Anéis de identificação

Foram utilizados amarrilhos de arame (Figura 25) para identificar as unidades de perfilhos e rebrotações selecionadas para medição do desenvolvimento ao longo do tempo após cada corte realizado pelas máquinas testadas.

Figura 25 – Amarrilho de arame.



Fonte: O autor, 2021.

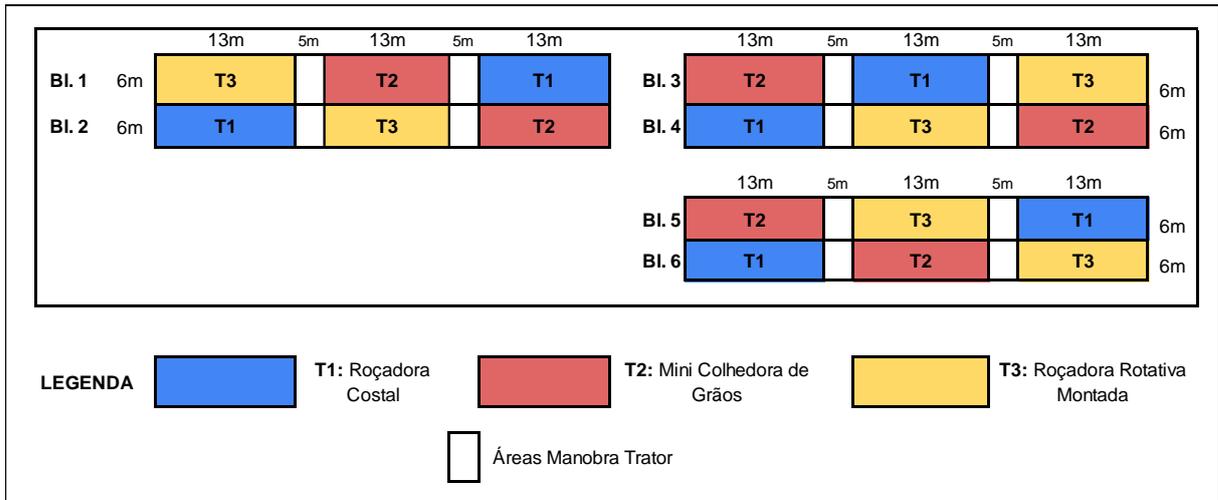
3.6 MÉTODOS

3.6.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, definido por COSTA (2003). O projeto foi completamente aleatório. Cada bloco foi constituído por 3 parcelas. Cada parcela de um bloco corresponde a um tratamento. O experimento foi constituído por 6 blocos, ou seja, 6 repetições. Isto contabiliza um total de 18 parcelas no experimento.

Como pode ser observado na Figura 26, cada bloco mede 49m de comprimento por 6m de largura, totalizando 294m². Os blocos foram compostos por 3 parcelas de 13m de comprimento por 6m de largura (78m²) e mais 2 áreas de manobra das máquinas, entre as parcelas, de 5m de comprimento por 6m de largura (30m²). Desta maneira, a área de plantio de capim para o experimento, ou seja, a somatória das áreas das 18 parcelas, totalizou 1.404m². A área total dos blocos foi de 1.764m².

Figura 26 – Croqui da área experimental contendo as divisões dos blocos e parcelas.

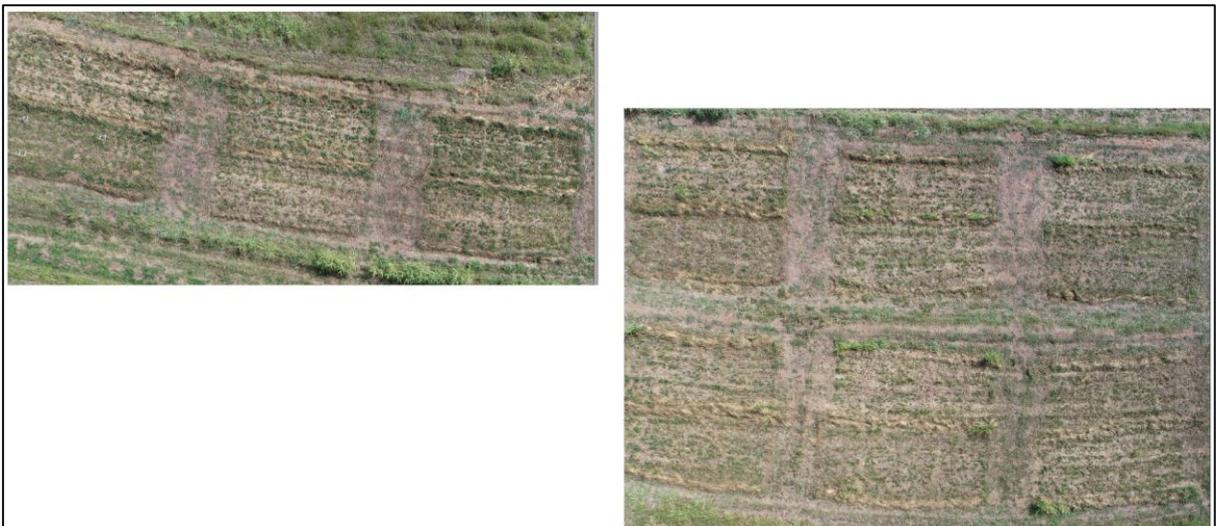


Fonte: O autor, 2021.

Cada parcela recebeu a terminologia de acordo com o número do bloco e o tratamento em questão, por exemplo, BL1-T1, BL3-T2, etc. O tratamento 1 (T1) diz respeito ao tratamento “roçadora costal”; o tratamento 2 (T2) diz respeito ao tratamento “mini colhedora de grãos”; o tratamento 3 (T3) diz respeito ao tratamento “roçadora rotativa montada ao trator”.

A Figura 27 é uma imagem aérea que ilustra a divisão dos blocos e parcelas. A imagem foi registrada por drone no dia 21/05/2021, 23 dias após o primeiro corte do capim pelos tratamentos.

Figura 27 – Foto aérea dos blocos e parcelas, 23 dias após o primeiro corte dos tratamentos.



Fonte: O autor, 2021.

Após cada ciclo de corte do capim pelos tratamentos, foram demarcadas aleatoriamente 3 unidades amostrais de 50cm por 50cm (0,25m²) com estacas de bambu, em cada parcela de cada bloco (Figura 28), totalizando 18 unidades amostrais por tratamento e um total de 54 unidades em todos os blocos, a cada ciclo de corte. Nestas unidades amostrais foram coletados os dados de monitoramento do desenvolvimento do capim pós corte: VR (velocidade de rebrota) e AC (altura de corte). Foram coletados também nestas unidades amostrais dados referentes às quantidades de rebrotações e surgimento de novos perfilhos, que foram utilizados no cálculo da VR.

Figura 28 – Demarcação das unidades amostrais



Fonte: O autor, 2021.

O dado mais importante, o peso da massa seca (MS) produzida, foi coletado em unidades amostrais de 1m por 1m (1m²), sendo seu vértice o mesmo das unidades amostrais demarcadas na descrição anterior. Desta maneira foram coletadas 3 amostras de MS por parcela, ao final de cada ciclo de corte, sempre nas vésperas do tratamento (corte das máquinas) do ciclo de corte seguinte.

3.6.2 Método para obtenção de dados

Os dados do experimento em campo foram obtidos a partir da medição dos parâmetros escolhidos para representar o fenômeno em estudo: corte mecanizado do capim. Os dados referentes aos parâmetros foram coletados com periodicidade pré-definida, ao longo do período do experimento, em sua maioria a cada ciclo de corte do capim pelas máquinas testadas. Estas máquinas utilizadas para cortar o capim foram definidas neste trabalho como “tratamentos”.

Foram realizados 3 ciclos de corte do capim pelos tratamentos (Tabela 02): de abril a novembro de 2021 (outono, inverno e primavera), de novembro de 2021 a janeiro de 2022 (primavera e verão) e de janeiro a abril de 2022 (verão e outono). Um ciclo de corte se refere ao intervalo de tempo entre um corte do capim e outro. É o tempo que a planta leva para alcançar o ponto de corte. Esse tempo é determinado de acordo com o desenvolvimento do capim, o que faz com que o ciclo de corte do outono e inverno seja mais longo que os ciclos de cortes da primavera e verão. Isto ocorre devido à diferença da velocidade de crescimento da planta, para que se atinja o ponto de corte, nas diferentes épocas do ano.

Tabela 2 – Cronograma dos ciclos de corte e coleta dos dados (RP=Resistência à penetração; TM=Tempo de manejo; CC=Custo de consumo de combustível; MO=Valor de mão de obra; AC=Altura de corte; TA= Tempo de amontoa; VR=Velocidade de rebrota; MS=Massa seca).

Ano	Mês	Atividade	Ciclo de corte	Estação	Parâmetros avaliados
	Fevereiro	Corte de uniformização	-	verão	-
	Março	-	-	verão/outono	-
	Abril	1º corte dos tratamentos	começo do 1	outono	RP; TM; CC; MO; AC; TA
	Maio	-	1	outono	VR
	Junho	-	1	outono/inverno	-
2021	Julho	-	1	inverno	-
	Agosto	-	1	inverno	-
	Setembro	-	1	inverno/primavera	-
	Outubro	-	1	primavera	-
	Novembro	2º corte dos tratamentos	término do 1, começo do 2	primavera	MS; TM; CC; MO; AC; TA
	Dezembro	-	2	primavera/verão	VR
	Janeiro	3º corte dos tratamentos	término do 2, começo do 3	verão	MS; TM; CC; MO; AC; TA
2022	Fevereiro	-	3	verão	VR
	Março	-	3	verão/outono	-
	Abril	-	término do 3	outono	MS; RP

Fonte: O autor, 2022.

A cada ciclo de corte, os dados foram coletados em 3 momentos: i) antes do corte; ii) durante o corte; iii) após o corte. Anteriormente ao corte foram coletados os dados relativos à altura de dossel, peso da matéria seca produzida (MS), resistência à penetração (RP) e umidade do solo (estes dois últimos foram realizados apenas anteriormente ao primeiro corte). Durante o corte foi coletado o dado referente ao tempo de manejo (TM). Após o corte foram coletados os dados referentes à velocidade de rebrota do capim (VR), densidade de touceiras, quantidade de perfilhamento e rebrotação, altura de corte, valor do consumo de combustível (CC), custo da mão de obra (MO), tempo de amontoa do capim cortado (TA), resistência à penetração e umidade do solo (estes dois últimos foram realizados apenas após o último ciclo de cortes).

Após cada corte dos tratamentos foram demarcadas 3 unidades amostrais de 0,25m² em cada parcela. Estas unidades amostrais foram os locais onde todos os dados de monitoramentos foram coletados após o corte, no início de cada ciclo de corte. Para isso, as parcelas foram desenhadas no papel e divididas em quadrados de 0,25m², os quais foram numerados, excluindo-se 1m das bordas. As 3 unidades amostrais de cada parcela foram definidas a partir do sorteio destes números e, em seguida, demarcadas nas parcelas em campo, com estacas de bambu. Desta maneira, cada tratamento teve 18 unidades amostrais por ciclo de corte onde os dados foram coletados, sendo 3 por parcela e 6 parcelas por tratamento. O total de unidades amostrais por ciclo de corte foi de 54. Uma vez que houve 3 ciclos de corte, todo este procedimento foi realizado 3 vezes.

Por conta dos sorteios realizados a cada ciclo de corte para definição da localização das unidades amostrais, as localizações destas dentro das parcelas mudaram a cada ciclo.

3.6.2.1 Contagem dos perfilhos e rebrotações

A contagem do número de perfilhos e rebrotações foi realizada três vezes ao longo do experimento, uma a cada ciclo de corte, para que seus dados pudessem servir de base para o cálculo da velocidade de rebrota do capim (VR). Esta contagem foi feita em todas as unidades amostrais. A medição foi realizada a partir da observação e contagem total das quantidades de perfilhos e rebrotações, sempre 21 dias após cada corte, quando já era possível identificar nas touceiras o surgimento das rebrotas em questão. Em seguida, foi feito o cálculo da porcentagem de perfilhos e rebrotações existentes em cada unidade amostral, a cada ciclo de corte.

3.6.2.2 *Velocidade de rebrota do capim*

Visando observar a resposta das touceiras de capim quanto à rebrota, após cada tipo de corte (tratamento), foram coletados dados relativos ao comprimento das folhas dos perfilhos e rebrotações, os quais foram previamente selecionados e identificados nas touceiras de capim demarcadas nas unidades experimentais. Após o corte pelos tratamentos, sorteio e definição da localização das unidades amostrais, foram feitas 2 medições do comprimento das folhas, a primeira 7 dias após o corte e a segunda 42 dias após o corte, com o auxílio de uma trena (Figura 29).

Figura 29 – Medição do comprimento foliar.



Fonte: O autor, 2021.

Segundo Oliveira et al. (2000) é possível medir a velocidade de rebrota do capim em centímetros por dia, que os autores chamam de “taxa de alongamento”, a partir da subtração do valor do comprimento final (42 dias após o corte) pelo valor do comprimento inicial (medido 7 dias após o corte) e, em seguida, dividindo-se a diferença pelo número de dias envolvidos (35 dias), conforme a Equação 02.

Equação 2 – Velocidade de rebrota do capim

$$VR = \frac{CF - CI}{ND} \quad 2$$

Onde: “VR” é a velocidade de rebrota do capim (cm/dia);

“CF” é o comprimento final do capim (cm);

“CI” é o comprimento inicial do capim (cm);

“ND” é o número de dias envolvidos (dia).

Para garantir que as medições do comprimento inicial e final sejam feitas nos mesmos perfilhos e rebrotações, foram utilizados amarrilhos de arame para identificá-los no momento da sua definição e medição inicial, nas touceiras dentro de cada unidade amostral. Foram realizadas 12 medições por parcela (tratamento), sendo 4 por unidade amostral. Destas 4 medições, 2 foram obtidas em perfilhos e 2 em rebrotações.

Para definir as touceiras dentro da unidade amostral que tiveram os perfilhos e rebrotações marcados com amarrilhos para medição, foi feita, em desenho em papel, a divisão da unidade amostral em 9 quadrados menores, numeração dos quadrados de 1 a 9, sorteio destes números 2 vezes, escolha e marcação aleatória de perfilhos e rebrotações dentro destes 2 quadrados menores sorteados. Desta forma foi possível marcar e medir 2 perfilhos e 2 rebrotações por unidade amostral. As unidades amostrais, de 0,25m², quando divididas em 9, resultaram em quadrados de 0,028m², o que equivale a quadrados com lados de 0,17m.

Em seguida, para que fosse obtido um único valor médio de VR por parcela, foi feita uma média dos 12 valores obtidos em cada parcela. O cálculo foi feito com base na quantidade de perfilhos e rebrotações existentes nas unidades amostrais. A partir da contagem do número de perfilhos e rebrotações, foram calculadas as porcentagens de perfilhos e rebrotações existentes em cada unidade amostral. Depois foram calculadas as médias das velocidades de rebrota dos perfilhos e das rebrotações por unidade amostral, levando em consideração as quantidades de cada tipo de rebrota. Após isso foi feito o cálculo da velocidade de rebrota por unidade amostral (Equação 03).

Equação 3 – Velocidade de rebrota do capim por unidade amostral

$$VR(ua) = MVRp * Pp + MVRr * Pr \quad 3$$

Onde: “VR(ua)” é a velocidade de rebrota do capim por unidade amostral (cm/dia);
 “MVRp” é a média da velocidade de rebrota do perfilho (cm/dia);
 “Pp” é a porcentagem da quantidade de perfilhos na unidade amostral (%);
 “MVRr” é a média da velocidade de rebrota da rebrotação (cm/dia);
 “Pr” é a porcentagem da quantidade de rebrotações na unidade amostral (%).

Por fim, para poder relacionar e comparar os valores com todos os tratamentos na análise dimensional, foi feito o cálculo da velocidade de rebrota por parcela (tratamento) a partir da média dos resultados obtidos nas 3 unidades amostrais de cada parcela.

3.6.2.3 *Altura do corte*

A altura do corte das touceiras interfere na qualidade das rebrotas, na produção de biomassa, no valor nutricional, nos componentes estruturais da planta e também nas frações de proteína do capim-mombaça (SILVA et al., 2009).

Para encontrar a altura de corte, foi utilizada uma régua vertical graduada em centímetros apoiada no solo ao lado das touceiras, onde foi observada a medida da distância entre o solo e o corte das máquinas (Figura 30). Foi estimado um valor por unidade amostral, sendo este obtido pela média das medições de três alturas distintas e aleatórias dentro da unidade amostral.

Figura 30 – Medição da altura de corte das touceiras com a régua.



Fonte: O autor, 2021.

3.6.2.4 Tempo de manejo

É sabido que máquinas agrícolas reduzem o tempo humano gasto com os trabalhos. Visando um embasamento mais completo para a análise e discussão dos resultados, no que diz respeito ao tempo utilizado para o corte do capim, foram cronometrados os tempos gastos por cada máquina para roçar o capim das parcelas (de 13m x 6m).

O corte das parcelas foi feito em faixas, até que fosse cortado o capim de toda a parcela. O tempo de manejo de cada máquina na parcela foi obtido pela soma dos tempos de corte de cada faixa da parcela. Desta maneira, foram descartados os tempos de manobra das máquinas para realizar o corte da faixa seguinte da mesma parcela.

Para isso, foi dada a largada na cronometragem do tempo quando a máquina iniciou o corte de cada faixa da parcela. Ao final de cada faixa foi parada a cronometragem. O tempo de manejo foi obtido, então, pela somatória dos tempos observados durante os cortes das faixas das parcelas (Figura 31).

Figura 31 – Cronometragem do tempo de manejo em cada parcela.



Fonte: O autor, 2021.

3.6.2.5 Valor do consumo de combustível

A quantificação do valor gasto com combustível é importante para a avaliação e comparação da eficiência das máquinas escolhidas para testes neste trabalho. Foram utilizadas máquinas de tamanhos diferentes, bem como os pesos, os motores e os tipos de combustível utilizados por elas (gasolina e diesel). Ambos combustíveis têm preços e rendimentos

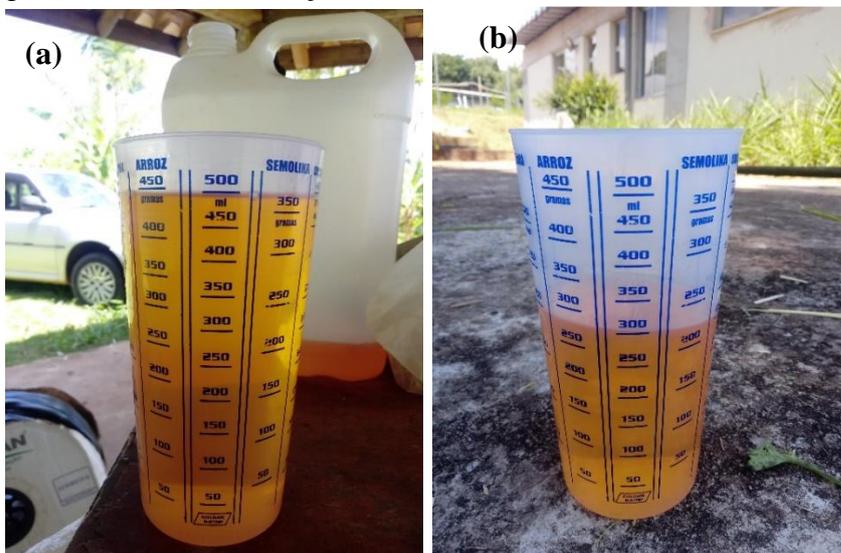
diferenciados, assim como cada tipo de máquina possui diferentes valores de consumo e demora tempos diferentes para manejar um mesmo tamanho de área.

Desta forma, para que fosse possível comparar, através da análise dimensional, o valor do consumo de combustível das máquinas, levando em consideração todos estes fatores, foi necessário realizar um cálculo de correlação dos valores para que pudesse ser obtido um único valor, em unidades correspondentes. Foram considerados 3 fatores a serem correlacionados: (a) o consumo de combustível de cada máquina, (b) o tempo de manejo por tratamento (TM) e (c) o preço do combustível. Os métodos de obtenção dos valores destes fatores são descritos a seguir:

a) Consumo de combustível: foram utilizados 2 métodos similares para a obtenção deste valor, de acordo com porte da máquinas e capacidade de manuseio das mesmas.

Para a roçadora costal e mini colhedora de grãos, que utilizam gasolina e são máquinas pequenas, foi feito o esvaziamento do tanque, adição de um volume conhecido de gasolina no tanque (Figura 32) e funcionamento da máquina até que a gasolina fosse totalmente consumida. O trabalho foi realizado em condições de trabalho de corte de capim-mombaça. Os valores de consumo de combustível foram obtidos, então, pelo volume de gasolina consumido (litros) dividido pelo tempo de trabalho (minutos).

Figura 32 – (a) Volume de gasolina utilizada na mini colhedora de grãos; (b) Volume de gasolina utilizada na roçadora costal.



Fonte: O autor, 2022.

Para se obter o valor do consumo de combustível do trator que esteve acoplado à roçadora rotativa, que utiliza óleo diesel e é uma máquina grande, foi necessário calcular o valor utilizando como base a literatura. Foi utilizado o método proposto pela ASAE (2009), de acordo com a Equação 04:

Equação 4 – Consumo de combustível

$$Q = SFC * Y \quad 4$$

Onde: “Q” é o consumo de diesel (L/h);

“SFC” é o consumo específico de combustível (L/kW.h);

“Y” é o fornecimento de energia atual (potência entregue ao implemento) (KW).

O consumo específico de combustível “SFC” é definido pela Equação 05:

Equação 5 – Consumo específico de combustível

$$SFC = \left(0,22 + \frac{0,096}{X} \right) PTM \quad 5$$

Onde: “PTM” é o multiplicador de aceleração parcial;

“X” é a fração de potência de TDP equivalente disponível.

O multiplicador de aceleração parcial “PTM” é definido pela Equação 06:

Equação 6 – Multiplicador de aceleração parcial

$$PTM = 1 - (N - 1) * (0,45 * X - 0,877) \quad 6$$

Onde: “N” é a relação da velocidade parcial do motor de aceleração para a velocidade total de aceleração do motor, em situação de trabalho.

A relação entre velocidade parcial e total do motor é definida pela Equação 07:

Equação 7 – Relação entre velocidade parcial e total do motor

$$N = \frac{n_{PT}}{n_{FT}} \quad 7$$

Onde: “ n_{PT} ” é a velocidade parcial da aceleração do motor (rotação utilizada pelo trator) (rpm);
 “ n_{FT} ” é a velocidade total da aceleração do motor (rotação máxima do trator) (rpm).

A Fração de potência de TDP equivalente disponível “ X ” é definida pela Equação 08:

Equação 8 – Fração de potência de TDP equivalente disponível

$$X = \frac{P}{P_{avaliado}} \quad 8$$

Onde: “ P ” é a TDP de potência equivalente exigida pela operação atual (kW);
 “ $P_{avaliado}$ ” é a potência avaliada da TDP disponível (kW).

b) Tempo de manejo (TM): os valores de tempo de manejo utilizados foram obtidos de acordo com o item anterior, item 3.6.2.4 deste trabalho.

c) Preço do combustível: os valores de preço de combustível foram obtidos com base nos dados públicos divulgados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) do Governo Federal do Brasil, através do Sistema de Levantamento de Preços (SLP) da agência, e estão apresentados no Anexo 7 deste trabalho.

Os dados foram filtrados e obtidos de acordo com os tipos de combustíveis utilizados (gasolina e diesel), a região onde o combustível foi comprado (Campinas, São Paulo) e o período de uma semana de acordo com os dias que foram realizados os cortes do capim. Desta maneira foi possível obter valores médios de preços de gasolina e diesel, em reais/litro, cobrados pelos postos de combustível da região onde o experimento foi realizado e na semana dos dias em que foram testadas as máquinas.

A partir da obtenção destes 3 valores descritos (“a”, “b” e “c”), foi feita uma correlação entre eles (Equação 09) para que fosse calculado o valor do consumo de combustível (CC), valor este que considerou o volume cada máquina consome de combustível em função do tempo (litros/hora), o tempo que cada máquina leva para manejar as parcelas do experimento (minutos) e o preço da gasolina e do diesel (R\$/litro):

Equação 9 – Valor do consumo de combustível (CC)

$$CC = CT * PC \quad 9$$

Onde: “CC” é o preço do volume de combustível utilizado por tratamento (R\$ do m³/m²);
 “CT” é o volume de combustível consumido pela máquina por tratamento (m³/m²);
 “PC” é o preço do combustível (R\$/m³).

O volume de combustível consumido pela máquina por tratamento “CT” é definido pela Equação 10:

Equação 10 – Consumo de combustível por tratamento

$$CT = \left(\frac{TM * cc}{A} \right) \quad 10$$

Onde: “TM” é o tempo de manejo em cada parcela (segundos);
 “cc” é o consumo de combustível da máquina (m³/segundo);
 “A” é o tamanho da área do tratamento (parcela) (m²).

3.6.2.6 Custo da mão de obra

“Mão de obra” é o termo comumente utilizado, apesar de ultrapassado, para se referir à “força de trabalho”, pois a pessoa que é contratada para trabalhar dedica-se por um período de tempo para realizar a missão que lhe foi competida, levando consigo não apenas a mão, mas também a mente, o corpo e a alma, sem os quais o trabalho não seria realizado.

Assim como o valor gasto com o combustível, o custo da mão de obra também é importante para avaliar e comparar a eficiência das máquinas escolhidas para testes neste trabalho. O tempo de trabalho que um operador de roçadora costal demanda é maior do que o

tempo que um tratorista necessita para roçar a mesma área com roçadora rotativa montada. Ao mesmo tempo, o custo da hora trabalhada pelo tratorista tende a ser mais caro que o custo da hora do operador de roçadora costal.

Desta forma, para que fosse possível comparar, através da análise dimensional, os valores de custo da mão de obra (reais por hora) e o tempo de trabalho por tratamento (horas) em unidades correspondentes, foi necessário realizar um cálculo de correlação dos valores para que pudesse ser obtido um único valor, em unidades correspondentes. Foram considerados 2 fatores a serem correlacionados: (a) valor da mão de obra e (b) tempo de manejo (TM)¹. Os métodos de obtenção dos valores destes fatores são descritos a seguir:

a) Valor da mão de obra: foram levantados dois valores de mão de obra de acordo com os 2 cargos considerados para a realização do trabalho com as máquinas. Para o trabalho com o trator foi considerado o cargo de tratorista. Para o trabalho com a roçadora costal e com a mini colhedora de grãos foi considerado o cargo de mensalista. Os valores, em reais por mês (R\$/mês), da hora remunerada por cada cargo foram obtidos com base nos dados públicos divulgados pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2022), vinculado à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo do Estado de São Paulo e estão dispostos no Anexo 8 deste trabalho.

Os dados considerados foram filtrados e obtidos de acordo com os cargos (tratorista e mensalista), a região onde os valores dos salários foram levantados (estado de São Paulo) e o período de um mês de acordo com os meses que foram realizados os cortes do capim. Desta maneira foi possível obter valores médios de salários de mensalistas e tratoristas, em reais/mês, pago aos trabalhadores do estado de São Paulo e nos meses dos dias em que foram testadas as máquinas.

b) Tempo de Manejo: os valores de tempo de manejo utilizados foram obtidos de acordo com o item 3.6.2.4 deste trabalho.

¹ Não foi considerado o tempo de amontoa (TA) – descrito do item 3.6.2.10 deste trabalho – para compor o parâmetro custo da mão de obra (MO) porque foi considerado o mesmo cargo (mensalista) para exercer a função da amontoa do capim para os três tratamentos. Desta forma, proporcionalmente, o custo da mão de obra deste trabalhador é o mesmo para todos os tratamentos, de forque que não há diferença estatística neste caso para ser comparada.

A partir da obtenção destes 2 valores descritos (“a” e “b”), foi feita uma correlação entre eles (Equação 11) para que fosse calculado o custo da mão de obra (MO), valor este que considerou o valor da mão de obra de cada cargo (R\$/mês) e o tempo que cada trabalhador levou para manejar as parcelas do experimento (minutos):

Equação 11 – Custo da mão de obra (MO)

$$MO = TM * VMO \quad 11$$

Onde: “MO” é o custo da mão de obra por tratamento (R\$ do segundo/m²);

“TM” é o tempo de manejo em cada parcela (segundos/m²);

“VMO” é o valor da mão da obra por segundo (R\$/segundo).

O valor da mão de obra “VMO” é definido pela Equação 12:

Equação 12 – Valor da mão de obra

$$VMO = \frac{VMOm}{hm * s} \quad 12$$

Onde: “VMOm” é o valor da mão de obra por mês (R\$/mês);

“hm” é a quantidade de horas trabalhadas por mês (220 horas/mês);

“s” é o fator de conversão de horas para segundos (3600).

3.6.2.7 Peso da matéria seca produzida

O valor do peso da matéria seca produzida é a variável mais relevante para comparação da eficiência das máquinas. Durante este experimento, a única variante é dada pelas três máquinas escolhidas para teste. O peso da matéria seca produzida demonstrou a variação da produção da biomassa vegetal de acordo com cada tipo de máquina.

As coletas de materiais para quantificação de biomassa foram realizadas a cada manejo de corte do capim. As coletas foram realizadas anteriormente ao corte do tratamento pelas máquinas, de maneira manual com o auxílio do tesourão de poda, buscando manter a altura de corte em torno dos 10cm (Figura 33). Para cada tratamento foram realizadas 18 coletas

com gabarito de 1m² lançado aleatoriamente, sendo 3 coletas em cada uma das 6 parcelas do mesmo tratamento (repetições), cada parcela em um bloco. No total, para cada ciclo de corte do capim pelas máquinas, e somando os 3 tratamentos, foram coletadas 54 amostras. Gomide et al. (2007) também coletaram a biomassa do capim-mombaça para avaliações em unidades amostrais através de gabarito quadrado e com altura do corte em torno dos 10cm.

Figura 33 – Coleta de biomassa dentro do gabarito.



Fonte: O autor, 2021.

Os materiais coletados foram colocados em sacos plásticos e lacrados imediatamente, ainda em campo. Logo em seguida estes foram pesados frescos e separados em subamostras de aproximadamente 500g, que foram colocadas para secagem em estufa até estabilizar o peso. O peso seco foi, então, devidamente registrado.

A obtenção do valor do peso da massa seca produzida por amostra foi obtida a partir do cálculo da porcentagem de massa seca de cada subamostra multiplicada pelo peso da massa verde da amostra correspondente. Este valor obtido corresponde ao peso da massa seca da amostra de 1m². Por fim, este valor é extrapolado para a unidade de área desejada.

3.6.2.8 Resistência à penetração

A coleta dos dados da resistência à penetração (RP) foi realizada com o auxílio do penetrômetro eletrônico DLG PNT 2000, desenvolvido na FEAGRI/UNICAMP (ALBIERO, 2006), de acordo com Cappelli et al. (1999) e aplicado de acordo com a Norma ASAE S-313 (ASAE, 1997). Foram coletados dados de resistência à penetração a cada 10mm de profundidade de penetração da haste no solo, à uma profundidade de 0-300mm (Figura 34).

Figura 34 – Coleta de dados de resistência à penetração.



Fonte: O autor, 2021

Foram realizadas 2 coletas de resistência à penetração durante o experimento: uma antes do primeiro corte dos tratamentos e pisoteio das máquinas nas parcelas; e outra coleta após a última vez que as máquinas realizaram os cortes, no ano seguinte, ao fim do experimento. Estes dados possibilitaram a observação da variação da compactação do solo, de acordo com cada tipo de máquina utilizada nas parcelas.

A primeira coleta foi realizada dia 29 de abril de 2021, antes do primeiro corte do capim pelas máquinas que estão sendo testadas. Devido à baixa umidade do solo, o mesmo

apresentou resistência à penetração muito alta, o que impossibilitou a penetração da haste do penetrômetro, sendo necessário umedecer o solo para a utilização do equipamento. Desta forma, no dia anterior à coleta, foram deixados nos pontos de amostragem sacos plásticos furados com 9L de água. O umedecimento do solo possibilitou a perfeita utilização do penetrômetro.

A segunda coleta foi realizada no dia 06 de maio de 2022, um ano depois, logo após o último ciclo de corte do capim realizado pelas máquinas (tratamento). Para que os dados obtidos nesta coleta pudessem ser comparados aos dados da primeira coleta, foi repetido o mesmo processo de umedecimento do solo. Este procedimento possibilitou a comparação da resistência à penetração entre as duas coletas pois o solo encontrava-se igualmente umedecido durante as coletas de dados, de forma a eliminar valores discrepantes.

O número mínimo de amostras por parcela foi calculado de acordo com Montgomery e Runger (2002) e descrito no item 3.6.5 deste trabalho. Em cada parcela foram coletados 5 valores de resistência à penetração. Cada valor foi composto pela média de 3 coletas, realizadas dentro de um gabarito de 0,25m² (50cm x 50cm) lançado aleatoriamente. Isto resultou num total de 15 coletas por parcela. Os valores médios de RP das parcelas foram obtidos pela média dos 5 valores coletados que, por sua vez, foram obtidos pela média das três coletas dentro dos gabaritos.

Os dados obtidos foram transferidos do equipamento para um computador na forma de planilha eletrônica Excel, onde foram processados. Este trabalho utilizou o valor máximo de resistência à penetração de cada perfil estudado.

3.6.2.9 Umidade de solo

Para a obtenção dos valores de umidade de solo, as amostras foram coletadas com o auxílio do trado, ensacadas e lacradas imediatamente para que a umidade presente no momento da coleta não se perca. As amostras foram levadas para laboratório, pesadas ainda úmidas, deixadas secar em estufa a 105°C durante 24h e pesadas novamente. A metodologia é descrita por Hillel (1980). O teor de água no solo no solo, segundo Kiehl (1979), é determinado pela divisão do peso da água presente na amostra pelo peso da massa seca da amostra em questão, de acordo com a Equação 13:

Equação 13 – Umidade do solo

$$U = \frac{mu - ms}{ms}$$

13

Onde: “U” é a proporção de água presente na amostra, relativa à massa seca do solo;
 “mu” é a massa úmida da amostra de solo;
 “ms” é a massa seca da amostra de solo.

Foram realizadas 2 coletas de umidade durante o experimento (Figura 35): uma antes do primeiro corte dos tratamentos e outra ao fim do experimento. As coletas de solo foram realizadas no mesmo momento e local onde foram realizadas as coletas de resistência à penetração. Estes dados possibilitam a comparação correta da resistência à penetração do solo exercida pelas máquinas, uma vez que é sabido que a umidade do solo interfere nos valores de resistência à penetração.

Figura 35 – Coletas de amostras de solo para determinação da umidade.



Fonte: O autor, 2021.

O número mínimo de amostras por parcela foi calculado de acordo com Montgomery e Runger (2002) e descrito no item 3.6.5 deste trabalho. Em cada parcela foram coletadas 3 amostras aleatórias. Cada amostra foi composta por 3 coletas em profundidades diferentes: 0 - 10cm, 10cm - 20cm e 20cm - 25cm. Desta forma, foram obtidas 9 coletas diferentes por parcela.

A primeira coleta foi realizada no dia 29 de abril de 2021, antes do primeiro corte do capim pelas máquinas que estão sendo testadas. As amostras de solo foram coletadas nas mesmas unidades amostrais onde foram deixados sacos plásticos furados com 9L de água para possibilitar o uso do penetrômetro digital.

A segunda coleta foi realizada no dia 06 de maio de 2022, depois do último corte do capim realizado pelas máquinas. Para que os dados obtidos nesta coleta pudessem ser comparados aos dados da primeira coleta, foi repetido o mesmo processo de umedecimento do solo.

3.6.2.10 Tempo de amontoa do capim cortado

Esta medição em questão diz respeito ao tempo gasto durante o processo de rastelar toda a biomassa de capim produzida e cortada nas entrelinhas para as linhas de produção das espécies de interesse. Esta biomassa serve como cobertura morta do solo onde estas culturas estão plantadas. A finalidade da amontoa é fazer com que o local armazene umidade por um maior período de tempo, diminua a amplitude térmica, possua cobertura que atue como barreira física para o desenvolvimento de plantas espontâneas e, principalmente, se decomponha próxima à região do sistema radicular das plantas nas linhas. Isto resulta em benefícios múltiplos, tais como: redução do impacto da chuva diretamente no solo e consequente controle da erosão; aumento da atividade microbiana e da macrofauna na zona protegida; aumento da porosidade do solo e consequente maior taxa de infiltração da água; redução da evaporação da água e consequente otimização do recurso hídrico; incremento de matéria orgânica em decomposição e consequente fertilidade do solo.

O tempo gasto para amontoar o capim após seu corte varia de acordo com a condição da estrutura física do capim pós corte, a depender do tipo de tratamento (máquina) utilizado. Visando um embasamento mais completo para a análise e discussão dos resultados, foram cronometrados os tempos gastos para rastelar e amontoar a biomassa de capim em leiras nas duas bordas das parcelas, a fim de simular o manejo dentro da entrelinha de SAF. As parcelas do experimento (entrelinhas de SAF) possuem largura de 6m. O processo de amontoa se dá pelo rastelamento de metade da biomassa da entrelinha (com largura de 3m) para um lado da borda da parcela e outra metade (os 3m restantes) para a outra borda, simulando a cobertura do solo das linhas que estariam dispostas a cada 6m de distância entre elas (Figura 36).

Figura 36 – Amontoa do capim roçado



Fonte: O autor, 2021.

A contagem do tempo foi iniciada quando a amontoa da biomassa do capim começou. Ao final do manejo de cada parcela foi parada a cronometragem e registrado o tempo cronometrado.

3.6.3 Método para tratamento de dados

Segundo Albiero (2006), a utilização do método da Análise Dimensional requer tratamentos fundamentais dos dados para que sejam atendidas duas exigências metodológicas: todas as variáveis devem ter dimensões; todas as variáveis devem estar no mesmo sistema de medidas. Para isso foram necessárias duas manipulações nos parâmetros dos dados: transformação dos valores adimensionais em dimensionais; homogeneização das unidades para o mesmo sistema de unidades. As manipulações são necessárias para que a metodologia proposta seja capaz de avaliar o que é de interesse, que é a variação do respectivo parâmetro. Durante as manipulações foram tomados os devidos cuidados para não descaracterizar esta variação.

Neste trabalho, o sistema que mais se adequou aos valores coletados em campo e encontrados na literatura foi o sistema GCS (grama, centímetro e segundo), onde os valores de MLT (massa, distância e tempo) são, respectivamente, grama (g), centímetro (cm) e segundo (s). É preciso, fundamentalmente, que os dados estejam nas unidades de medida do sistema GCS.

Dentre os parâmetros analisados neste trabalho, dois envolviam valores adimensionais (CC e MO), estes parâmetros precisaram ser tratados para que suas unidades se transformassem em dimensionais e, portanto, fossem expressas em MLT. Durante as transformações foi tomado o cuidado de não descaracterizar a variação dos valores pois a análise dimensional leva em consideração a maneira como houve variação entre os valores.

Em relação ao valor do consumo de combustível (CC) de cada máquina, há o interesse em analisar o preço do combustível (em reais (R\$)) consumido por cada máquina durante o manejo do capim das parcelas. Este valor seria dado em: preço do volume do combustível multiplicado pelo volume de combustível consumido por unidade de área ($\text{R\$/m}^3 \times \text{m}^3/\text{m}^2$), o que pode ser simplificado para reais por unidade de área ($\text{R\$/m}^2$). Contudo, o valor em real não se enquadra nas unidades de MLT.

Uma vez que foram utilizados dois tipos de combustível (gasolina e diesel) com preços diferentes de acordo com a ANP (2022) e também que a unidade do preço (R\$) não se enquadra nas unidades de MLT, foi feita uma relação com o preço do volume dos combustíveis utilizados e transformação deste valor em unidade dimensional. Para isso foi levado em consideração outros dois valores: o tempo que a máquina levava para manejar a parcela (TM) e o volume de combustível utilizado durante este tempo. Desta maneira foi possível relacionar estes três componentes para que se fosse obtido, então, o valor final do parâmetro em questão. Este valor calculado é o preço do volume de combustível consumido por unidade de área, de acordo com o tempo que a máquina levou para manejar cada parcela. A unidade deste parâmetro foi dada em volume por unidade de área (cm^3/cm^2). O processo para obtenção dos valores deste parâmetro é detalhado no item 3.6.2.5 deste trabalho.

Em relação ao custo da mão de obra (MO) dos operadores de cada máquina, há o interesse em analisar o preço (em reais (R\$)) pago para cada profissional capacitado para operar as diferentes máquinas. Este valor seria dado em: preço da hora trabalhada multiplicado pelo tempo de trabalho por unidade de área ($\text{R\$/h} \times \text{h/m}^2$), o que pode ser simplificado para reais por unidade de área ($\text{R\$/m}^2$). Contudo, o valor em real não se enquadra nas unidades de MLT.

Para que o trabalhador possa trabalhar com trator é necessária capacitação técnica específica e comprovada, portanto o preço da mão de obra do tratorista tende a ser diferente que o preço da hora trabalhada do operador de roçadora costal e da mini colhedora de grãos. Foram considerados os valores mensais pagos aos cargos de tratorista e mensalista segundo o IEA (2022).

Para que a unidade deste parâmetro fosse homogeneizada levando em consideração a diferença do valor dos salários, foi feita uma relação com o preço da mão de obra do operador e transformação deste valor em unidade dimensional. Para isso foi levado em consideração outro valor: o tempo que este operador levou para manejar a parcela (TM). Desta maneira foi possível relacionar estes dois componentes para que se fosse obtido, então, o valor final do parâmetro em questão. Este valor calculado é o preço do tempo trabalhado por unidade de área, de acordo com o tempo que o trabalhador levou para manejar cada parcela. A unidade deste parâmetro foi dada em tempo por unidade de área (s/cm²). O processo para obtenção dos valores deste parâmetro é detalhado no item 3.6.2.6 deste trabalho.

Desta maneira obtém-se a Tabela 03, tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados para que haja o tratamento adequado dos dados utilizados neste trabalho.

Tabela 3 – Tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados.

Nome do Parâmetro	Símbolo do Parâmetro	Dimensão Obtida	Fator de Conversão	Dimensão (SI)
Altura do corte da máquina	AC	cm	x 1	cm
Tempo de manejo	TM	s/ha	x 1/100000000	s/cm ²
Consumo de combustível	CC	L/ha	x 1000/100000000	cm ³ /cm ²
Custo da mão de obra	MO	s/ha	x 1/100000000	s/cm ²
Velocidade de rebrota capim	VR	cm/dia	x 1/86400	cm/s
Peso da matéria seca	MS	kg/ha	x 1000/100000000	g/cm ²
Tempo de amontoa do capim	TA	min/ha	x 60/100000000	s/cm ²

Fonte: O autor, 2021.

3.6.4 Método do cálculo da Análise Dimensional

O método de cálculo da Análise Dimensional, utilizado também por Albiero (2006), o qual foi também utilizado neste trabalho, foi prefigurado por Murph (1950) e Taylor (1974),

descrito por Langhaar (1951) e Szucs (1980), e aplicado por Maciel (1993) em máquinas de preparo do solo.

Existem sete passos para o cálculo da Análise Dimensional:

3.6.4.1 Conversão dos parâmetros em variáveis genéricas

Os valores dos dados obtidos para análise serão convertidos em variáveis decompostas em dimensões básicas, ou seja, todas as dimensões obtidas serão convertidas para que suas unidades estejam dentro das dimensões básicas de massa [M], comprimento [L] e tempo [T] (Tabela 04).

Tabela 4 – Tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados.

Símbolo Genérico	Nome do Parâmetro	Símbolo do Parâmetro	Dimensão Básica
K1	Altura do corte da máquina	AC	[L]
K2	Tempo de manejo	TM	[T] . [L] ⁻²
K3	Consumo de combustível	CC	[L] ³ . [L] ⁻²
K4	Custo da mão de obra	MO	[T] . [L] ⁻²
K5	Velocidade de rebrota capim	VR	[L] . [T] ⁻¹
K6	Peso da matéria seca	MS	[M] . [L] ⁻²
K7	Tempo de amontoa do capim	TA	[T] . [L] ⁻²

Fonte: O autor, 2021.

3.6.4.2 Matriz dimensional

A Matriz Dimensional (Tabela 05) é composta pelos expoentes das dimensões básicas (M; L; T) de cada parâmetro analisado no experimento:

Tabela 5 – Matriz Dimensional.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
M	0	0	0	0	0	1	0
L	1	-2	1	-2	1	-2	-2
T	0	1	0	1	-1	0	1

Fonte: O autor, 2021.

3.6.4.3 Matriz sub-espço

A Matriz Sub-espço (Tabela 06) é obtida a partir da seleção das 3 variáveis da Matriz Dimensional julgadas mais importantes para o cálculo dos Pi-termos do fenômeno: velocidade de rebrota (VR), matéria seca (MS) e tempo de amontoa do capim (TA); isto explica porque o sub-espço é tridimensional; em seguida são feitos cálculos cruzados para testar a característica da matriz.

Tabela 6 – Sub-espço considerado para teste de característica.

K5	K6	K7
0	1	0
1	-2	-2
-1	0	1

Fonte: O autor, 2021.

A MS foi escolhida por ser a variável considerada mais importante dentre as outras, pois o objetivo das entrelinhas é produzir a maior quantidade de biomassa possível; a VR foi escolhida por ser a única variável que está diretamente relacionada à qualidade do corte; o TA foi escolhido por dizer respeito ao trabalho extra necessário (além do corte do capim) para completar o manejo da biomassa produzida nas entrelinhas.

3.6.4.4 Sistema de equações lineares

São três equações oriundas da Matriz Dimensional. Estas são obtidas pela multiplicação dos expoentes de cada variável, onde eles existam (sejam diferentes de zero), de

acordo com a Equação 14, Equação 15 e Equação 16. A somatória desses valores deve ser igualada à zero, para cada [M], [L] e [T] correspondente.

Equação 14 – [M].

$$M: 0 = K6 \quad 14$$

Equação 15 – [L].

$$L: 0 = K1 - 2K2 + K3 - 2K4 + K5 - 2K6 - 2K7 \quad 15$$

Equação 16 – [T].

$$T: 0 = K2 + K4 - K5 + K7 \quad 16$$

Com estas equações definidas, é feita a resolução destas em função de K5, K6 e K7 e obtém-se a Equação 17, Equação 18 e Equação 19:

Equação 17 – K5.

$$K5 = K1 + K3 \quad 17$$

Equação 18 – K6.

$$K6 = 0 \quad 18$$

Equação 19 – K7.

$$K7 = K1 - K2 + K3 - K4 \quad 19$$

3.6.4.5 Definição dos Pi-termos

Os Pi-Termos são obtidos a partir da Matriz Solução (Tabela 07). Esta matriz é obtida pelos 7 valores de K existentes no Sistema de Equações Lineares. As linhas desta Matriz originam os Pi-Termos. O número de Pi-Termos é determinado pelo número de variáveis K (7)

subtraído da dimensão do sub-espço do fenômeno (3), o que resulta em 4 Pi-Termos adimensionais responsáveis por explicar o fenômeno estudado (corte do capim).

Tabela 7 – Matriz Solução do Experimento.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
$\pi 1$	1	0	0	0	1	0	1
$\pi 2$	0	1	0	0	0	0	-1
$\pi 3$	0	0	1	0	1	0	1
$\pi 4$	0	0	0	1	0	0	-1

Fonte: O autor, 2021.

Os valores das linhas da Matriz Solução são os expoentes dos componentes dos Pi-Termos:

$$\pi 1 = K1 \times K5 \times K7$$

$$\pi 2 = K2 \times K7^{-1} = K2 / K7$$

$$\pi 3 = K3 \times K5 \times K7$$

$$\pi 4 = K4 \times K7^{-1} = K4 / K7$$

A seguir é apresentada a forma especificada dos Pi-Termos, na Equação 20, Equação 21, Equação 22 e Equação 23:

Equação 20 – $\pi 1$

$$\pi 1 = AC \cdot VR \cdot TA \quad 20$$

Equação 21 – $\pi 2$

$$\pi 2 = \frac{TM}{TA} \quad 21$$

Equação 22 – $\pi 3$

$$\pi 3 = CC . VR . TA \quad 22$$

Equação 23 – $\pi 4$

$$\pi 4 = \frac{MO}{TA} \quad 23$$

3.6.4.6 *Matriz correlação*

A Matriz Correlação foi criada para facilitar a interpretação dos dados. É preciso determinar a correlação entre os Pi-termos através da matriz correlação afim de se encontrar quais os gráficos adimensionais têm comportamentos melhor correlacionados. Para cada tratamento e cada ciclo foi construída uma matriz correlação. Todas as matrizes são apresentadas nos Apêndices deste trabalho.

Para a construção desta matriz é utilizado o coeficiente de relação ρ .

[...] o coeficiente de correlação ρ é intimamente conectado com a distribuição normal bivariada, que é uma distribuição que tem como principal característica a variação normal de suas variáveis em relação as suas combinações entre si, como se fossem duas distribuições separadas, ou seja para cada variável X_1 tem-se uma correspondência biunívoca de X_2 , sendo que a média destas distribuições normais tende a seguir uma tendência linear, além de cada distribuição ter o mesmo desvio padrão. (ALBIERO, 2006, p. 121).

O coeficiente de correlação ρ é definido por Snedecor e Cochran (1989), conforme a Equação 24:

Equação 24 – Coeficiente de correlação ρ

$$\rho = \frac{Cov(X_1 ; X_2)}{\sigma_1 ; \sigma_2} \quad 24$$

Onde: ρ é o coeficiente de correlação populacional;

$Cov(X_1 ; X_2)$ é a covariância da população;

σ_1 é o desvio padrão da população 1;

σ_2 é o desvio padrão da população 2.

3.6.4.7 Gráficos adimensionais

O último passo é construir os gráficos adimensionais relativos aos parâmetros desejados, a partir dos Pi-Termos que possuam maiores coeficientes de correlação.

3.6.5 Método do cálculo do Número Mínimo de Amostras

Para a realização do cálculo do número mínimo de amostras necessárias para cada parcela faz-se necessário o levantamento preliminar dos dados do parâmetro a ser calculado em questão. De acordo com o método estatístico adotado, isto permite determinar o número de amostras necessárias para que haja normalidade no experimento por meio do erro médio padrão. O número mínimo de amostras pode ser encontrado por meio das médias e desvios padrões dos dados preliminares e pelos trabalhos similares encontrados na literatura.

A equação (Equação 25) utilizada para encontrar o erro médio padrão foi sugerida por Montgomery (2002):

Equação 25 – Erro médio padrão

$$d = \frac{|\mu - \mu_0|}{\sigma} \quad 25$$

Onde: d é o erro médio padrão;

μ é a média estimada;

μ_0 é a média dos dados levantados;

σ é o desvio padrão.

O desvio padrão “ σ ” é definido pela Equação 26:

Equação 26 – Desvio padrão

$$\sigma = \frac{[\sum (x_i - \mu_0)^2]}{n}$$

26

Onde: σ é o desvio padrão;

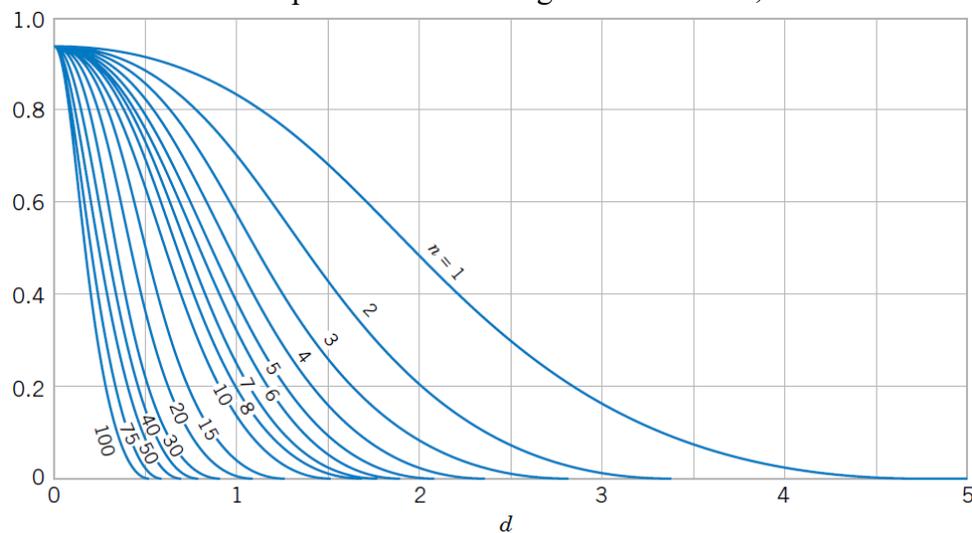
x_i é o valor do dado obtido;

μ_0 é a média dos dados levantados;

n é a quantidade de dados levantados.

Em seguida, o erro médio padrão é plotado no gráfico de curvas características de operação (Figura 37), onde o eixo “x” representa o valor do erro médio padrão encontrado na equação anterior, enquanto o eixo “y” representa o erro beta β , que é o erro máximo tolerável no experimento. As curvas “n” dizem respeito ao número mínimo de amostras.

Figura 37 – Curvas características de operação para diferentes valores de "n" para o teste em frente e verso normal para um nível de significância $\alpha = 0,05$.



Fonte: Montgomery, 2002.

3.6.6 Método Estatístico

A Estatística Descritiva utilizada neste trabalho possui os seguintes componentes: quantidade de observações, média aritmética; variância; desvio padrão; coeficiente de variação;

amplitude; simetria e curtose. Para esta análise, foi utilizado o programa software R Studio e o pacote “moments”. Todos os dados dos tratamentos passaram pelos testes de curtose ($k < 3$ e $k > 3$), simetria ($g < 3$ e $g > 3$), de acordo com Oliveira (2010).

Como método de controle estatístico foi utilizada a Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP), de acordo com Montgomery (2002), por ser um método adequado para ser utilizado em situação em que os dados não apresentam normalidade. O método foi proposto por Roberts (1959). Segundo Frigo et al. (2018), os gráficos de controle da MMEP são comumente utilizados para detectar pequenas variações no comportamento dos dados e com isso fornece uma estimativa da nova média do processo, o que pode mudar a característica da qualidade desejada. De acordo com Montgomery (2002), os gráficos de controle MMEP são ideias para observações individuais, uma vez que tal método estatístico considera o valor MMEP como uma média (média móvel ponderada, com pesos de progressão geométrica).

O gráfico de controle da MMEP é construído pela plotagem de “ Z_i ” versus o número da amostra “ i ” (FRIGO et al., 2018) e é definido pela Equação 27:

Equação 27 – Equação do Gráfico de Controle da MMEP

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda) Z_{i-1} \quad 27$$

Onde: $0 < \lambda \leq 1$;

$$Z_i = \mu_0 = \bar{x} \text{ (valor alvo ou valor médio em controle de } x_i \text{).}$$

A variância da variável “ z ” é obtida pela Equação 28:

Equação 28 – Equação da variância da variável “ z ”

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad 28$$

Onde: σ - é o desvio padrão dos dados em relação à média;

λ - peso dado a cada amostra;

i - ordem da amostra utilizada.

Os limites de controle superior (LCS) e limites de controle inferior (LCI) para os gráficos de controle da MMEP são obtidos de acordo com a equação 29 e Equação 30:

Equação 29 – Equação para obtenção do LCS

$$LCS = \bar{x} + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad 29$$

Linha Central = $\mu_0 = x$

Equação 30 – Equação para obtenção do LCI

$$LCI = \bar{x} - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad 30$$

Onde: LCI é o limite de controle inferior;

LCS é o limite de controle superior;

\bar{x} é Média dos dados;

σ é o desvio padrão dos dados em relação à média;

λ peso dado a cada amostra;

i ordem da amostra utilizada.

Este trabalho não pretende quantificar os efeitos individuais e interativos dos parâmetros avaliados [produção de massa seca (MS) de cada tratamento; velocidade de rebrota do capim (VR); altura de corte da máquina (AC); tempo de manejo (TM); consumo de combustível (CC); custo da mão de obra (MO); resistência à penetração do solo (RP); tempo de amontoa do capim (TA)]. O objetivo é caracterizar os tipos de corte dos tratamentos e comparar a adequação das máquinas para o manejo da biomassa do capim cultivado em SAFs pela agricultura familiar. Cada máquina que realizou o corte do capim-mombaça foi considerada como um tratamento (total de 3 máquinas/tratamentos). Os tratamentos foram

realizados com um total de 6 repetições em cada ciclo de corte. O experimento contou com um total de 3 ciclos de corte (C1, C2 e C3).

3.6.7 Método da Escala Likert

Para facilitar a compreensão dos resultados obtidos neste trabalho, com vistas a entender e visualizar melhor os pontos fortes e fracos dos tratamentos quando comparados entre si, foi utilizada a Escala Likert. Esta escala foi desenvolvida pelo educador e psicólogo Rensis Likert, em 1932, quando recebeu seu Ph.D. em psicologia. A escala Likert é mundialmente utilizada como escala somativa e é o modelo mais utilizado para mensurar atitudes, preferências e perspectivas (FEIJÓ et al., 2020). De acordo com Bermudes et al. (2016), a escala Likert, em sua forma original, é constituída por cinco pontos, contudo, ao longo do tempo, pesquisadores foram alterando a quantidade de pontos, sendo estas escalas denominadas como do tipo Likert. Para este trabalho foram considerados três pontos.

A escala foi construída com base nos resultados de cada tratamento em relação aos parâmetros avaliados e também em relação aos resultados obtidos pelos gráficos adimensionais, os quais são os resultados da análise adimensional. Para tanto, ao comparar os três tratamentos deste trabalho, o tratamento que apresentou resultados melhores foi considerado como “mais satisfatórios”; o tratamento que apresentou os piores resultados foi considerado como “menos satisfatório”; já o tratamento que apresentou resultados médios foi considerado como “mediano”. A grande quantidade de dados gerada e a complexidade dos resultados dificulta a compreensão do fenômeno estudado, com isso esta tabela propiciou a análise completa dos resultados dos experimentos para o melhor entendimento da adequação das máquinas para a agricultura familiar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE CORTE

Para a realização deste trabalho, três diferentes máquinas foram avaliadas para o fenômeno do corte da biomassa do capim-mombaça: mini colhedora de grãos, roçadora costal e roçadora rotativa montada ao trator. Todas as máquinas realizaram o mesmo trabalho, cada qual à sua maneira, e durante os três ciclos de corte das parcelas de capim, oito parâmetros foram medidos e avaliados para que pudesse ser observada e descrita a caracterização dos tipos de corte realizados pelas máquinas.

Em relação aos parâmetros intrínsecos às máquinas, foram observados o tempo de manejo das máquinas (TM), o valor do consumo de combustível (CC), o custo com mão de obra (MO) do operador, o tempo de amontoa (TA) do capim necessário para arrastar e amontoar toda a biomassa colhida por cada máquina e a variação da resistência à penetração (RP) do solo observada a partir da compactação do solo resultante do pisoteio das máquinas. A resposta do capim-mombaça em relação à rebrotação, após cada corte das máquinas, também foi medida e avaliada a partir dos seguintes parâmetros: altura de corte (AC), velocidade de rebrota do capim (VR) e produção de massa seca (MS).

A Figura 38 ilustra os resultados observados logo após o corte do capim realizado pela mini colhedora de grãos e a amontoa da biomassa colhida.

Figura 38 – Caracterização do corte da Mini colhedora de Grãos.



Fonte: O autor, 2021.

De acordo com esta figura, observa-se em: a) a máquina e a parcela de capim por ela roçada, antes da amontoa da biomassa cortada; b) a touceira cortada por tal máquina, onde percebe-se a qualidade superior de corte em relação às outras máquinas, evidenciada pela mínima danificação às plantas e às gemas apicais; c) a biomassa de capim amontoada com folhas inteiras e não trituradas; d) a parcela de capim roçada por esta máquina, aqui é possível evidenciar a existência de fiapos de capim resultantes de um corte não homogêneo, o que resultou em diversas touceiras de capim não cortadas completamente.

A mini colhedora de grãos é uma colhedora do tipo segadora e, por isso, foi responsável pelo tipo de corte com qualidade superior em relação às outras máquinas testadas. Seu corte resultou em danos mínimos às touceiras de capim e expôs os tecidos internos da planta apenas na região do corte, de forma a não causar rachaduras nos remanescentes do capim, como pode ser observado no corte das roçadoras.

Esta máquina é projetada para colher plantas como o arroz e o trigo, que possuem talos e hastes eretos e fibrosos o suficiente para permitir que o sistema de transporte de biomassa da máquina empurre o material colhido para o lado e este seja depositado na lateral direita da máquina, enquanto a mesma avança pela área. Este sistema possibilita que a biomassa colhida não embuche o sistema de corte da máquina. Contudo, quando utilizada para colher as folhas do capim-mombaça, que é uma planta que não possui a haste ereta e fibrosa, o embuchamento da máquina é inevitável. Este fato acarretou em touceiras de capim não cortadas completamente e também no aumento do tempo de manejo (TM) da máquina, por conta das paradas necessárias para desembuchar a máquina. Este tempo necessário para desembuchar a máquina foi contabilizado no TM. Com isso, outros parâmetros relacionados ao TM, como o CC e o MO também aumentaram.

Hassan et al. (2015) também testaram a mini colhedora de grãos ao comparar métodos manuais e mecanizados de colheita de feijão no Egito. O mesmo efeito de embuchamento desta máquina foi observado para a colheita do feijão, o que resultou em perdas de mais de 50% da produção. Além disso, o estudo observou que as perdas aumentaram proporcionalmente quando a máquina operava em velocidades mais rápidas. Os autores atribuíram este fato ao excesso da carga de plantas na barra de corte, o que aumentava o impacto das plantas na máquina.

A Figura 39 ilustra o resultado do corte da mini colhedora de grãos e a forma com que a máquina deposita as folhas de capim cortadas já amontoadas ao lado da máquina, em uma situação ideal em que não ocorreu o embuchamento da máquina. Esta forma de deposição da biomassa, e o fato de as folhas estarem inteira e não trituradas, fez com que o trabalho de amontoa do capim fosse mais ágil, o que resultou num menor tempo de amontoa (TA) para a máquina em questão.

Figura 39 – Resultado do corte da Mini colhedora de grãos.



Fonte: O autor, 2021.

A figura a seguir (Figura 40) demonstra os resultados obtidos logo após o corte do capim realizado pela roçadora costal e a amontoa da biomassa colhida.

Figura 40 – Caracterização do corte da Roçadora costal.



Fonte: O autor, 2021.

De acordo com esta figura, observa-se em: a) a máquina e o capim da parcela por ela sendo roçada, em que é possível observar a biomassa colhida sendo depositada de forma espalhada pela parcela; b) a touceira cortada por tal máquina, onde percebe-se a qualidade mediana de corte em relação às outras máquinas, evidenciada pela danificação das plantas apenas no local de corte, de forma a manter as gemas apicais intactas; c) a biomassa de capim amontoada com folhas inteiras e não trituradas; d) a parcela de capim roçada por esta máquina pós amontoa, aqui é possível evidenciar a inexistência de fiapos de capim resultantes de um corte homogêneo.

Em comparação com a mini colhedora de grãos, a roçadora costal possibilita um processo de rebrotação similar, no que diz respeito à emissão de novos perfilhos e rebrotas da gema apical, resultante de um corte alto o suficiente para manter as gemas apicais intocadas. A diferença, como pode ser observada nas figuras anteriores, se dá na qualidade do corte, em que a mini colhedora de grãos possibilita um corte mais perfeito, de forma a danificar o mínimo possível as plantas de capim, fato resultante do tipo de corte da máquina. Por outro lado, o tipo de corte da roçadora costal resulta numa danificação maior das plantas, de forma a aumentar a exposição de tecidos internos das plantas, o que pode dificultar a cicatrização e aumentar as possibilidades de contaminação do capim por patógenos. Além disso, a perda de água da planta tende a ser maior quando cortada pela roçadora costal, o que pode levar a um nível de estresse mais elevado.

Durante os experimentos foi possível observar que, em maioria, as partes remanescentes das plantas de capim cortadas pela roçadora costal foram descartadas pela planta, ou seja, secaram e se desprenderam das plantas, enquanto as partes remanescentes do capim cortado pela mini colhedora de grãos foram mantidas vivas e realizando a fotossíntese. Com isso, estes fenômenos observados podem resultar em maior estresse para o capim roçado pela roçadeira costal que para as plantas cortadas pela mini colhedora de grãos, fatos estes que podem influenciar, também, no vigor das rebrotações.

O corte da roçadora costal resulta em folhas cortadas inteira, assim como o corte da mini colhedora de grãos, mas a deposição da biomassa cortada se dá de forma espalhada. Este fato fez com que o tempo de amontoa (TA) do capim roçado por esta máquina seja maior.

Na próxima figura (Figura 41) é possível observar os resultados obtidos logo após o corte do capim realizado pela roçadora rotativa montada ao trator e a amontoa da biomassa colhida.

Figura 41 – Caracterização do corte da Roçadora rotativa montada ao trator.



Fonte: O autor, 2021.

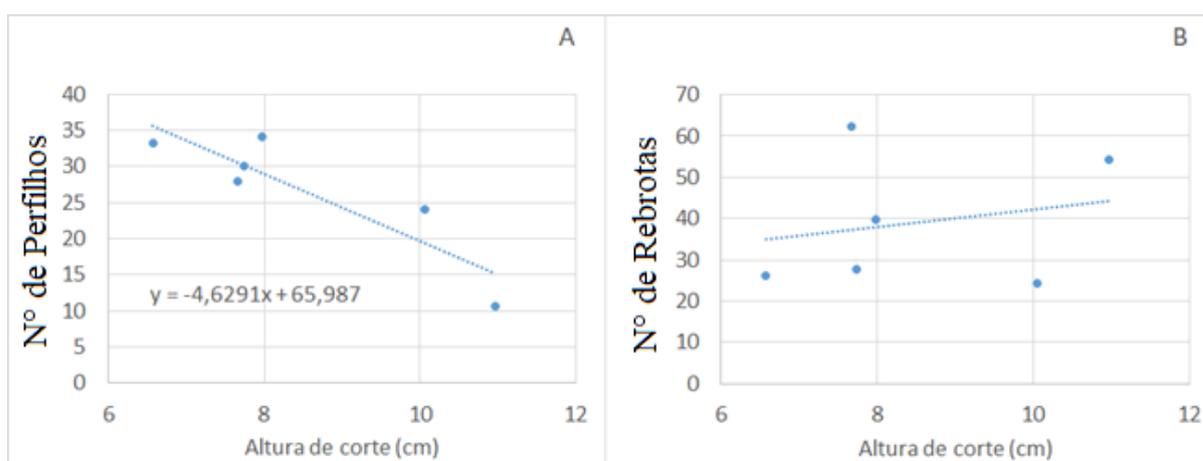
De acordo com esta figura, observa-se em: a) o implemento da roçadora montada ao trator; b) a touceira cortada por tal máquina, onde percebe-se a qualidade inferior do corte em relação às outras máquinas, evidenciada pela danificação total dos remanescentes da touceira, incluindo as gemas apicais; c) a biomassa de capim amontoada com folhas trituradas; d) a parcela de capim roçada por esta máquina, aqui é possível evidenciar a existência de fiapos de capim resultantes de um corte não homogêneo, o que resultou em diversas touceiras de capim não cortadas completamente.

A roçadora rotativa montada, em comparação com as demais máquinas, foi caracterizada como a responsável pelo tipo de corte que mais danificou as touceiras de capim. Seu corte é realizado de maneira similar à roçadora costal, pois é feito a partir de lâminas que giram e cortam o capim por impacto, com a diferença de que as lâminas da primeira são mais espessas que as da segunda. O corte por impacto requer lâminas bastante afiadas quando há o interesse em causar o mínimo de danos possível e em diminuir as chances de contaminação do capim por patógenos. A maior quantidade de rachaduras nos remanescentes das touceiras

resultou na maior área de exposição dos tecidos internos das plantas, o que pode aumentar consideravelmente a contaminação por patógenos.

O corte da roçadora rotativa montada, além disso, foi baixo o suficiente para danificar as gemas apicais, fato este que resultou no número mais elevado de emissão de perfilhos durante o processo de rebrotação em comparação com as demais máquinas, enquanto a quantidade de rebrotas emitidas em resposta a este tipo de corte foi menor em relação aos outros cortes aqui testados. Schmidt et al. (2022), ao compararem a influência da altura de corte do capim-mombaça, observaram que quanto menor a altura de corte desta planta, a quantidade de novos perfilhos emitidos durante o processo de rebrotação aumenta ao passo que a quantidade de rebrotas diminui (Figura 42).

Figura 42 – Correlação entre número de perfilhos e altura de corte (A) e número de rebrotas e altura de corte (B) para o capim-mombaça.



Fonte: Adaptado de Schmidt et al., 2022.

A figura anterior (Figura 41c) demonstra o resultado obtido após o corte da roçadora rotativa montada e a amontoa da biomassa. Percebe-se que as folhas de capim ficaram trituradas, devido ao tipo de corte da máquina. Durante os experimentos foi observado que a máquina, além de triturar as folhas, deposita as mesmas de forma espalhada pela parcela. Este fato fez com que o tempo de amonta (TA) do capim fosse o maior em comparação com as outras máquinas aqui testadas.

A partir da Figura 41d é possível observar o efeito similar da mini colhedora de grãos em relação ao corte não homogêneo do capim, de forma que foram deixados fiapos de

touceiras sem serem cortadas. A diferença é que neste caso específico da roçadora rotativa montada, as touceiras não foram completamente cortadas pois o corte desta máquina é traseiro, ou seja, o trator que arrasta a roçadora avança pela área de cultivo pisoteando o capim, dobrando e deitando no chão as folhas. Depois, quando a roçadora realiza o corte, por mais que a altura de corte (AC) desta máquina é a mais baixa em relação às outras máquinas, não é baixa o suficiente para cortar as folhas que foram dobradas pelo pisoteio do trator, de maneira que parte das touceiras permanecem sem serem roçadas. Este fenômeno pode resultar em uma menor colheita de biomassa e qualidade inferior de vigor de rebrota do capim e consequente produção no corte seguinte.

4.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS CONVENCIONAIS

Este tópico é apresentado a partir da interpretação da estatística descritiva e dos gráficos de controle estatístico dos tipos de corte de cada tratamento. O experimento contou com 3 ciclos de corte do capim-mombaça pelos tratamentos, assim a tabela da estatística descritiva é apresentada por ciclo de corte, contendo os resultados de cada tratamento.

Segundo o teste de normalidade obtido, os dados dos três tratamentos (máquinas) representaram distribuições não normais, portanto foi utilizada a Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) como método de controle estatístico. A MMEP é um método de controle estatístico que foi escolhida para ser utilizada neste trabalho, como sugerido por Montgomery (2002), para situações de não normalidade dos dados. Melo (2013) também utilizou este método e cita diversos autores que também utilizaram a MMEP em seus estudos sobre mecanização agrícola por terem obtido dados não normais, sendo eles Hines et al. (2006), Monteiro et al. (2013), Albiero et al. (2011), Melo et al. (2012) e Melo et al. (2013).

Os gráficos de controle estatístico são apresentados também por ciclo de corte e estão separados pelos parâmetros avaliados, em figuras compostas pelos gráficos das três máquinas testadas para cada parâmetro, para fins de comparação.

Os gráficos da MMEP são apresentados em seis imagens para cada ciclo de corte. Cada imagem é composta pelos gráficos da MMEP dos tratamentos no que se refere a cada um dos parâmetros observados. Os parâmetros observados foram: altura de corte (AC), velocidade de rebrota (VR), massa seca (MS), tempo de amontoa (TA), resistência à penetração (RP) e tempo de manejo (TM). Os outros dois parâmetros restantes – consumo de combustível (CC) e

custo de mão de obra (MO) – obtiveram valores de simetria e curtose bastante aproximados dos valores de TM, por serem parâmetros calculados em função do mesmo, o que resultou em gráficos de MMEP com comportamentos semelhantes. Por esta razão, os gráficos de MMEP para CC e MO são aqui representados apenas pelo gráfico de TM.

4.2.1 Ciclo 1

A Tabela 08 apresenta a estatística descritiva das três máquinas para o ciclo 1.

Tabela 8 – Estatística descritiva para o Ciclo 1 (AC = Altura de corte; VR = Velocidade de rebrota; MS = Massa seca; TM = Tempo de manejo; CC = Consumo de combustível; MO = Mão de obra; TA = Tempo de amontoa; RP = Resistência à penetração).

		AC	VR	MS	TM	CC	MO	TA	RP
MINI COLHEDORA DE GRÃOS	Observações	18	18	18	6	6	6	6	30
	Média	8,89	7,03E-06	0,03	2,09E-04	0,42	3,68E-07	1,00E-03	19,32
	Variância	4,22	2,70E-12	5,06E-05	7,00E-09	0,03	2,15E-14	5,20E-08	40,53
	Desvio Padrão	2,05	1,64E-06	0,01	8,37E-05	0,17	1,47E-07	2,28E-04	6,37
	C.V. %	23,12	23,38	28,26	39,94	39,82	39,94	22,80	32,95
	Amplitude	6	7,98E-06	0,03	1,94E-04	0,38	3,40E-07	5,00E-04	20,85
	Curtose	1,74	6,32	3,33	1,55	1,54	1,55	1,30	2,10
	Simetria	0,20	-1,26	0,69	0,62	0,63	0,62	-0,22	0,60
ROÇADORA COSTAL	Observações	18	18	18	6	6	6	6	30
	Média	12,22	6,74E-06	0,03	1,23E-03	2,08	2,16E-06	1,35E-03	18,91
	Variância	5,95	3,46E-12	3,51E-05	1,67E-09	4,59E-03	5,13E-15	3,90E-08	21,54
	Desvio Padrão	2,44	1,86E-06	0,01	4,08E-05	0,07	7,16E-08	1,97E-04	4,64
	C.V. %	19,95	27,61	23,66	3,31	3,25	3,31	14,63	24,55
	Amplitude	10	7,58E-06	0,02	1,15E-04	0,19	2,02E-07	5,00E-04	21,30
	Curtose	3,33	3,04	2,99	3,14	3,21	3,14	2,61	3,33
	Simetria	0,24	0,51	0,46	1,09	1,15	1,09	0,94	0,40
ROÇADORA ROTATIVA MONTADA	Observações	18	18	18	6	6	6	6	30
	Média	8,61	5,88E-06	0,02	1,98E-04	1,60	4,67E-07	1,30E-03	19,12
	Variância	2,84	5,21E-12	3,28E-05	6,35E-11	3,87E-03	3,54E-16	1,20E-07	22,00
	Desvio Padrão	1,69	2,28E-06	0,01	7,97E-06	0,06	1,88E-08	3,46E-04	4,69
	C.V. %	19,57	38,83	26,96	4,03	3,88	4,03	26,65	24,52
	Amplitude	6	8,38E-06	0,02	2,18E-05	0,17	5,15E-08	7,00E-04	19,17
	Curtose	2,84	2,46	3,61	2,43	2,43	2,43	1,26	2,70
	Simetria	0,79	0,35	1,03	0,83	0,83	0,83	-0,25	0,54

Fonte: O autor, 2022.

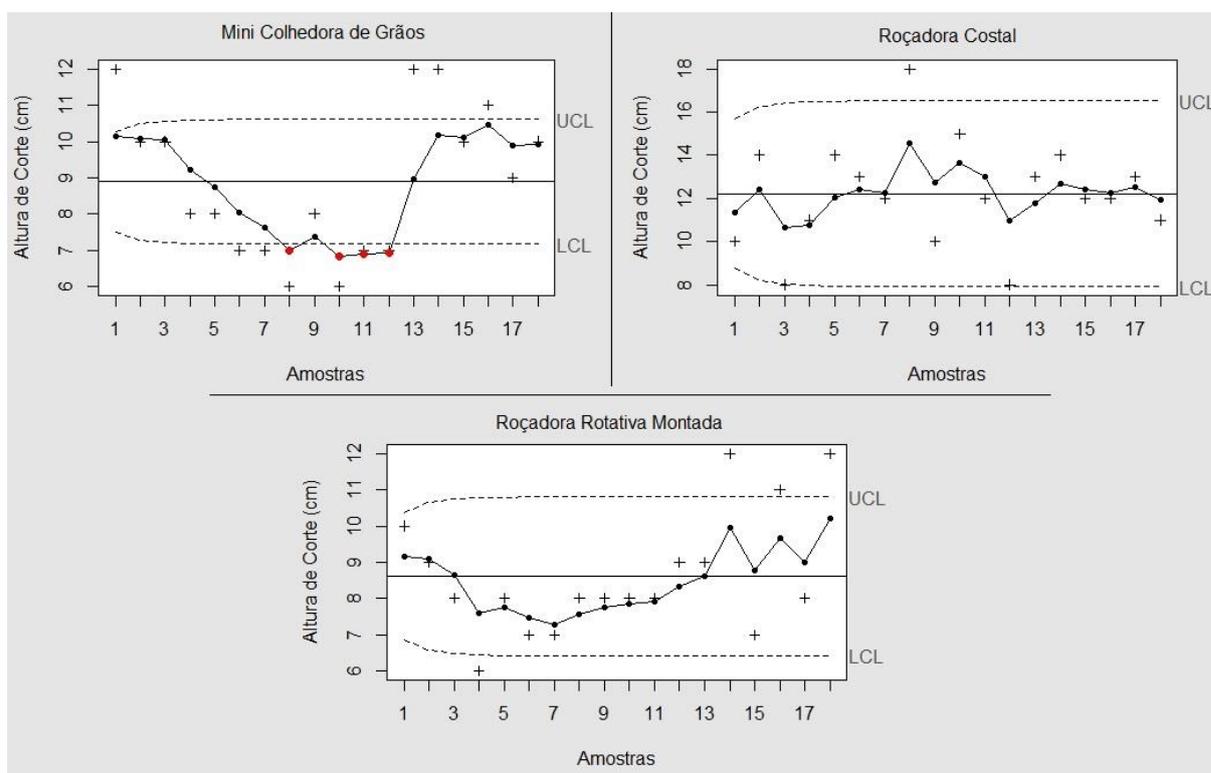
Para a mini colhedora de grãos, das variáveis apresentadas, apesar dos valores de simetria serem de 0,20 (AC), -1,26 (VR), 0,69 (MS), 0,62 (TM), 0,63 (CC), 0,62 (MO), -0,22 (TA) e 0,60 (RP) e estarem dentro do intervalo de -3 e 3 estabelecido por Oliveira (2010), os valores de curtose para VR e MS estão muito acima desse intervalo, desta maneira constata-se que os dados estudados para a máquina em questão possuem distribuição não normal. No caso da roçadora costal, os valores de simetria também se encontram dentro do intervalo estipulado, porém os valores de curtose para AC, VR, TM, MO e RP estão além desse intervalo, com isso, para esta máquina, os dados estudados apresentam igualmente distribuição não normal. Com relação a roçadora rotativa montada, os dados estudados apresentam, da mesma forma, distribuição não normal, visto que o valor de curtose da variável MS ficou acima do intervalo determinado, apesar da simetria dos dados encontrarem-se dentro do mesmo.

Devido aos dados apresentarem não normalidade foi utilizado, em consoante com a recomendação de Montgomery (2002), os gráficos de MMEP como controle estatístico para comparar a variabilidade das médias.

Na Figura 43 encontram-se os gráficos da MMEP relativos à altura de corte (AC) no ciclo 1. Observa-se que, com relação à roçadora costal e à roçadora rotativa montada, ambas máquinas apresentam processo estável, uma vez que todos os pontos se encontram dentro dos limites superiores e inferiores especificados, ocorrendo, para estas, pouca variabilidade durante no que se refere à AC. Com relação à mini colhedora de grãos, a mesma apresenta processo instável, dado que mais de 5% dos pontos estão fora dos limites especificados, conforme recomendação de Campos (2007) e Barros (2008), onde os autores afirmam que para um processo ser considerado estável, o mesmo precisa apresentar 95% dos pontos dentro do limites de especificação.

Dentre estas, a máquina que apresentou menor variabilidade foi a roçadora rotativa montada, possivelmente devido ao fato de ser um processo padronizado mecanicamente, enquanto a AC da roçadora costal e da mini colhedora de grãos pode alterar a qualquer momento, de acordo com o trabalho do operador das máquinas. Constatou-se que a roçadora costal foi responsável pelas maiores alturas de corte, enquanto a roçadora rotativa montada, em média, cortou o capim mais baixo que as outras máquinas.

Figura 43 – MMEP da altura de corte (AC) para o ciclo 1.



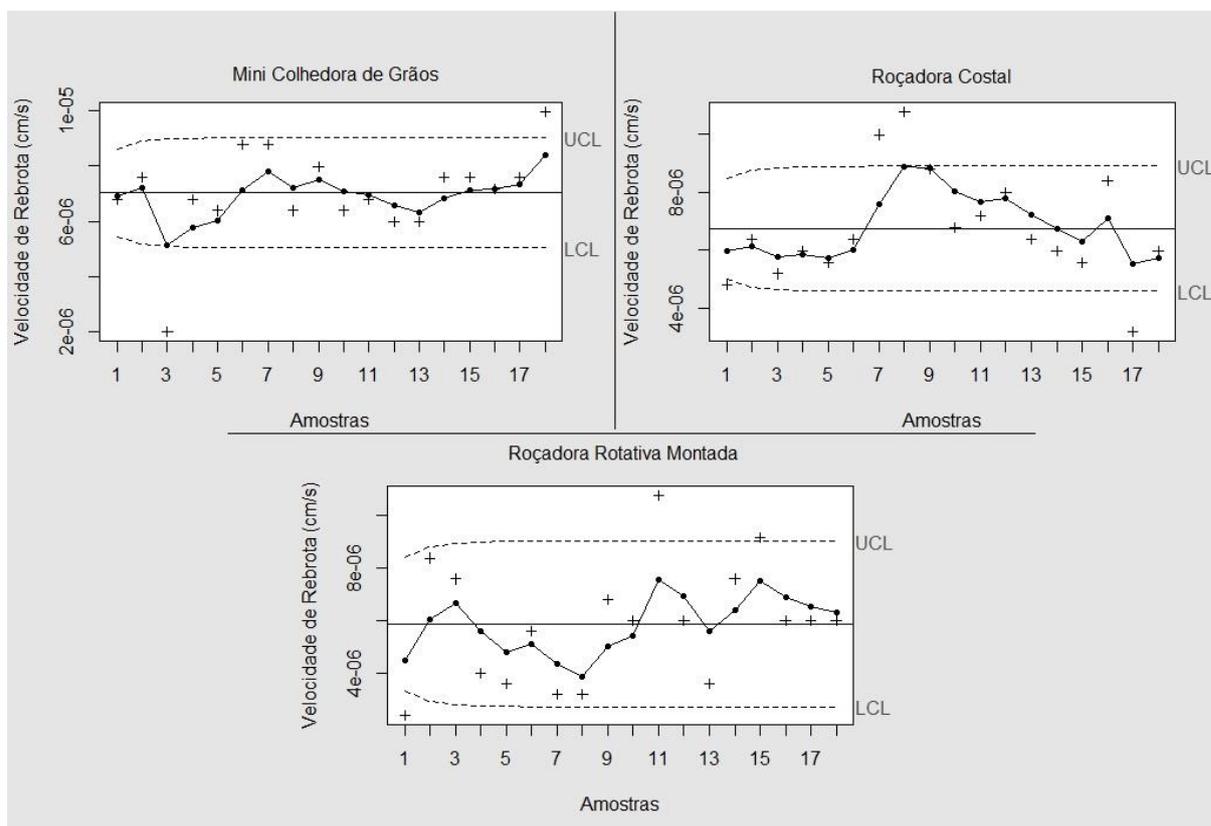
Fonte: O autor, 2022.

Com relação a velocidade de rebrota (VR), na Figura 44 encontram-se os gráficos da MMEP para as três máquinas: mini colhedora de grãos, roçadora costal e roçadora rotativa montada para o ciclo 1. Observa-se que em todas as máquinas o processo apresenta-se estável, pois todos os pontos se encontram dentro dos limites superiores e inferiores especificados, desta maneira, analisando o gráfico, constata-se que ocorreu pouca variabilidade durante o processo de rebrota. Para esta variável a mini colhedora de grãos foi a que apresentou menor variabilidade.

Os cortes da mini colhedora de grãos e da roçadora costal, similarmente, foram os que proporcionaram as velocidades de rebrota mais rápidas, enquanto a roçadora rotativa montada foi responsável pelo crescimento inicial mais lento do capim. Este fenômeno foi observado, possivelmente, devido ao fato de que a altura de corte (AC) da roçadora rotativa montada foi baixa o suficiente para cortar a gema apical do capim, fazendo com que a rebrotação tenha sido ocorrida principalmente pelas gemas axilares da planta a partir da emissão de novos perfilhos, de forma a retardar o processo de rebrotação. No caso da mini colhedora de

grãos e da roçadora costal, que cortaram o capim mais alto e não danificaram a gema apical, o processo de rebrotação foi mais rápido.

Figura 44 – MMEP da velocidade de rebrota (VR) para o ciclo 1.



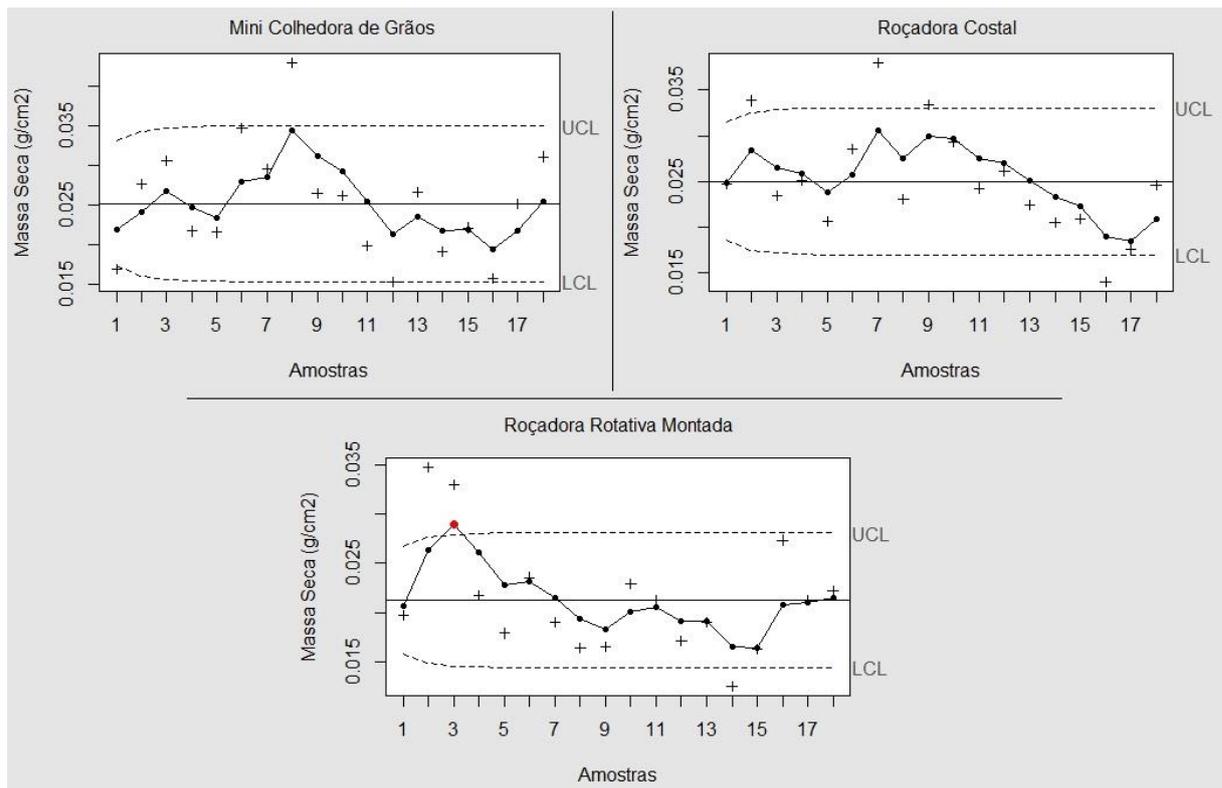
Fonte: O autor, 2022.

Para a massa seca (MS) é possível observar na Figura 45, de acordo com os gráficos de MMEP, que a mini colhedora de grãos e a roçadora costal, durante o ciclo 1, apresentaram todos os pontos dentro dos limites de especificação (superior e inferior), desta maneira o processo é considerado estável. A roçadora rotativa montada, por sua vez, apresenta processo instável, pois a mesma apresentou mais de 5% dos pontos fora dos limites especificados, segundo as recomendações de Campos (2007) e Barros (2008).

A partir da análise dos gráficos foi possível observar que os cortes da mini colhedora de grãos e da roçadora costal - que, como citado anteriormente, tiveram a altura de corte mais altas e velocidade de rebrota similares e mais altas que as da roçadora rotativa montada - foram os responsáveis pela maior produção de massa seca coletada no fim do ciclo 1, com valores médios de MS iguais. Apesar de menor, a diferença do valor médio de MS para

a roçadora rotativa montada, em comparação com as anteriores, é mínima, não sendo considerado relevante. Contudo, percebe-se que a roçadora rotativa montada obteve maior quantidade de pontos no gráfico abaixo da média.

Figura 45 – MMEP da massa seca (MS) para o ciclo 1.



Fonte: O autor, 2022.

Na Figura 46 estão os gráficos da MMEP do tempo de manejo (TM) das três máquinas no primeiro ciclo. É possível observar que em todas as máquinas, como todos os pontos estão localizados dentro dos limites superiores e inferiores descritos, o processo apresenta-se estável, sendo assim, ao analisar o gráfico, constata-se que ocorreu pouca variabilidade durante o processo.

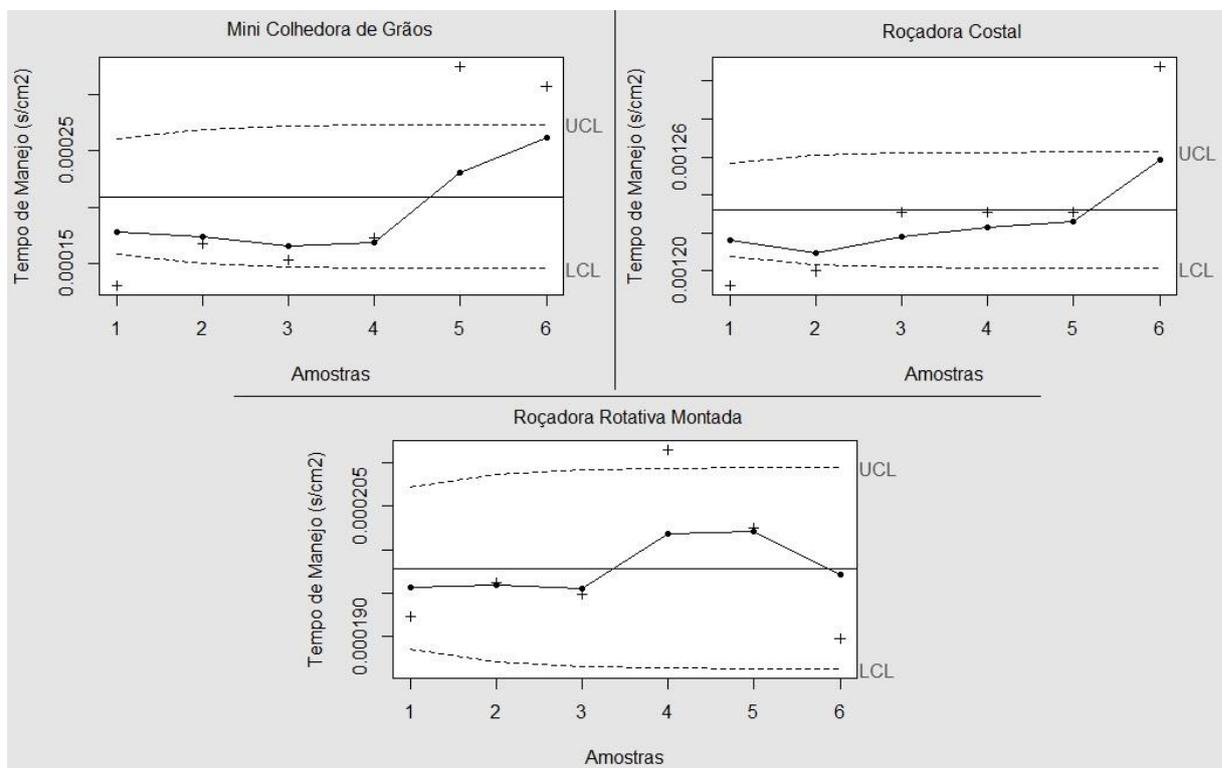
Para esta variável, a roçadora rotativa montada foi a máquina que apresentou menor variabilidade e menor TM, ou seja, foi a máquina que trabalhou mais rápido dentre as máquinas avaliadas. A roçadora costal foi a máquina que mais demorou para realizar o mesmo trabalho.

Já em relação ao valor do consumo de combustível (CC) e ao custo de mão de obra (MO), a mini colhedora de grãos demonstrou resultados mais satisfatórios neste ciclo 1 do que

as outras máquinas, uma vez que a média dos valores de CC e MO, como pode ser observado da tabela 08 das estatísticas descritivas, resultou em valores menores. Isto provavelmente se deve ao fato de que, respectivamente, o motor da mini colhedora de grãos sendo menor e menos potente, consome menos combustível que o motor do trator - apesar deste ter sido responsável pelo menor TM - e também porque o salário do mensalista que opera a mini colhedora é menor que o salário do tratorista.

Em relação à roçadora costal, apesar de seu motor ser o menor e menos potente dos aqui comparados, o consumo de combustível em litros por hora obtido nos testes anteriores ao experimento foi bastante parecido com o consumo da mini colhedora de grãos: 1,16 litros por hora para a roçadora costal e 1,36 litros por hora para a mini colhedora de grãos. Contudo, o TM observado da roçadora costal foi consideravelmente maior que o das outras máquinas, o que resultou no CC e MO mais elevados em comparação com as outras máquinas testadas.

Figura 46 – MMEP do tempo de manejo (TM) para o ciclo 1.



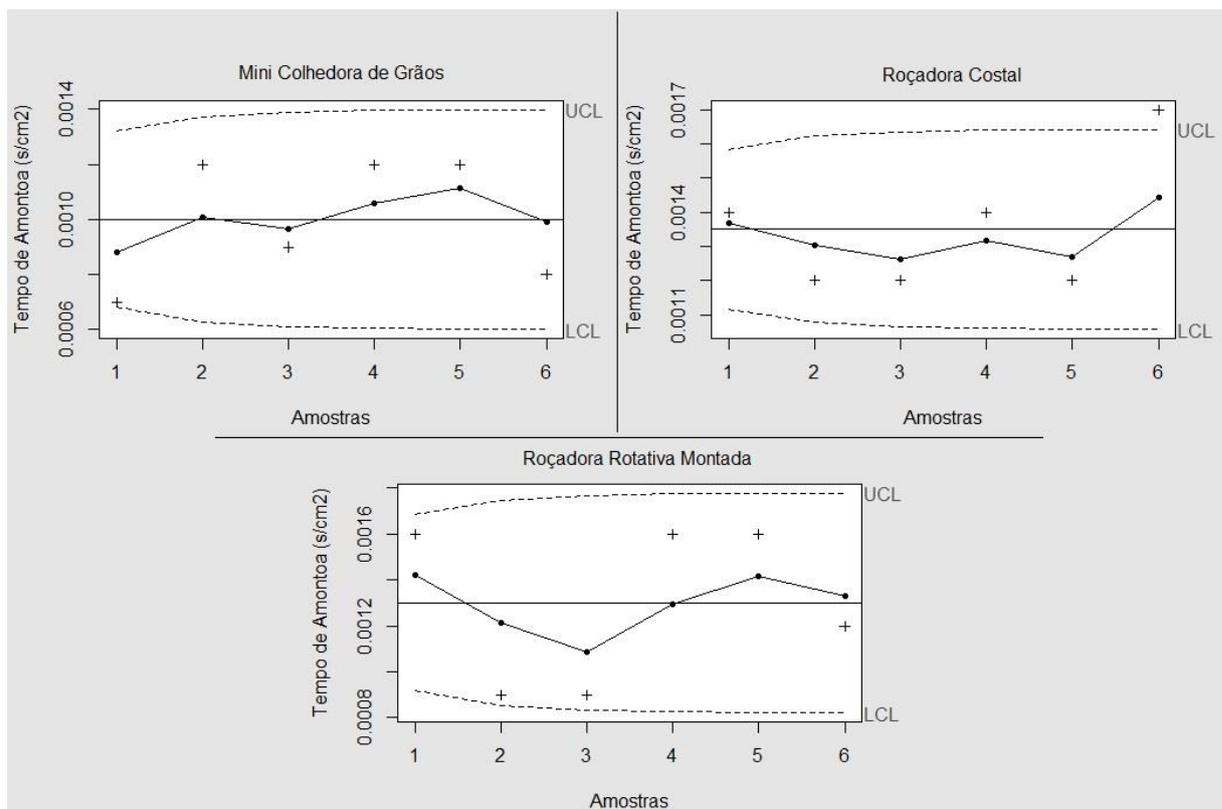
Fonte: O autor, 2022.

No caso do tempo de amontoa (TA) para o ciclo 1, a Figura 47 apresenta os gráficos da MMEP para as três máquinas. Consegue-se, através dos mesmos, observar que em todas as

máquinas o processo foi estável, uma vez que todos os pontos estão dentro dos limites superior e inferior descritos, portanto, ao analisar o gráfico, verifica-se que ocorreu pouca variabilidade ao longo do processo. A máquina que apresentou, por sua vez, menor variabilidade, foi a roçadora rotativa montada.

A mini colhedora de grãos, devido ao seu sistema de corte, foi a máquina que resultou em folhas de capim cortadas com menos danos e que manteve as folhas inteiras e, além disso, seu sistema de corte empurra as folhas cortadas e deposita estas já amontoadas no solo. Este fato resultou em um menor TA do capim cortado por esta máquina. Durante o experimento foi possível constatar que folhas inteiras requerem menos tempo para serem arrastadas e amontoadas do que folhas trituradas e espalhadas, como foi o resultado, principalmente, da roçadora rotativa montada.

Figura 47 – MMEP do tempo de amontoa (TA) para o ciclo 1.



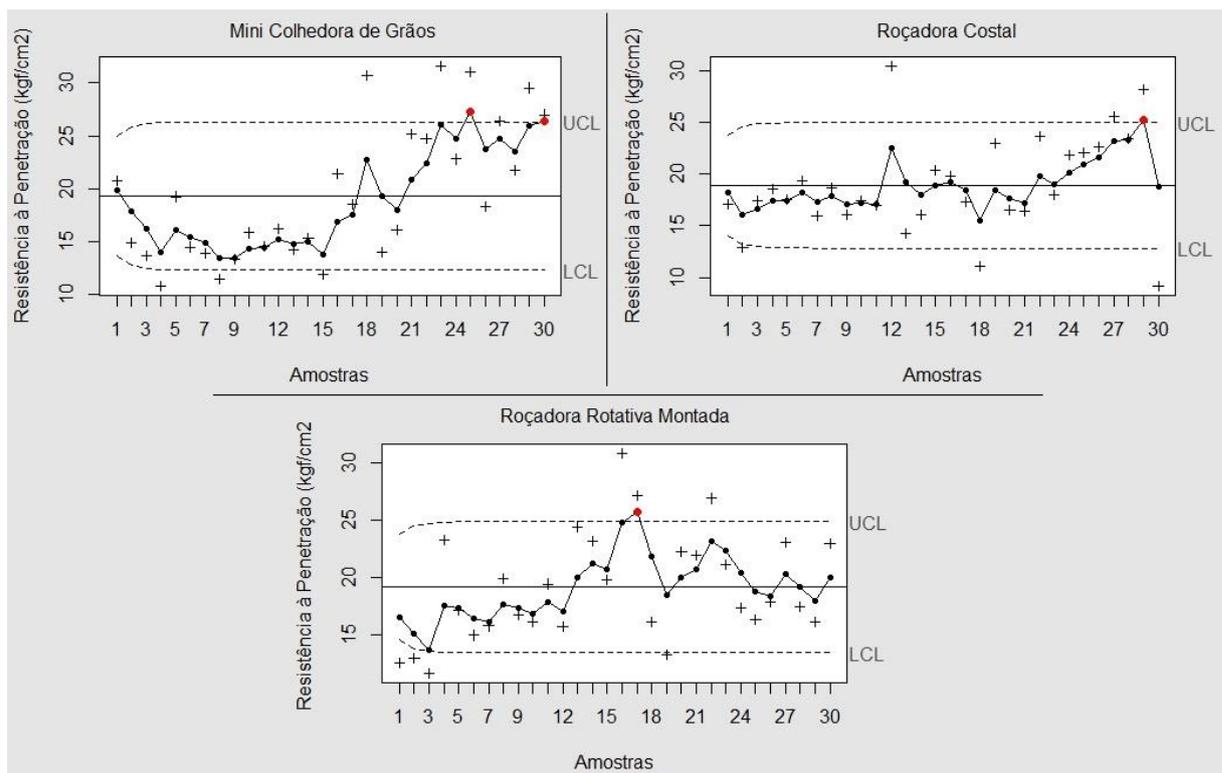
Fonte: O autor, 2022.

Em relação à resistência à penetração (RP) do solo, é possível observar na Figura 48, com base nos gráficos de MMEP, que o processo para a roçadora costal e a roçadora rotativa

montada durante o ciclo 1 é considerado estável, pois as mesmas seguem as recomendações de Campos (2007) e Barros (2008) tendo menos de 95% dos seus pontos fora dos limites detalhados (superior e inferior). A mini colhedora de grãos, por sua vez, apresentou mais de 5% dos seus pontos fora dos limites e, dessa maneira, para esta o processo é considerado instável.

Os dados coletados referentes à RP, assim como descrito no item 3.6.2.8 deste trabalho, foram coletados uma vez antes do experimento se iniciar e uma segunda vez ao término do ciclo 3 do experimento. Deste modo, os dados de RP aqui apresentados no ciclo 1 não expressam nenhum resultado dos trabalhos das máquinas, mas sim servem como base para a comparação da compactação do solo desenvolvida como resultado do pisoteio das máquinas durante os 3 ciclos de corte do capim realizados neste experimento.

Figura 48 – MMEP da resistência à penetração (RP) para o ciclo 1.



Fonte: O autor, 2022.

4.2.2 Ciclo 2

A Tabela 09 apresenta a estatística descritiva das três máquinas para o ciclo 2.

Tabela 9 – Estatística descritiva para o Ciclo 2 (AC = Altura de corte; VR = Velocidade de rebrota; MS = Massa seca; TM = Tempo de manejo; CC = Consumo de combustível; MO = Mão de obra; TA = Tempo de amontoa; RP = Resistência à penetração).

		AC	VR	MS	TM	CC	MO	TA	RP
MINI COLHEDORA DE GRÃOS	Observações	18	18	18	6	6	6	6	-
	Média	7,65	1,41E-05	0,04	2,01E-04	0,48	3,68E-07	1,10E-03	-
	Variância	6,27	2,28E-11	3,13E-04	6,75E-10	0,00	2,26E-15	6,00E-08	-
	Desvio Padrão	2,50	4,77E-06	0,02	2,60E-05	0,06	4,75E-08	2,45E-04	-
	C.V. %	32,73	33,85	47,04	12,91	12,39	12,91	22,27	-
	Amplitude	9,5	1,77E-05	0,07	6,95E-05	0,16	1,27E-07	6,00E-04	-
	Curtose	2,95	2,74	4,38	1,78	1,78	1,78	2,04	-
	Simetria	0,54	0,53	1,24	-0,15	-0,18	-0,15	0,63	-
ROÇADORA COSTAL	Observações	18	18	18	6	6	6	6	-
	Média	11,18	1,64E-05	0,04	3,90E-04	0,80	7,13E-07	1,20E-03	-
	Variância	8,76	3,37E-11	1,35E-04	3,31E-09	1,44E-02	1,11E-14	3,60E-08	-
	Desvio Padrão	2,96	5,81E-06	0,01	5,75E-05	0,12	1,05E-07	1,90E-04	-
	C.V. %	26,47	35,48	31,84	14,75	15,09	14,75	15,81	-
	Amplitude	11,5	2,39E-05	0,04	1,63E-04	0,34	2,98E-07	6,00E-04	-
	Curtose	3,23	3,33	2,74	3,71	3,70	3,71	3,00	-
	Simetria	0,82	0,51	0,60	1,47	1,46	1,47	0,00	-
ROÇADORA ROTATIVA MONTADA	Observações	18	18	18	6	6	6	6	-
	Média	7,81	1,20E-05	0,03	1,66E-04	1,73	4,06E-07	1,55E-03	-
	Variância	3,83	1,83E-11	9,53E-05	3,76E-11	4,31E-03	2,24E-16	1,47E-07	-
	Desvio Padrão	1,96	4,28E-06	0,01	6,13E-06	0,07	1,50E-08	3,83E-04	-
	C.V. %	25,09	35,67	33,62	3,69	3,80	3,69	24,74	-
	Amplitude	8	1,41E-05	0,03	1,58E-05	0,17	3,87E-08	1,10E-03	-
	Curtose	3,40	1,96	3,05	1,70	1,72	1,70	3,69	-
	Simetria	-0,35	0,18	1,01	0,14	0,11	0,14	1,45	-

Fonte: O autor, 2022.

Para as variáveis apresentadas, na mini colhedora, os valores de simetria estão dentro do intervalo de -3 e 3, assim como determinado por Oliveira (2010), porém o valor de curtose para MS foi de 4,38. Como este valor está fora desse intervalo, determina-se que os dados estudados para esta máquina apresentam distribuição não normal. No que diz respeito à roçadeira costal, os valores de simetria também estão no intervalo estabelecido, contudo o valor de curtose apenas para o parâmetro MS (2,74) se encontra dentro deste intervalo, estando

todos os outros acima do intervalo. Sendo assim, para esta máquina, os dados estudados possuem distribuição não normal.

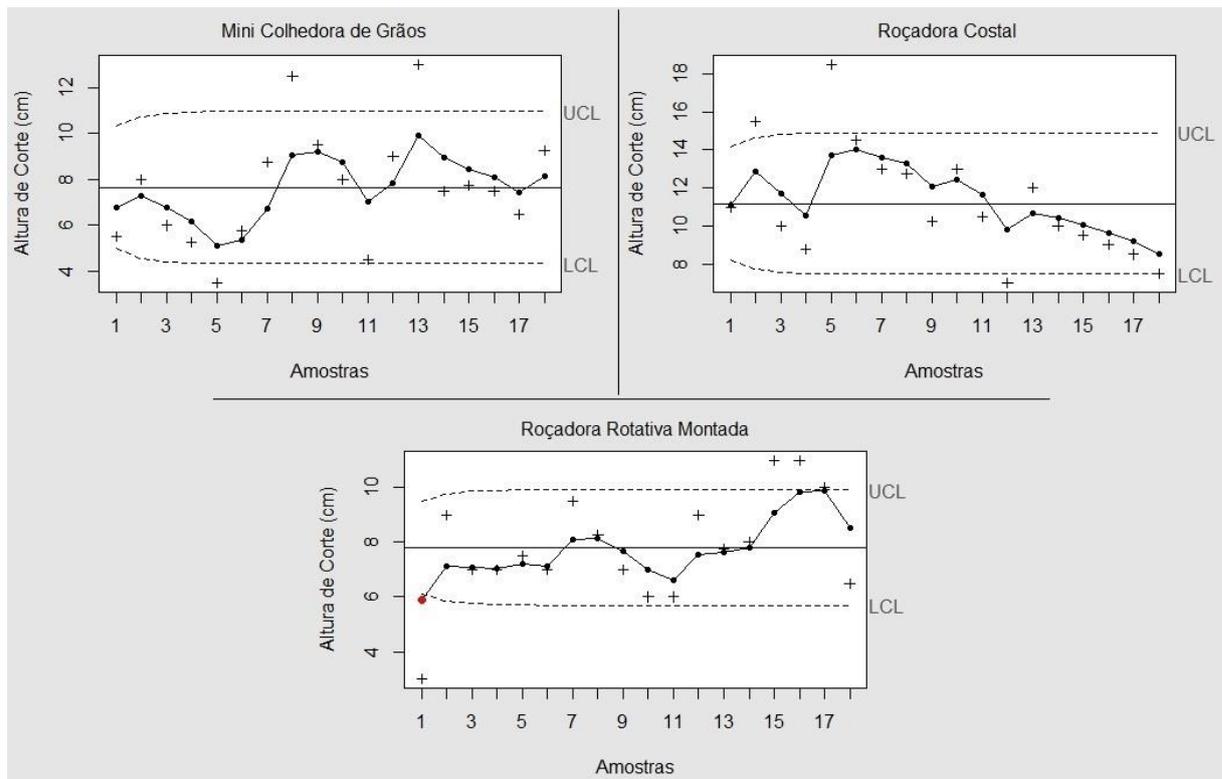
Com relação a roçadeira acoplada ao trator, os dados estudados, de maneira similar às outras máquinas, apresentam os valores de simetria dentro do intervalo determinado, porém para as variáveis AC, MS e TA os valores de curtose foram respectivamente 3,40, 3,05 e 3,69, desta forma entende-se que os dados estudados para essa máquina têm distribuição não normal.

Como os dados são não normais, de acordo com Montgomery (2002), foi utilizado como controle estatístico os gráficos de MMEP.

Em relação à altura de corte (AC), no ciclo 2 a Figura 49 mostra os gráficos de MMEP para as três máquinas. Observa-se que a mini colhedora de grãos e a roçadora costal possuem comportamento semelhante tendo um processo estável, pois todos os pontos estão dentro de limites superiores e inferiores especificados, apresentando pouca variação na AC durante os tratamentos. A roçadora rotativa montada por sua vez, apresenta um processo instável, com mais de 5% dos pontos fora dos limites especificados, conforme recomendado por Campos (2007) e Barros (2008).

Assim como no ciclo 1, no segundo ciclo de corte a roçadora rotativa montada apresentou menor variabilidade de AC, possivelmente devido ao fato de ser um processo padronizado mecanicamente. Também como no ciclo 1, neste segundo ciclo de corte a roçadora costal apresentou os maiores valores de AC. De acordo com a Tabela 09, a mini colhedora de grãos e a roçadora rotativa montada obtiveram valores médios aproximados de AC e mais baixos que a roçadora costal.

Figura 49 – MMEP da altura de corte (AC) para o ciclo 2.

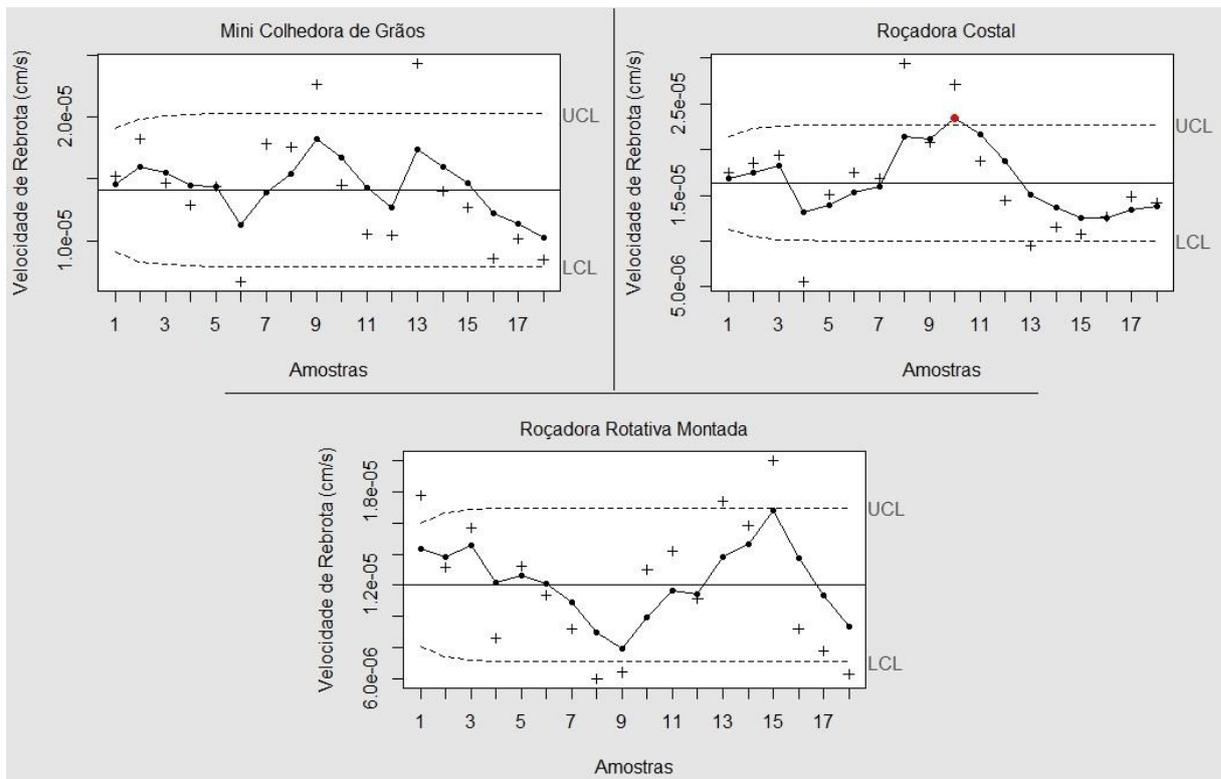


Fonte: O autor, 2022.

A Figura 50 mostra os gráficos de MMEP da velocidade de rebrota (VR) para as três máquinas durante o ciclo 2. Observa-se que, para a mini colhedora de grãos e a roçadora rotativa montada, o processo apresentou-se estável, onde todos os pontos se encontram dentro dos limites superior e inferior especificados. Já para a roçadora costal, segundo Campos (2007) e Barros (2008), o processo é considerado instável visto, que mais de 5% dos seus pontos estão fora dos limites.

Neste ciclo, o corte da roçadora costal foi o responsável pelos maiores valores de VR do capim, seguido da mini colhedora de grãos, enquanto o corte a roçadora rotativa montada obteve os menores valores de VR. Assim como no primeiro ciclo de corte, este fenômeno se repetiu no segundo ciclo, possivelmente devido ao fato de que a mini colhedora de grãos e a roçadora costal realizaram o corte do capim mais alto, sem danificar a gema apical, enquanto a roçadora rotativa montada cortou o capim baixo o suficiente para eliminar a gema apical da planta.

Figura 50 – MMEP da velocidade de rebrota (VR) para o ciclo 2.

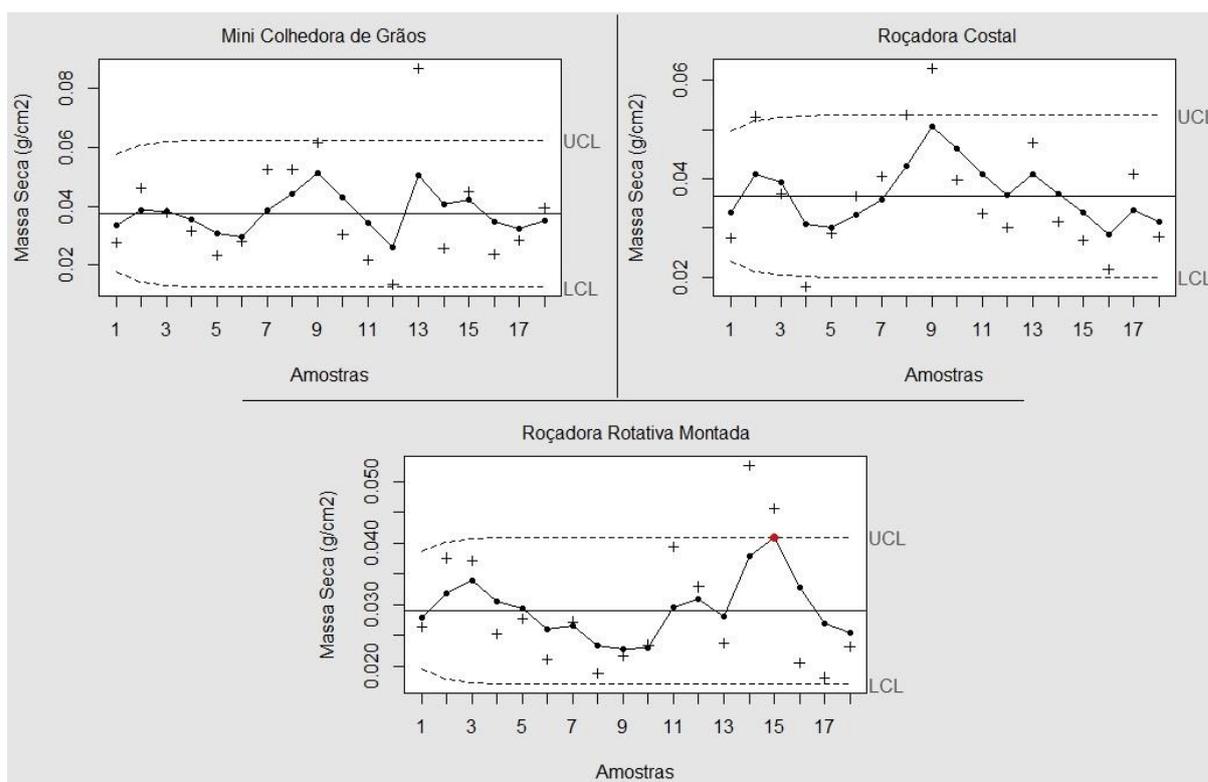


Fonte: O autor, 2022.

Para a massa seca (MS) é possível observar na Figura 51, de acordo com os gráficos de MMEP, que a roçadora rotativa montada apresenta processo instável, visto que menos de 95% de seus pontos estão dentro dos limites de especificação (superior e inferior). Já a mini colhedora de grãos e a roçadora costal apresentam processo estável, pois as mesmas apresentam todos os seus pontos dentro dos limites especificados.

Neste ciclo de corte, assim como ocorreu no primeiro ciclo, as máquinas que obtiveram os maiores valores de altura de corte e velocidade de rebrota - mini colhedora de grãos e roçadora costal - foram responsáveis pelos maiores valores de massa seca coletada, ambas com valores médios de MS iguais. Da mesma forma que no ciclo anterior, neste segundo ciclo de corte a diferença do valor médio da roçadora rotativa montada foi mínima.

Figura 51 – MMEP da massa seca (MS) para o ciclo 2.



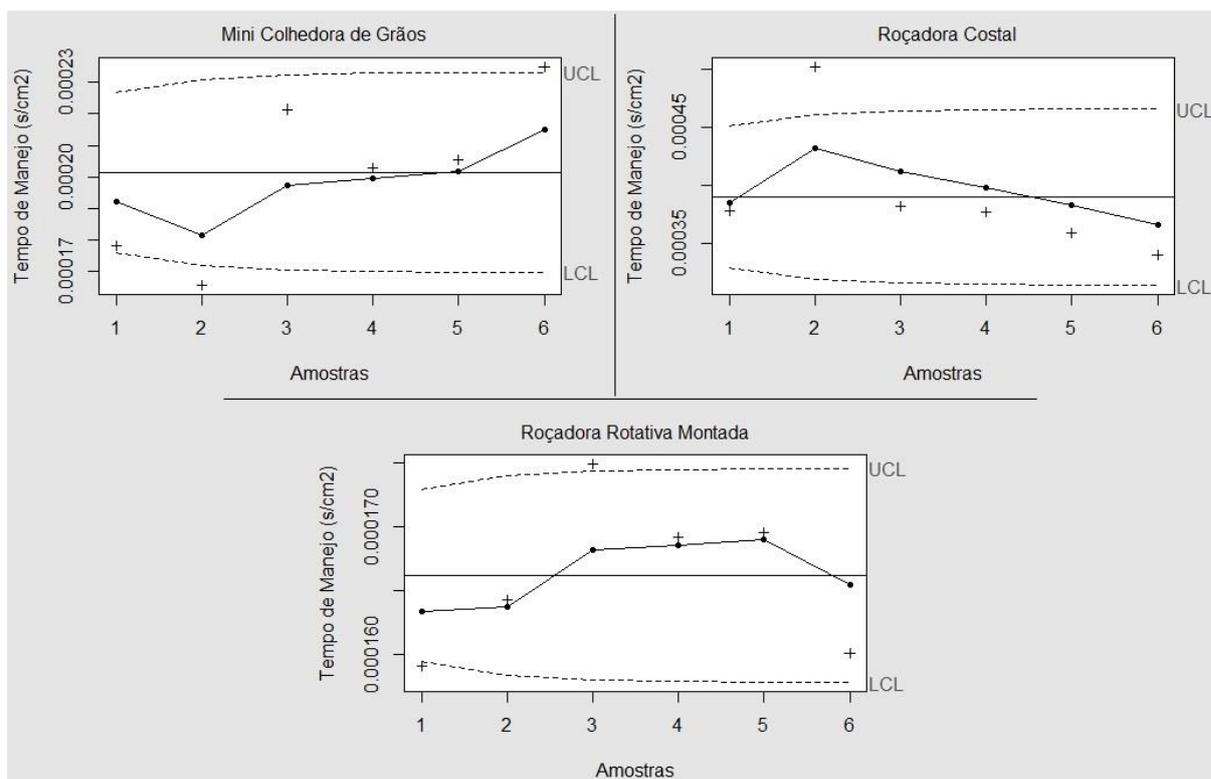
Fonte: O autor, 2022.

Na Figura 52 localizam-se os gráficos da MMEP do tempo de manejo (TM) das três máquinas no segundo ciclo. Pode-se observar que para todas as máquinas os pontos estão localizados dentro dos limites superiores e inferiores descritos, logo os processos apresentam-se estáveis. Com isso, ao analisar os gráficos, constata-se que ocorreu pouca variabilidade durante o processo. Para esta variável, assim como no primeiro ciclo, a roçadora rotativa montada foi a máquina que apresentou menor variabilidade.

Neste segundo ciclo de corte, da mesma maneira observada no primeiro ciclo, a roçadora rotativa montada foi a máquina que obteve menores valores de TM, ou seja, foi a máquina que trabalhou mais rápido, seguida da mini colhedora de grãos e, por último, da roçadora costal. Em relação aos valores médios do consumo de combustível (CC) e custo de mão de obra (MO), os resultados mais satisfatórios se repetiram neste ciclo de corte, assim como no primeiro ciclo, para a mini colhedora de grãos, de forma que tanto o CC quanto o MO obtiveram valores menores, o que é mais desejado. Neste ciclo de corte, a roçadora rotativa montada foi a máquina que obteve maiores valores de CC, possivelmente devido ao maior tamanho e potência do motor do trator, enquanto a roçadora costal obteve os maiores valores

de MO, possivelmente por conta dos valores de TM consideravelmente maiores que os das outras máquinas.

Figura 52 – MMEP do tempo de manejo (TM) para o ciclo 2.



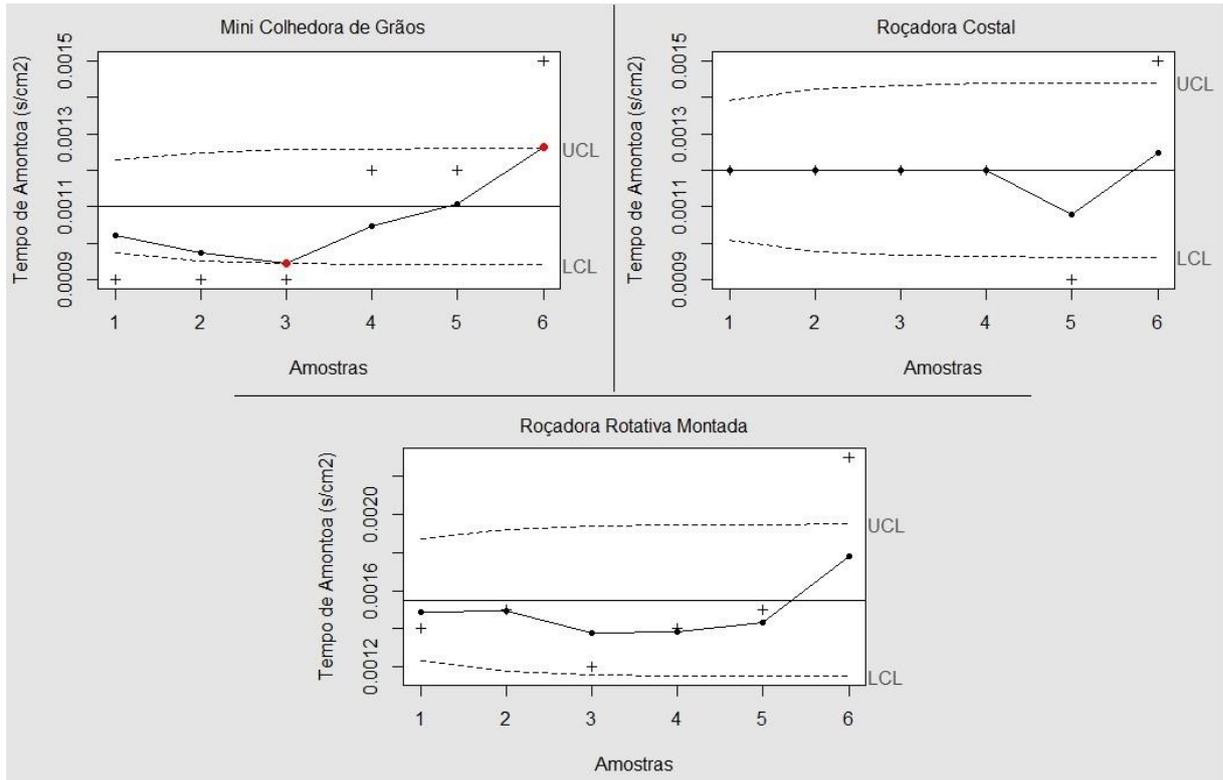
Fonte: O autor, 2022.

Em relação ao tempo de amontoa (TA) ao longo do ciclo 2, na Figura 53 estão localizados, para as três máquinas, os gráficos da MMEP. Através dos mesmos é possível observar que, para a roçadora costal e a roçadora rotativa montada, o processo foi estável, posto que todos os pontos estão dentro dos limites superior e inferior descritos. Portanto, ao analisar os gráficos, verifica-se que ocorreu pouca variabilidade ao longo do processo, sendo a menor variabilidade apresentada pela roçadora rotativa. Já a mini colhedora de grãos foi a máquina que, para esta variável, apresentou processo instável, visto que mais de 5% dos seus pontos não se encontram dentro do limite especificado.

Da mesma maneira observada no ciclo 1, neste ciclo de corte a mini colhedora de grãos foi a máquina que apresentou o resultado mais satisfatório para o TA ao observar-se os menores valores em relação às outras máquinas testadas, possivelmente em decorrência do seu

sistema de corte, que facilita e agiliza o processo de amontoa do capim. A roçadora rotativa montada foi a máquina que resultou na biomassa de capim cortada mais triturada e espalhada que as outras máquinas, fenômeno este que, provavelmente, acarretou no maior TA do capim.

Figura 53 – MMEP do tempo de amontoa (TA) para o ciclo 2.



Fonte: O autor, 2022.

4.2.3 Ciclo 3

A Tabela 10 apresenta a estatística descritiva das três máquinas para o ciclo 3.

Tabela 10 – Estatística descritiva para o Ciclo 3 (AC = Altura de corte; VR = Velocidade de rebrota; MS = Massa seca; TM = Tempo de manejo; CC = Consumo de combustível; MO = Mão de obra; TA = Tempo de amontoa; RP = Resistência à penetração).

		AC	VR	MS	TM	CC	MO	TA	RP
MINI COLHEDORA DE GRÃOS	Observações	18	18	18	6	6	6	6	30
	Média	7,81	1,46E-05	0,07	3,78E-04	0,90	7,36E-07	1,25E-03	20,16
	Variância	5,26	2,80E-11	7,25E-04	3,49E-09	0,02	1,32E-14	1,47E-07	19,50
	Desvio Padrão	2,29	5,29E-06	0,03	5,91E-05	0,14	1,15E-07	3,83E-04	4,42
	C.V. %	29,39	36,36	39,60	15,61	15,51	15,61	30,67	21,90
	Amplitude	9,25	1,88E-05	0,09	1,67E-04	0,39	3,24E-07	1,10E-03	17,38
	Curtose	3,67	2,13	2,77	2,57	2,53	2,57	3,69	2,16
	Simetria	0,87	0,14	0,97	-0,69	-0,68	-0,69	1,45	0,18
ROÇADORA COSTAL	Observações	18	18	18	6	6	6	6	30
	Média	10,40	1,51E-05	0,07	4,06E-04	0,82	7,90E-07	1,52E-03	18,51
	Variância	17,82	2,86E-11	7,96E-04	2,94E-09	1,19E-02	1,11E-14	6,38E-07	11,97
	Desvio Padrão	4,22	5,34E-06	0,03	5,42E-05	0,11	1,05E-07	7,99E-04	3,46
	C.V. %	40,58	35,32	41,32	13,35	13,31	13,35	52,65	18,68
	Amplitude	14,3	1,97E-05	0,11	1,54E-04	0,31	2,99E-07	2,20E-03	16,78
	Curtose	3,06	3,69	5,03	2,90	2,98	2,90	3,81	3,62
	Simetria	1,01	1,27	1,64	-1,05	-1,09	-1,05	1,57	0,10
ROÇADORA ROTATIVA MONTADA	Observações	18	18	18	6	6	6	6	30
	Média	6,49	1,38E-05	0,06	2,06E-04	2,24	5,33E-07	1,67E-03	19,17
	Variância	6,70	3,82E-11	1,09E-03	2,66E-10	3,17E-02	1,77E-15	3,47E-08	13,97
	Desvio Padrão	2,59	6,18E-06	0,03	1,63E-05	0,18	4,20E-08	1,86E-04	3,74
	C.V. %	39,91	44,81	58,22	7,89	7,94	7,89	11,17	19,50
	Amplitude	12	2,67E-05	0,13	4,02E-05	0,44	1,04E-07	4,00E-04	12,80
	Curtose	7,73	5,51	4,45	1,58	1,58	1,58	1,18	2,73
	Simetria	1,93	1,43	1,38	0,02	0,04	0,02	0,12	0,90

Fonte: O autor, 2022.

Para a mini colhedora de grãos, todas as variáveis apresentaram os valores de simetria dentro do intervalo de -3 e 3 estipulado por Oliveira (2010), enquanto os valores de curtose foram de 3,67 e 3,69 para AC e TA, respectivamente. Como estes valores se encontram fora do intervalo descrito, conclui-se que os dados estudados para esta máquina possuem distribuição não normal. No caso da roçadeira costal os valores de simetria, igualmente, encontram-se dentro do intervalo estabelecido, já para os valores de curtose as variáveis TM,

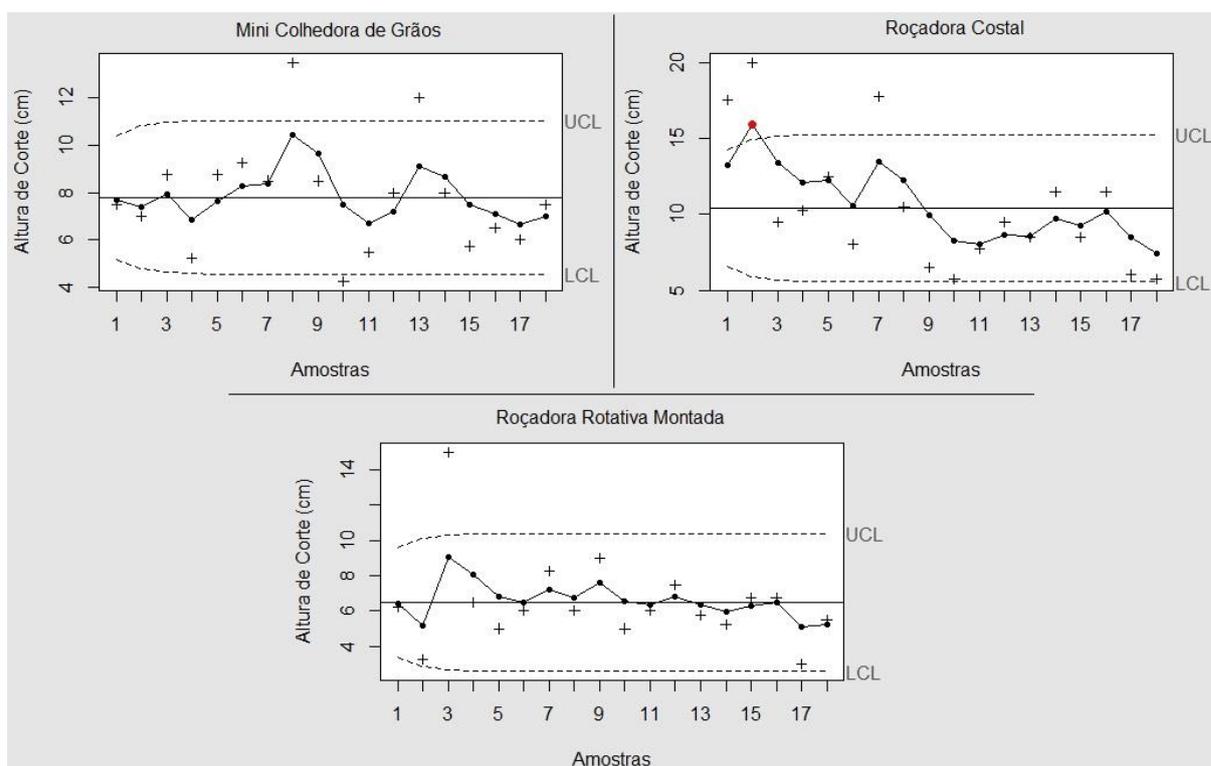
CC, MO e MS encontram-se acima deste intervalo. Desta forma, para esta máquina, os dados estudados possuem também distribuição não normal. A roçadeira acoplada ao trator, por sua vez, apresenta, similarmente às outras máquinas, valores de simetria dentro do intervalo determinado, contudo os valores de curtose para as variáveis AC (7,73), VR (5,71) e MS (4,45) estão acima deste intervalo. Desta maneira, os dados estudados para esta máquina têm distribuição não normal.

Por conta de os dados não apresentarem normalidade, para fins de comparação da variabilidade das médias, de acordo com Montgomery (2002), foram utilizados os gráficos de MMEP como controle estatístico.

No que se refere à altura de corte (AC) no ciclo 3, na Figura 54 encontram-se os gráficos de MMEP para as três máquinas. Observa-se que a mini colhedora de grãos e a roçadora rotativa montada possuem todos os pontos dentro dos limites especificados (superiores e inferiores). Sendo assim, para essas máquinas, o processo é considerado estável, de forma a apresentar pouca variação na altura de corte durante os tratamentos, sendo esta última máquina a que apresentou menor variabilidade. A roçadora costal, por sua vez, teve mais de 5% dos pontos fora dos limites especificados, logo, conforme recomendado por Campos (2007) e Barros (2008), apresenta um processo instável.

Diferentemente do que foi observado nos ciclos anteriores, neste ciclo a roçadora rotativa montada obteve maior variabilidade de AC do que a mini colhedora de grãos, a roçadora costal apresentou a maior variabilidade neste ciclo assim como nos anteriores. Assim como nos ciclos anteriores, a roçadora rotativa montada apresentou os valores de AC mais baixos. A roçadora costal foi a máquina que, assim como nos ciclos 1 e 2, cortou o capim mais alto.

Figura 54 – MMEP da altura de corte (AC) para o ciclo 3.

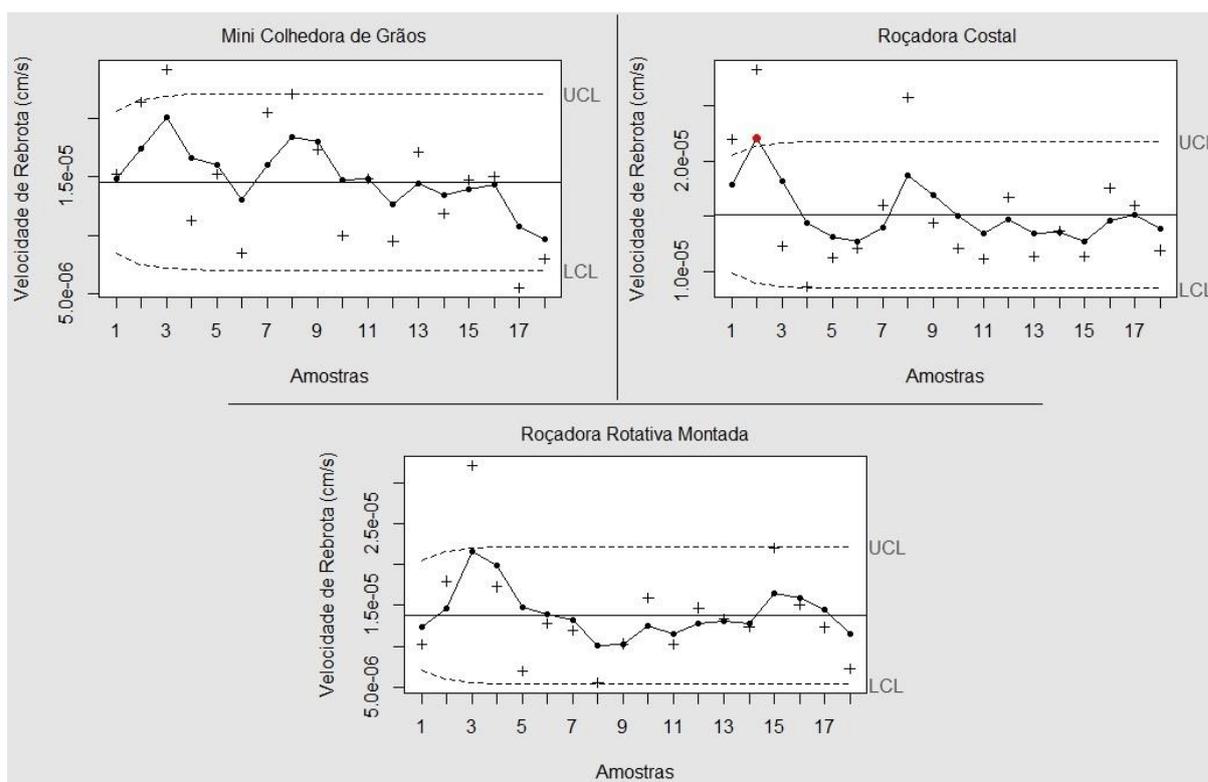


Fonte: O autor, 2022.

Na Figura 55 encontram-se os gráficos de MMEP da velocidade de rebrota (VR) para as três máquinas durante o ciclo 3. Pode-se observar que, para esta variável, o comportamento foi similar com o ciclo 2, tendo para a mini colhedora de grãos e para roçadora rotativa montada o processo considerado estável, onde todos os pontos se encontram dentro dos limites superior e inferior especificados. Com relação a roçadora costal, visto que mais de 5% dos seus pontos estão fora dos limites, de acordo com Campos (2007) e Barros (2008), o processo é considerado instável.

Assim como pode ser observado dos ciclos anteriores, no ciclo 3 a roçadora rotativa montada cortou o capim de forma a resultar na menor VR em comparação com as outras máquinas. A mini colhedora de grãos e a roçadora costal, caracterizadas pelas suas alturas de corte mais altas e que não comprometem a sobrevivência das gemas apicais, obtiveram os maiores valores de VR. Da mesma maneira observada nos dois ciclos anteriores, os valores médios de VR destas duas últimas máquinas foram bastante aproximados. Para fins de comparação, apesar da mínima diferença observada, assim como observado no ciclo 2 mas diferentemente do ciclo 1, neste ciclo a roçadora costal apresentou valor médio de VR superior ao da mini colhedora de grãos.

Figura 55 – MMEP da velocidade de rebrota (VR) para o ciclo 3.



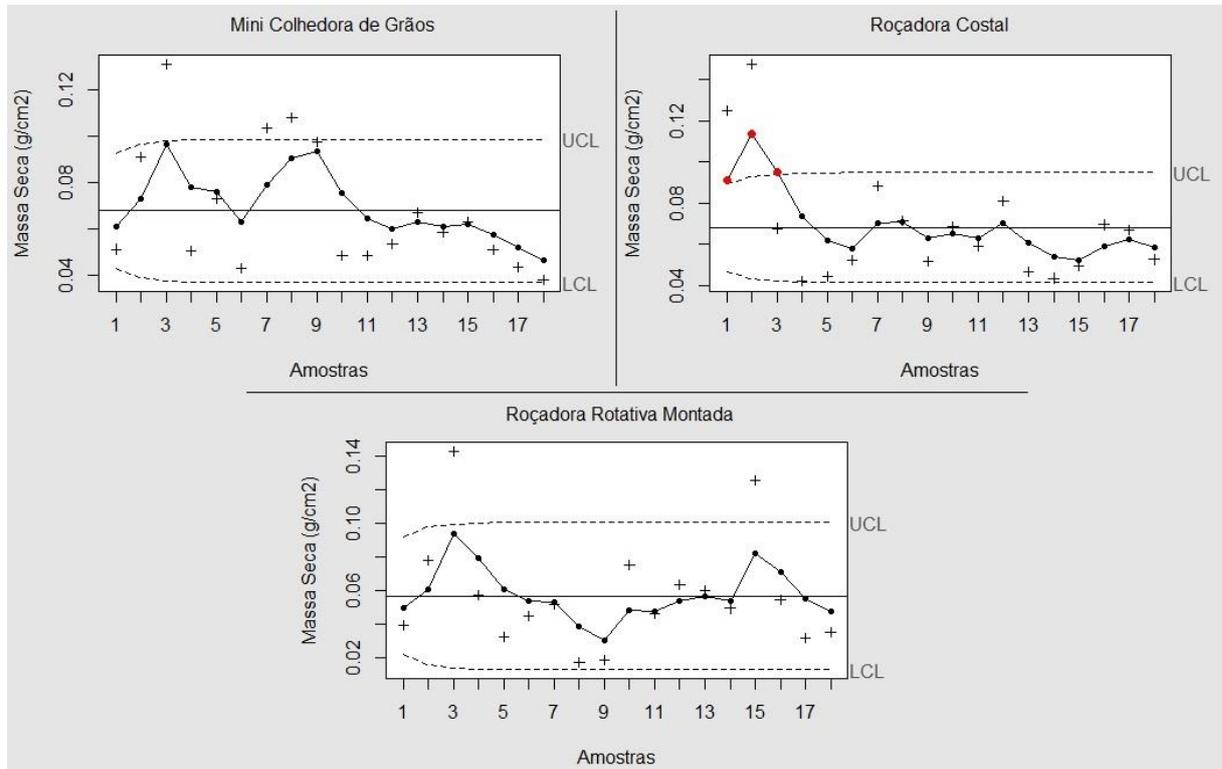
Fonte: O autor, 2022.

Para a massa seca (MS), com relação ao ciclo 3, é possível observar na Figura 56, de acordo com os gráficos de MMEP, que a roçadora costal apresenta processo instável, visto que cerca de 17% de seus pontos estão fora dos limites de especificação (superior e inferior), estando assim fora da tolerância de 5% recomendada por Campos (2007) e Barros (2008). A mini colhedora de grãos e a roçadora rotativa montada apresentam processo estável, onde todos os seus pontos se encontram dentro dos limites especificados.

Da mesma que pode ser observada nos dois ciclos anteriores, neste terceiro ciclo de corte três fatos puderam ser evidenciados: i) a mini colhedora de grãos e a roçadora costal obtiveram valores médios iguais de produção de MS: ii) estas duas máquinas propiciaram as AC altas o suficiente para não danificar a gema apical; iii) os valores médios de MS destas máquinas foram levemente superiores ao da roçadora rotativa montada. Neste ciclo de corte, contudo, é importante ressaltar que a maioria dos pontos do gráfico da roçadora costal estiveram abaixo da média. Percebe-se que os três primeiros pontos – relativos ao primeiro bloco 1 do experimento – estiveram excepcionalmente superiores aos restantes, fazendo com que a média

dos valores de MS para esta máquina fosse elevada e pudesse atingir o mesmo patamar da média dos valores de MS da mini colhedora de grãos.

Figura 56 – MMEP da massa seca (MS) para o ciclo 3.



Fonte: O autor, 2022.

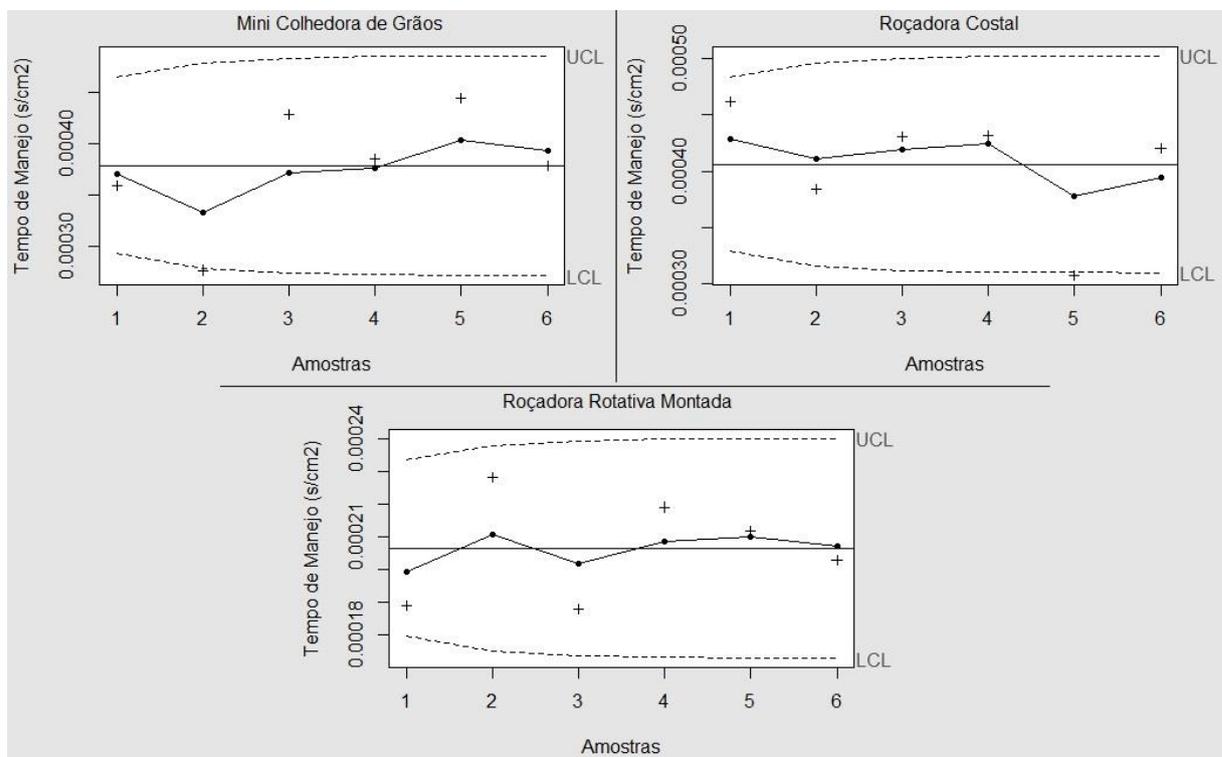
Na Figura 57 localizam-se os gráficos da MMEP do tempo de manejo (TM) das três máquinas para o terceiro ciclo. Pode-se observar que para todas as máquinas, todos os pontos estão localizados dentro dos limites superiores e inferiores descritos, logo o processo apresenta-se estável, com isso constata-se que ocorreu pouca variabilidade durante o processo ao se avaliar os gráficos. Para esta variável, assim como nos ciclos anteriores, a roçadora rotativa montada foi a máquina que apresentou menor variabilidade.

Neste terceiro ciclo de corte o mesmo padrão pode ser observado assim como nos ciclos anteriores: a roçadora rotativa montada obteve os menores valores de TM, sendo esta caracterizada como a máquina que trabalha mais rápido, seguida da mini colhedora de grãos e da roçadora costal, esta última a que mais demorou para roçar as parcelas do experimento.

Em relação ao valor do consumo de combustível (CC), diferentemente do observado nos ciclos anteriores, neste ciclo a roçadora costal foi a máquina que obteve os resultados mais satisfatórios, ou seja, os menores valores de CC, seguida da mini colhedora de grãos. A roçadora rotativa montada, assim como nos outros ciclos, apresentou os maiores valores de CC, sendo esta máquina caracterizada como o tratamento que tem maior CC.

Em relação ao custo de mão de obra (MO), os valores médios observados neste ciclo de corte também não seguiram o mesmo padrão dos anteriores, de forma que a roçadora rotativa montada obteve os resultados mais satisfatórios ao apresentar os menores valores de MO. Esta diferença no padrão foi observada, possivelmente, devido ao fato de a mini colhedora de grãos ter embuchado diversas vezes durante o corte do terceiro ciclo, decorrente da alta quantidade de biomassa de capim produzida neste período (verão), fazendo com que seu TM aumentasse consideravelmente.

Figura 57 – MMEP do tempo de manejo (TM) para o ciclo 3.



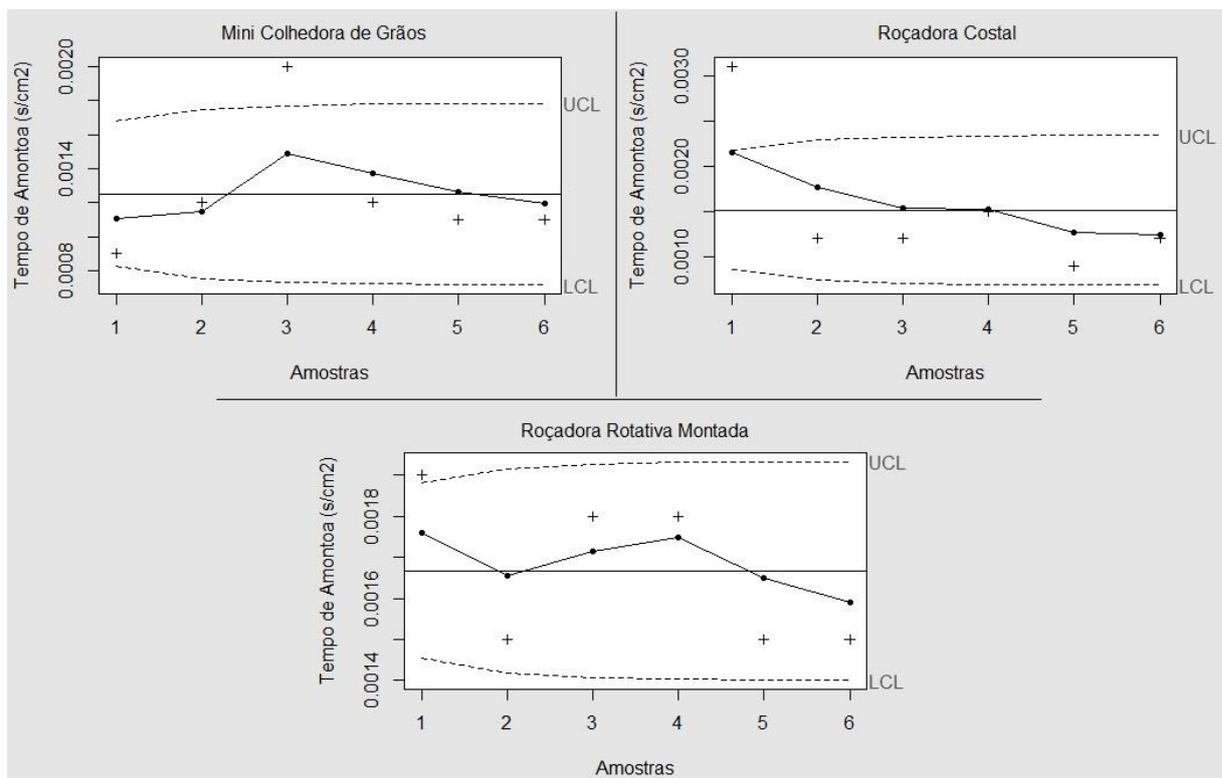
Fonte: O autor, 2022.

Em relação ao tempo de amontoa (TA) ao longo do ciclo 3, na Figura 58 estão apresentados os gráficos da MMEP para as três máquinas. Através dos mesmos é possível

observar que todas as máquinas apresentam processo estável para este ciclo, posto que todos os pontos estão dentro dos limites superior e inferior descritos. Portanto, ao analisar os gráficos, verifica-se que ocorreu pouca variabilidade ao longo do processo, sendo a menor variabilidade apresentada pela roçadora rotativa montada.

O resultado mais satisfatório de TA, igualmente observado nos ciclos anteriores, foi proporcionado pelo corte do capim da mini colhedora de grãos, possivelmente por ser um corte que deposita no solo as folhas inteiras do capim já previamente amontoadas. Isto fez com que os valores de TA para esta máquina fossem menores que os valores das outras máquinas, o que é desejado. Assim como no ciclo anterior, a roçadora rotativa montada foi responsável pelos valores mais altos de TA, possivelmente por seu corte triturar e espalhar as folhas de capim, o que pode acarretar em mais tempo demandado para arrastar e amontoar a biomassa cortada.

Figura 58 – MMEP do tempo de amontoa (TA) para o ciclo 3.



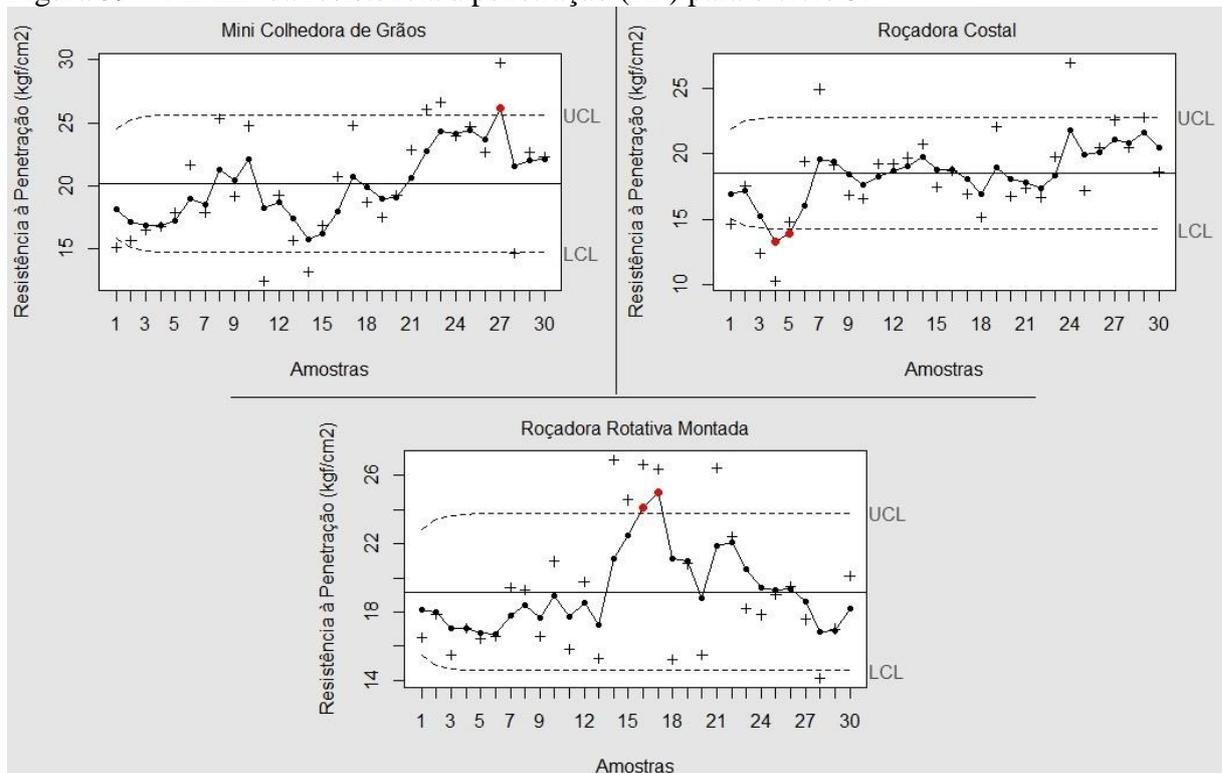
Fonte: O autor, 2022.

Em relação à resistência à penetração do solo (RP), é possível observar na Figura 59, com base nos gráficos de MMEP, que o processo para a mini colhedora de grãos durante o

ciclo 3 é considerado estável conforme as recomendações de Campos (2007) e Barros (2008), pois, apesar de a mesma apresentar um ponto fora dos limites superiores e inferiores, este representa menos de 5% do total. Já roçadora costal e a roçadora rotativa montada apresentaram mais de 5% dos seus pontos fora dos limites e dessa maneira para ela estas máquinas o processo é considerado instável.

A partir dos gráficos da MMEP e da estatística descritiva para a RP, em relação ao trabalho das três máquinas, constata-se que não foi possível observar diferença considerável na RP do solo após o pisoteio das máquinas testadas durante os três ciclos de corte. Isto pode ser observado ao comparar os valores de RP obtidos anteriormente à primeira vez que as máquinas realizaram os tratamentos com os valores de RP obtidos após o término do experimento, posteriormente aos três momentos em que as máquinas pisotearam as parcelas deste experimento. Isto se deve ao fato de que a diferença entre os valores médios de RP no ciclo 1 e no ciclo 3 foi muito pequena; também porque, segundo os resultados obtidos, a mini colhedora de grãos compactou mais o solo do que a roçadora rotativa montada ao trator, apesar da grande diferença de tamanho da máquina, em que a mini colhedora de grãos é consideravelmente mais leve que o trator e a roçadora rotativa montada.

Figura 59 – MMEP da resistência à penetração (RP) para o ciclo 3.



Fonte: O autor: 2022.

Pela razão de: i) os dados de RP não apresentarem diferenças significativas, tanto estatisticamente quanto fisicamente em campo; ii) a RP ser um parâmetro que influencia diretamente na construção dos Pi-termos por conta de ser o único parâmetro com valores de M, L e T diferentes de zero; e iii) os dados de RP terem sido coletados apenas em 2 dos 3 ciclos de corte, foi tomada a decisão de excluir este parâmetro da análise dimensional. Os dados de umidade de solo foram obtidos no mesmo momento das coletas dos dados de RP e são apresentados no Apêndice 2 deste trabalho. Ambos os dados de RP e umidade de solo foram coletados em 2 momentos, anteriormente ao início do experimento e posteriormente ao final do mesmo, sendo a última coleta realizada um ano após a primeira. A variação da umidade não apresentou diferença estatisticamente significativa, fato que configura maior segurança aos dados de RP coletados.

4.3 ANÁLISE FENOMENOLÓGICA DO CORTE POR ANÁLISE DIMENSIONAL

Este trabalho objetiva estudar o fenômeno do corte da biomassa do capim-mombaça, produzido nas estrelinhas de SAFs, realizado por diferentes máquinas, buscando entender a adequação destas máquinas para a agricultura familiar. Com isso em mente, buscou-se avaliar não apenas parâmetros mecânicos e agrônômicos, mas também parâmetros econômicos e laborais.

A análise fenomenológica, de acordo com França (1989), é realizada em três etapas: redução, descrição e interpretação. A redução é um modo peculiar de prestar atenção e focar diretamente no fenômeno, isto foi feito a partir dos experimentos em campo e das repetições, aliados à maior redução possível das variáveis que pudessem vir a interferir nos tratamentos e nas medições. A descrição é o ato de enumerar os aspectos que são imprescindíveis para poder ter a certeza de que o fenômeno estudado condiz com a realidade, isto foi feito a partir da escolha e medição dos parâmetros mecânicos, agrônômicos, econômicos e laborais que foram utilizados para descrever o fenômeno. A interpretação é o caminho mais seguro para que a verdade se revele e isto foi feito, neste trabalho, utilizando a Análise Dimensional como chave para interpretação científico-tecnológica do fenômeno estudado.

Para a interpretação dos resultados da análise dimensional, foram construídos gráficos conjuntos dos tratamentos, para cada ciclo de corte. Para a construção destes gráficos adimensionais foi necessário encontrar os Pi-termos mais correlacionados. Para descobrir a

correlação dos Pi-termos foram construídas as matrizes correlação para cada tratamento e ciclo de corte, apresentadas no Apêndice 1 deste trabalho. Para isso, como descrito nos métodos, foi utilizado o coeficiente de correlação de produto de Pearson, que é um coeficiente que trata das variâncias dos valores correlacionados. O critério de escolha dos binômios – ou seja, os Pi-termos mais correlacionados para compor os gráficos – foi que o coeficiente de correlação fosse maior que 0,85, em uma escala que varia de -1 a 1.

Os dados obtidos no experimento são tratados através dos Pi-termos, que por sua vez, são fatores adimensionais invariantes, ou seja, tem comportamentos constantes em função de características específicas do fenômeno. Isto que representa comportamentos inter-relacionados entre parâmetros independentes, o que possibilita a quantificação proporcional de suas variações em função de suas propriedades, de modo a gerar retas diferentes, com coeficientes angulares diferentes, de forma a facilitar consideravelmente a interpretação dos resultados (ALBIERO, 2006).

4.3.1 Forma especificada dos Pi-termos

Equação 31 – $\pi 1$

$$\pi 1 = AC \cdot VR \cdot TA \quad 31$$

A relação entre a altura de corte, a velocidade de rebrota e tempo de amontoa demonstra a qualidade do corte ao levar em consideração a altura do corte (AC), que mantém ou não o meristema apical intacto, e a decorrente resposta da planta observada pela velocidade de rebrota (VR). A qualidade do corte também é relacionada, neste Pi-termo, ao estado físico da biomassa resultante do tipo de corte, observada pelo tempo demandado para arrastar e amontoar a biomassa cortada (TA).

Equação 32 – $\pi 2$

$$\pi 2 = \frac{TM}{TA} \quad 32$$

A relação entre tempo de manejo e tempo de amontoa demonstra o tempo de trabalho exigido pelo tratamento, ou seja, tem como significado o tempo necessário para cortar o capim em função do tempo demandado para arrastar e amontoar a biomassa cortada de acordo com o tratamento.

Equação 33 – $\pi 3$

$$\pi 3 = CC . VR . TA \quad 33$$

A relação entre valor do consumo de combustível, velocidade de rebrota e tempo de amontoa fornece um meio de comparar o custo financeiro do tratamento com a qualidade do corte realizado por esta. O custo financeiro se refere ao consumo de combustível, enquanto a qualidade do corte leva em consideração a resposta da rebrotação do capim e o tempo requerido para amontoar a biomassa resultante do tratamento.

Equação 34 – $\pi 4$

$$\pi 4 = \frac{MO}{TA} \quad 34$$

A relação entre custo de mão de obra e tempo de amontoa diz respeito ao trabalho manual exigido por cada tratamento para realizar a tarefa de cortar, arrastar e amontoar o capim, ou seja, demonstra o custo necessário com pessoal em função do tempo de trabalho demandado de acordo com o estado físico com que resulta a biomassa cortada no solo.

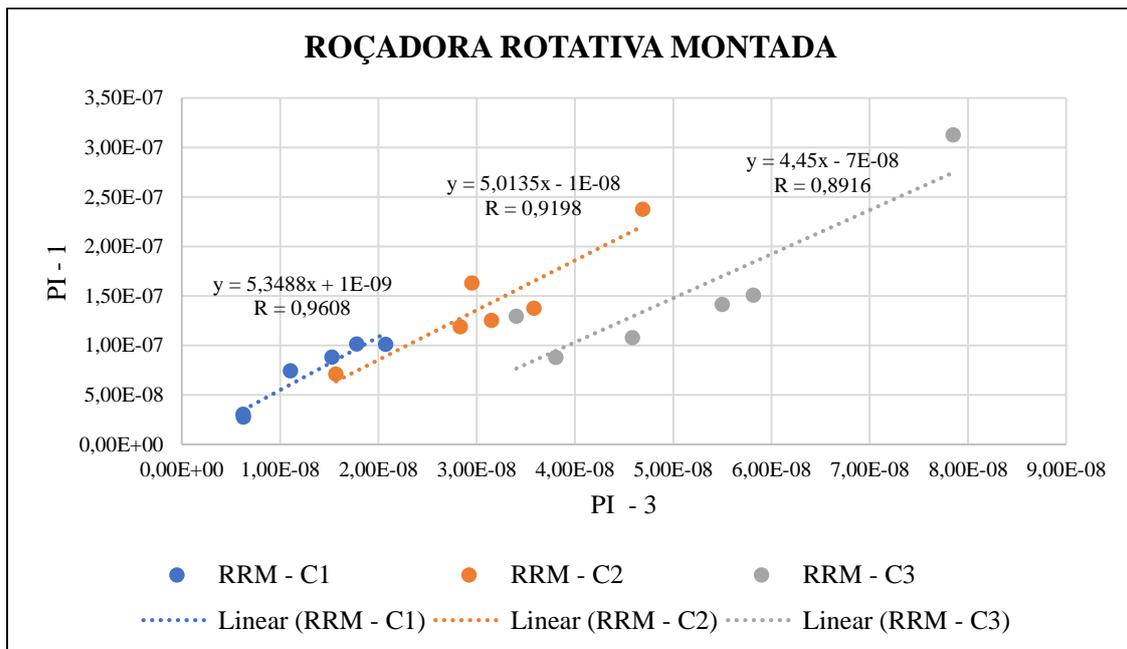
4.3.2 Caracterização dos cortes dos tratamentos

Primeiramente, neste item, são apresentados e caracterizados os resultados de cada tratamento ao longo dos 3 ciclos de corte, a partir dos gráficos adimensionais obtidos pelos binômios que apresentaram o coeficiente de correlação maior que 0,85. Depois, no item 4.3.3, são apresentados, através dos mesmos binômios, os gráficos adimensionais de forma a comparar os três tratamentos estudados neste trabalho.

4.3.2.1 Gráficos adimensionais $\pi 1 \times \pi 3$

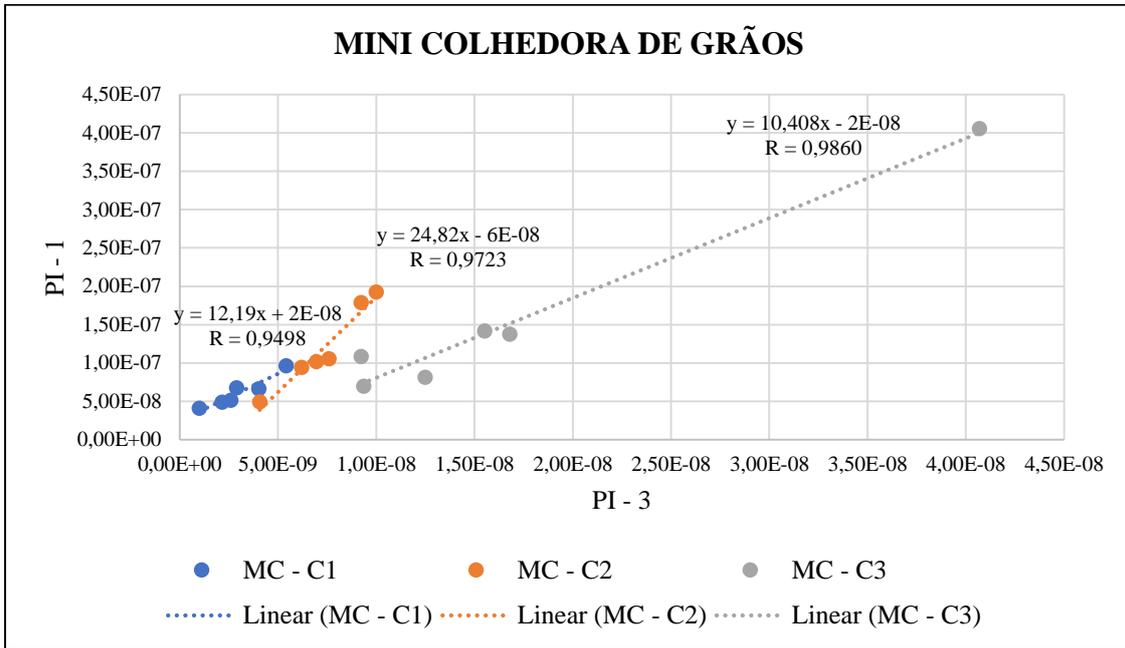
O gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ representa o custo-benefício do corte do tratamento, ou seja, a correlação da qualidade do corte em função do gasto financeiro especificamente do consumo de combustível (CC). Matematicamente, cada ponto relativo ao gráfico é uma razão entre a qualidade do corte, representado pelo $\pi 1$ e o custo do combustível consumido no manejo, representado pelo $\pi 3$. A seguir são apresentados os gráficos da RRM (Figura 60), da MC (Figura 61) e da RC (Figura 62).

Figura 60 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ da Roçadora Rotativa Montada (RRM) para os três ciclos (C1, C2 e C3).



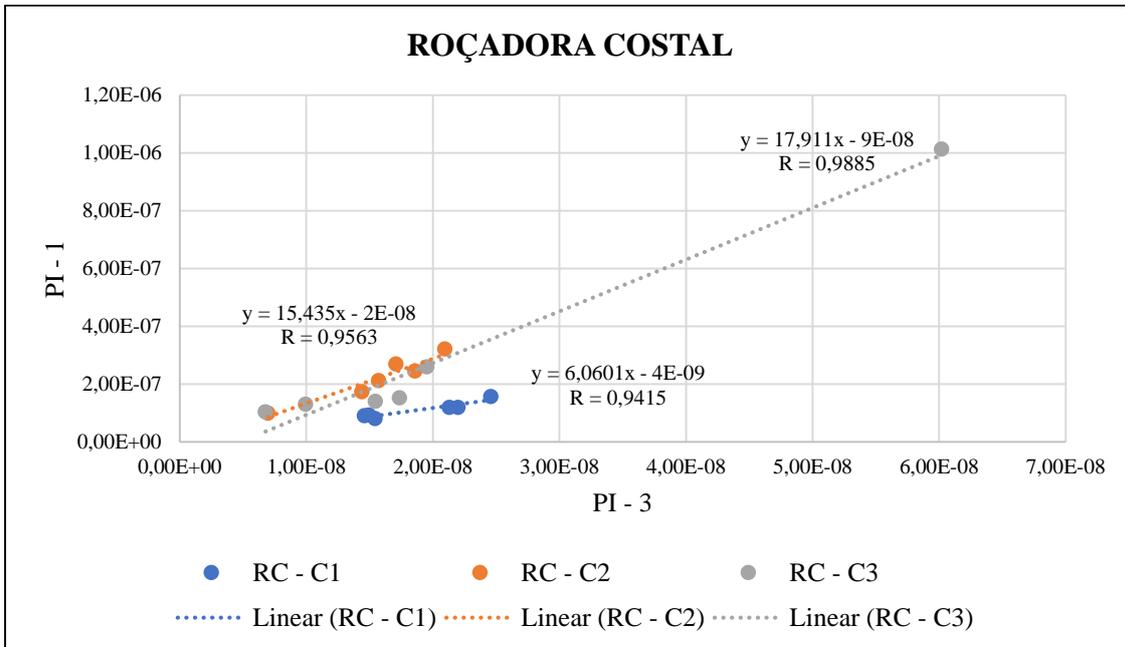
Fonte: O autor, 2022.

Figura 61 – Gráfico adimensional $\pi_1 \times \pi_3$ da Mini Colhedora de Grãos (MC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).



Fonte: O autor, 2022.

Figura 62 – Gráfico adimensional $\pi_1 \times \pi_3$ da Roçadora Costal (RC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).



Fonte: O autor, 2022.

Neste item é feita a caracterização dos tratamentos, separadamente, a partir dos resultados obtidos nos diferentes ciclos de corte. Este gráfico adimensional demonstra o custo-benefício dos tratamentos, em que o custo é especificamente o do consumo de combustível (CC). De forma geral, o comportamento ideal do capim após os cortes é que a rebrotação ocorra mais rápido e produza maior quantidade de biomassa nos períodos do ano mais quentes e úmidos. Barioni e Ferreira (2007) observaram comportamento sazonal para o acúmulo de forragem de capim, sendo 77% da produção registrada na época das chuvas e 23% na época seca, assim como Corsi et al. (2001) e Souza et al. (2005) registraram produção de matéria seca na ordem de 75% a 85% na época quente e chuvosa, entre outubro e março. Com isso em mente, o CC também tende a aumentar de acordo com o volume de biomassa a ser cortada nas estações do ano mais quentes e úmidas, que demandam mais tempo de manejo e trabalho das máquinas.

Os ciclos de corte ocorreram em diferentes estações do ano, sendo o ciclo 1 no outono e inverno, o ciclo 2 na primavera – estação mais quente e úmida que a anterior – e o ciclo 3 no verão – que é a estação mais quente e úmida. Com isso, o ideal seria observar um aumento progressivo nos valores da resposta da planta ao corte, partindo do ciclo 1, passando pelo ciclo 2 e até o ciclo 3. O custo do consumo de combustível também tende a aumentar progressivamente por conta do aumento dos valores dos combustíveis observados nos postos ao longo do tempo. É desejável, também, que o aumento observado do custo do consumo de combustível seja o menor e o mais padronizado possível, haja visto que um aumento desregular gera imprevisibilidade financeira para o tratamento em questão.

Os gráficos devem ser interpretados de forma a se comparar o comportamento das retas obtidas dos dados nos diferentes ciclos de corte. Em relação ao custo-benefício, o ideal seria observar o padrão de aumento progressivo de posição da reta, de forma que a posição desta do ciclo 1 estivesse mais à esquerda e abaixo que a reta do ciclo 2 e que a reta do ciclo 3 estivesse mais à direita e a cima das outras retas, como dito anteriormente, por conta das estações do ano em que foram realizados os tratamentos. Em relação à previsibilidade financeira dos custos com combustível, o ideal seria que as retas se mantivessem mais próximas umas das outras e que o comprimento destas variasse o mínimo possível.

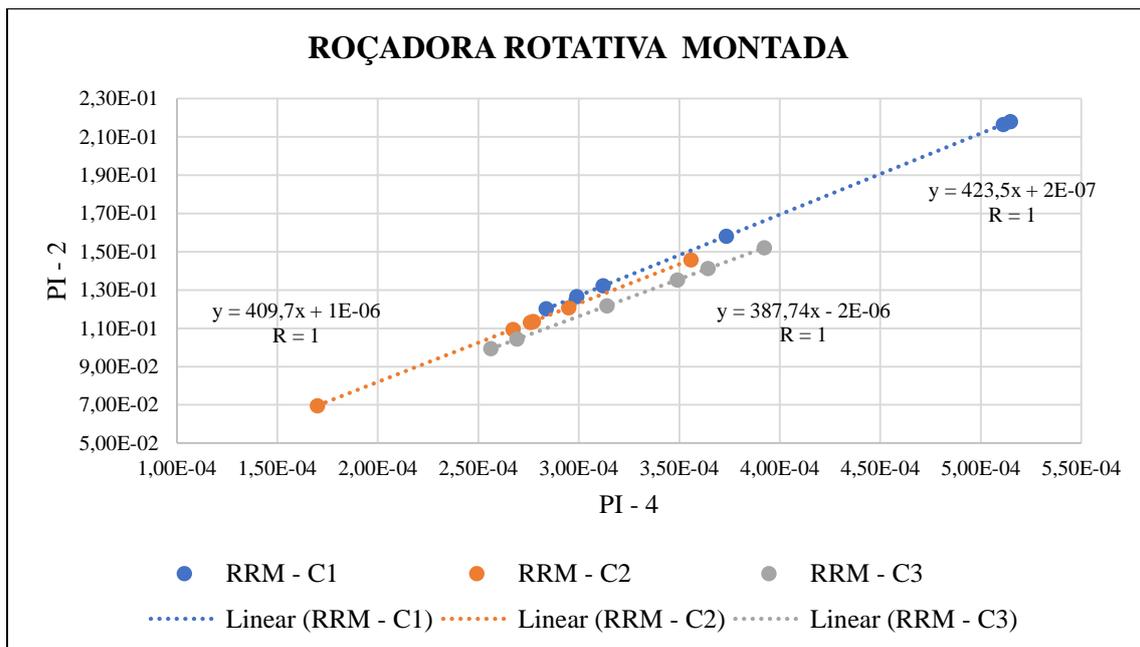
Neste enfoque percebe-se que o padrão de dispersão dos pontos e posição das retas para o custo-benefício foi observado para a RRM (Figura 60) e para a MC (Figura 61). O tratamento da MC apresentou maior previsibilidade financeira observada pela menor variação dos pontos do gráfico no eixo X (0 a 4⁻⁸) – que diz respeito ao custo do consumo de combustível (Pi – 3) – em comparação às outras máquinas (0 a 8⁻⁸ para RRM e 0 a 6⁻⁸ para a RC).

Já para a RC (Figura 62) percebe-se que a reta do ciclo 1 está fora desse padrão no que diz respeito ao custo do consumo de combustível ($P_i - 3$), mas segue o mesmo padrão para os valores de qualidade do corte e resposta da planta ao corte ($P_i - 1$). Isto ocorreu devido ao fato de que, no ciclo 1, o operador da RC foi uma pessoa de idade mais avançada e que trabalha mais lentamente que o operador da RC nos ciclos 2 e 3, que, por sua vez, foi uma pessoa mais jovem e que trabalha mais rapidamente. Desta forma, o tempo de manejo refletiu diretamente no custo do consumo de combustível.

4.3.2.2 Gráficos adimensionais $\pi 2 \times \pi 4$

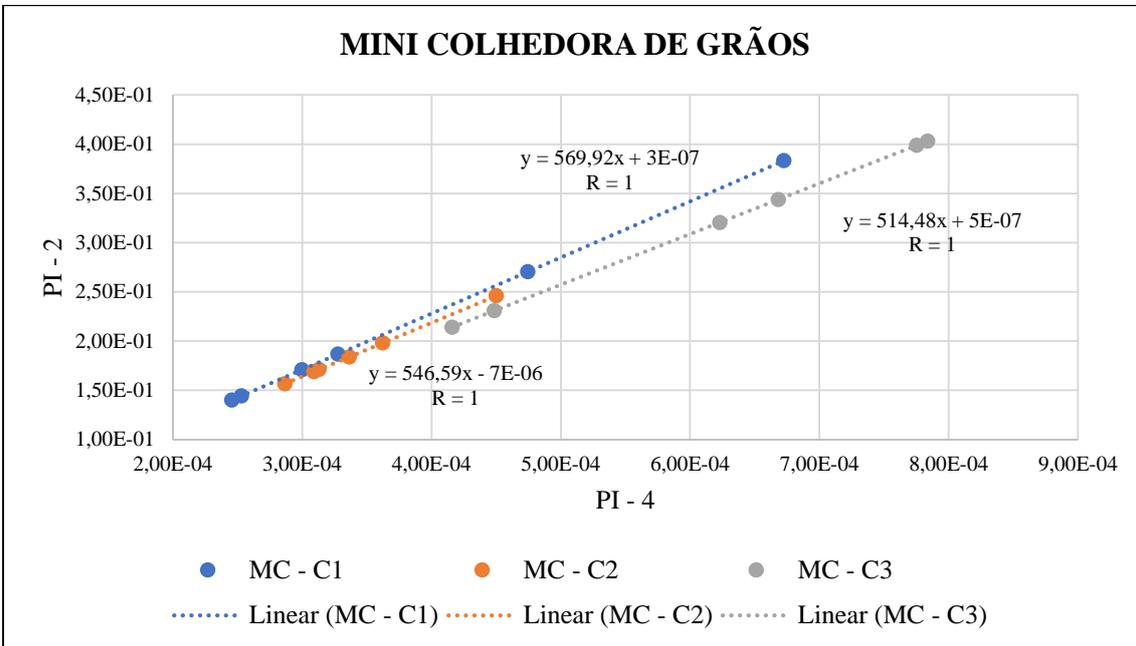
O gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ representa o custo do tempo de trabalho exigido, ou seja, a correlação do gasto total necessário com mão de obra e o tempo necessário para a execução de todas as tarefas requeridas por cada tratamento. Matematicamente, cada ponto relativo ao gráfico é uma razão entre o tempo de trabalho exigido pelos tratamentos, representado pelo $\pi 2$ e o custo de mão de obra, representado pelo $\pi 4$. A seguir são apresentados os gráficos da RRM (Figura 63), da MC (Figura 64) e da RC (Figura 65).

Figura 63 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ da Roçadora Rotativa Montada (RRM) para os três ciclos (C1, C2 e C3).



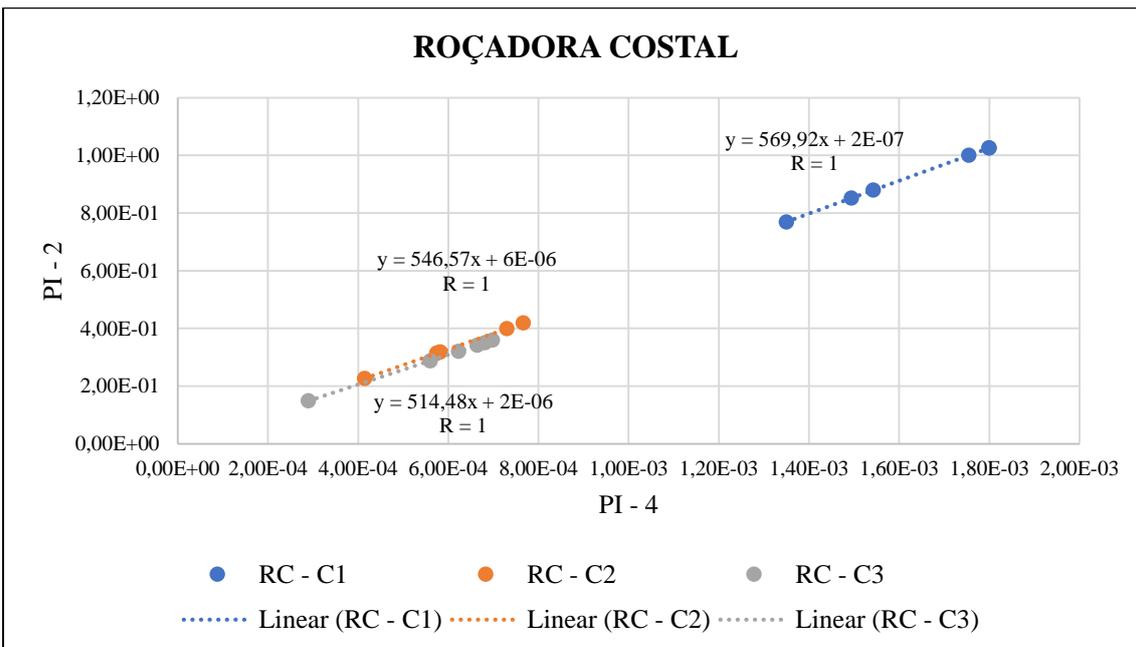
Fonte: O autor, 2022.

Figura 64 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ da Mini Colhedora de Grãos (MC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).



Fonte: O autor, 2022.

Figura 65 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ da Roçadora Costal (RC) para os três ciclos (C1, C2 e C3).



Fonte: O autor, 2022.

Neste item é feita a caracterização dos tratamentos, separadamente, a partir dos resultados obtidos nos diferentes ciclos de corte. Este gráfico adimensional demonstra o custo com pessoal durante o experimento, com base no tempo do trabalho manual. De forma geral, o ideal seria que, ao longo dos ciclos de corte, os custos de mão de obra se mantivessem os mesmos, o que resultaria em uma maior previsibilidade do gasto financeiro exigido para cortar o capim de uma determinada área com uma máquina específica. Moura (2018) salienta que características como a previsibilidade das operações agrícolas conferem maiores rendimentos financeiros ao produtor e menores custos de produção e Saurin e Ferreira (2008) acrescentam que a previsibilidade é responsável para que os processos atinjam a estabilidade. Com isso, o ideal seria observar uma similaridade nas retas dos ciclos de corte nos gráficos.

Os gráficos devem ser interpretados de forma a se comparar o comportamento das retas nos diferentes ciclos de corte. O ideal seria que as retas estivessem próximas umas das outras e com dimensões similares, o que indica gastos padronizados com mão de obra nos ciclos de corte e maior previsibilidade dos custos. Diferenças no comprimento e maiores distâncias entre as retas expressam variação e não padronização do custo com mão de obra, o que prefigura maior imprevisibilidade para o tratamento.

Neste sentido, o tratamento com maior previsibilidade dos custos de mão de obra foi o RRM (Figura 63), em que gráfico apresentou retas com comportamento semelhantes em todos os ciclos e que a maioria dos pontos estão próximos, com a exceção de três *outliers* entre os dezoito pontos do gráfico. Este comportamento das retas foi observado, possivelmente, por conta da RRM ser uma máquina autopropelida em que a velocidade de trabalho é definida previamente pelo tratorista e o trator tende a ter comportamento padrão. Com isso o custo com mão de obra tende a ser mais previsível para este tratamento em relação aos outros.

A MC (Figura 64) variou pouco seu tempo de manejo e custos de mão de obra, mas foi considerada a máquina que mais variou por conta da diferença do comprimento das retas e da maior dispersão dos pontos no gráfico. Este fenômeno foi observado possivelmente pelo fato de que o embuchamento ocorrido diversas vezes ao longo dos manejos fez com que o tempo de trabalho variasse mais do que as outras máquinas em cada ciclo de corte, o que resultou em maiores variações no custo de mão de obra e a menor previsibilidade caracterizada para este tratamento. O ciclo 2 deste tratamento apresentou reta com menor dispersão de pontos, que representa menor variação no custo de mão de obra, possivelmente devido ao fato de que, neste ciclo, foi feito o corte da biomassa produzida no período seco do ano (outono e inverno), quando, de acordo com Barioni e Ferreira (2007), Corsi et al. (2001) e Souza et al. (2005),

ocorre o menor acúmulo de biomassa. Como resultado, a MC não apresentou grande quantidade de embuchamento, fazendo com que seu trabalho apresentasse menor variação e menores valores de tempo de manejo. Como consequência foi observado menor variação e menores valores de custo de mão de obra para o ciclo 2.

No gráfico adimensional do tratamento da RC (Figura 65) observa-se uma diferença discrepante no posicionamento da reta do ciclo 1 para as retas dos ciclos 2 e 3, isto se deve ao fato de que, como citado anteriormente, no ciclo 1, o operador da RC foi uma pessoa de idade mais avançada e que trabalha mais lentamente que o operador desta máquina nos ciclos 2 e 3, que, por sua vez, foi uma pessoa mais jovem e que trabalha mais rapidamente. Desta forma, o tempo de manejo refletiu diretamente na variação do custo de mão de obra, de forma que os custos no ciclo 1 foram maiores que os custos dos outros ciclos. Contudo, ao levar em consideração este fato e ao analisar o comprimento similar das retas, percebe-se que a variação em cada ciclo de corte foi menor que a observada no tratamento da MC. Esta afirmação se consolida ainda mais ao observar a proximidade entre as retas e os pontos dos ciclos 2 e 3, de maneira a considerar boa previsibilidade dos custos de mão de obra para este tratamento.

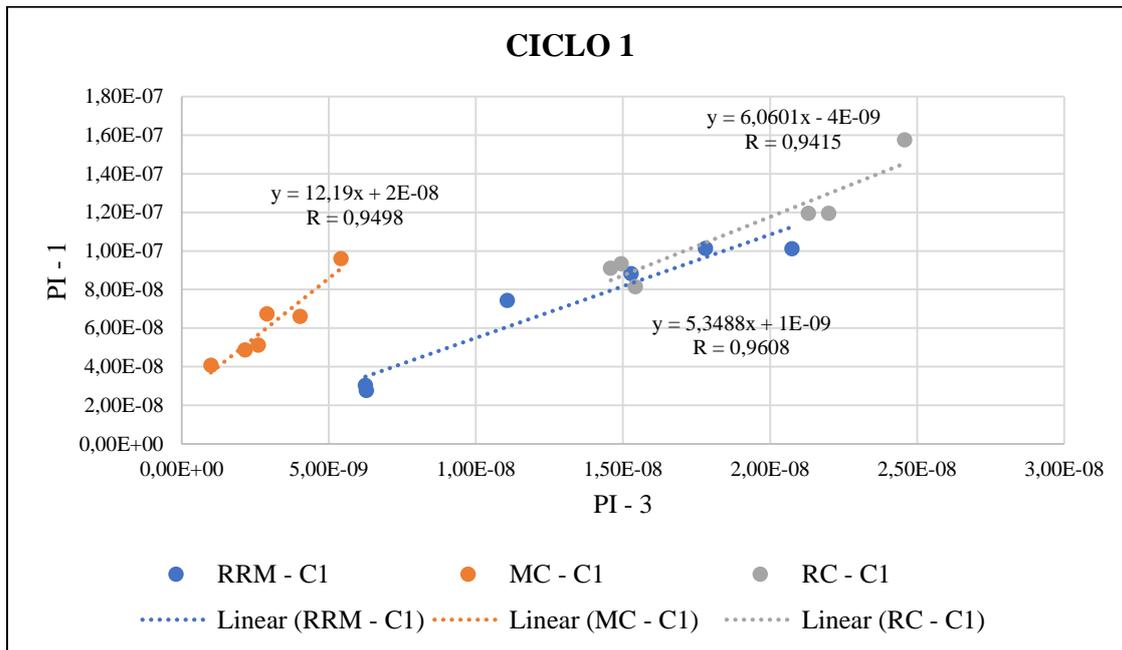
4.3.3 Comparação dos cortes dos tratamentos

Com base nos mesmos binômios apresentados anteriormente com coeficiente de correlação maior que 0,85, neste item são apresentados os gráficos adimensionais de cada ciclo de corte, contendo, em cada gráfico, os resultados dos tratamentos, para fins de comparação.

4.3.3.1 Gráficos adimensionais $\pi 1 \times \pi 3$

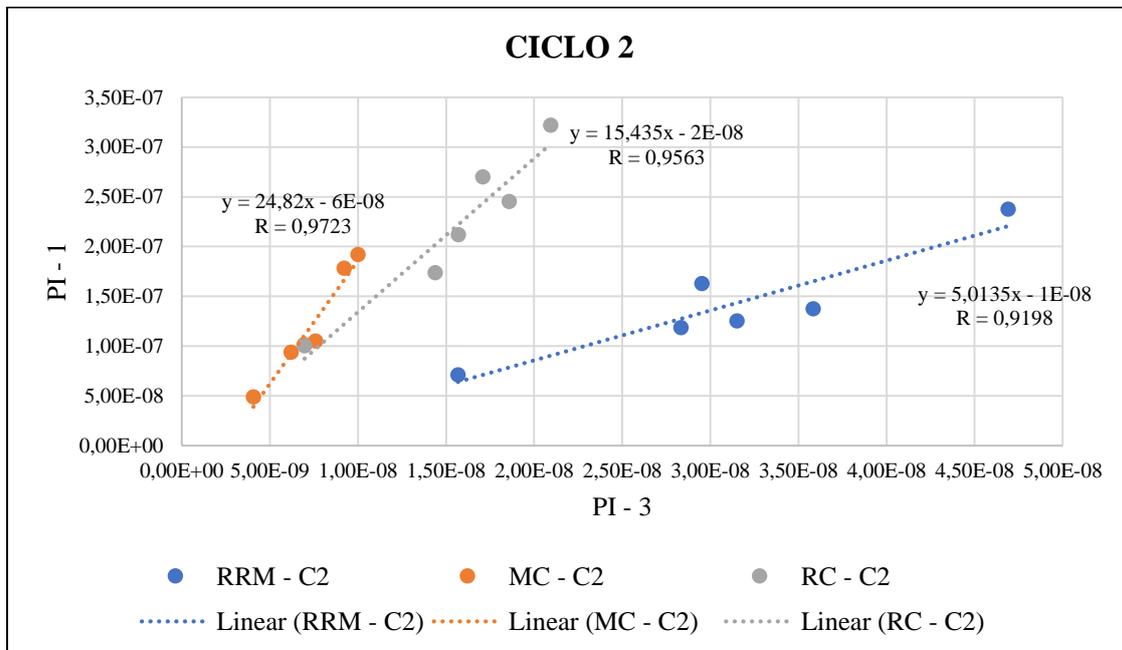
Assim como descrito no item 4.3.2.1, o gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ representa o custo-benefício do corte do tratamento, ou seja, a correlação da qualidade do corte em função do custo especificamente o do consumo de combustível (CC). Matematicamente, cada ponto relativo ao gráfico é uma razão entre a qualidade do corte, representado pelo $\pi 1$ e o custo do combustível consumido no manejo, representado pelo $\pi 3$. A seguir são apresentados os gráficos do ciclo 1 (Figura 66), do ciclo 2 (Figura 67) e do ciclo 3 (Figura 68).

Figura 66 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ do ciclo 1 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC).



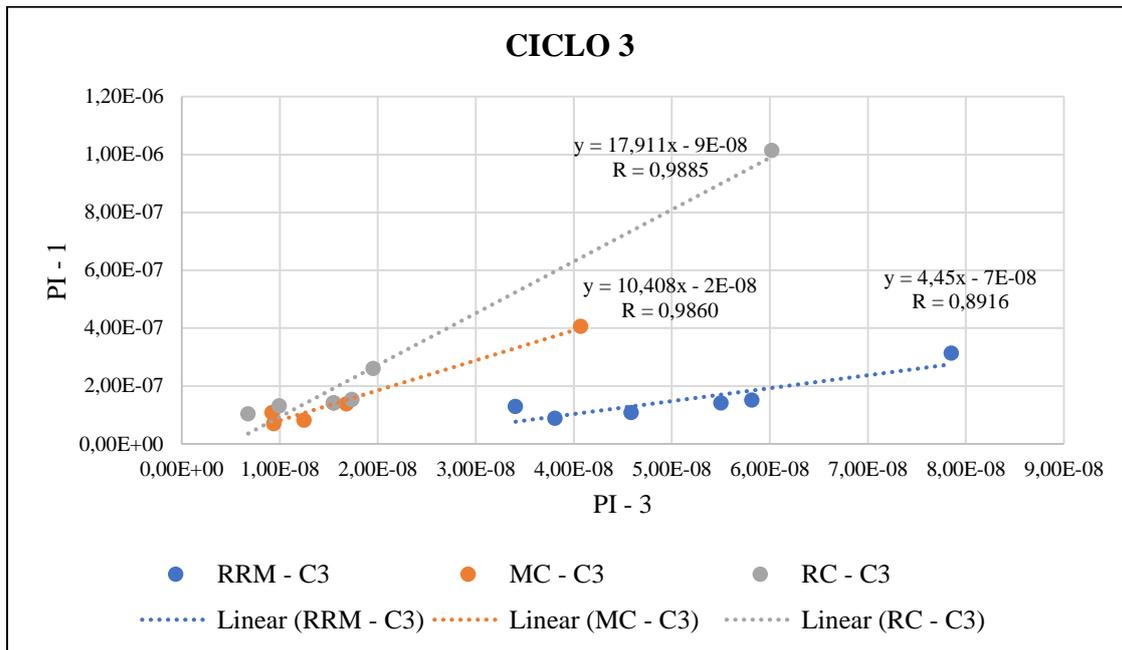
Fonte: O autor, 2022.

Figura 67 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ do ciclo 2 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC).



Fonte: O autor, 2022.

Figura 68 – Gráfico adimensional $\pi 1 \times \pi 3$ do ciclo 3 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC).



Fonte: O autor, 2022.

Neste item é feita a comparação dos tratamentos a partir dos resultados obtidos nos diferentes ciclos de corte. Este gráfico adimensional demonstra o custo-benefício do fenômeno estudado – corte do capim – de acordo com cada tratamento, em que o custo especificamente é o do consumo de combustível (CC). O melhor tipo de corte é aquele em que os valores de qualidade do corte e resposta da planta ao corte ($Pi - 1$, eixo “Y” no gráfico) sejam superiores ao passo que os valores do CC ($Pi - 3$, eixo “X”) sejam inferiores.

Os gráficos devem ser interpretados de forma a se comparar o comportamento das retas obtidas dos dados dos tratamentos, sendo que os melhores resultados são observados nos gráficos a partir da localização das retas, de maneira que as retas posicionadas mais à esquerda e a cima demonstram os resultados mais satisfatórios.

Além disso, a interpretação dos gráficos deve levar em consideração o comportamento das retas ao longo dos ciclos de corte, pois espera-se que o capim responda de forma diferente quando submetido a sucessivos cortes, de acordo com a qualidade de cada um. Neste sentido, a interpretação dos gráficos deve levar em consideração o distanciamento das retas de um tratamento para o outro ao longo do tempo, pois é este fenômeno que explica a melhor resposta da planta de acordo com a qualidade dos sucessivos tipos de corte de cada

tratamento. Em outras palavras, ao longo dos sucessivos cortes, a reta do tratamento que estiver localizada mais a cima e mais distante das outras, expressa a melhor qualidade de corte e resposta da planta – quanto à rebrotação – decorrente deste tratamento.

Neste enfoque percebe-se, pelos gráficos, que o tratamento da RC obteve os resultados mais satisfatórios, quando comparado aos outros tratamentos, em relação ao benefício em se obter melhores valores de resposta da planta ao corte, uma vez que as retas da RC se localizam a cima das outras nos três ciclos de corte, o que demonstra superioridade da qualidade do corte deste tratamento.

A reta RRM esteve localizada, nos ciclos 2 e 3, mais à direita em comparação com as outras, sendo este tratamento caracterizado como o que obteve maior custo com combustível. Isto ocorreu devido a fatores como: máquina maior e mais pesada testada no experimento, que consome maior volume de combustível por tempo de trabalho e o tipo do combustível utilizado pela RRM – diesel – era o mais caro na época em que o experimento foi realizado.

A MC obteve os resultados mais satisfatórios de custo de combustível nos ciclos 1 e 2, observados pelo posicionamento mais à esquerda de sua reta. Contudo, no ciclo 3, quando foi submetida ao corte do capim no verão, período em que, de acordo com Barioni e Ferreira (2007), Corsi et al. (2001) e Souza et al. (2005), a quantidade de biomassa a ser cortada era superior que aos outros ciclos, a máquina em questão apresentou excessivo embuchamento, sendo necessário o trabalho de desembuchar a máquina durante o manejo. Isto fez com que o tempo de manejo deste tratamento durante o último ciclo aumentasse consideravelmente e a reta deste tratamento se aproximasse mais da reta da RRM, o que resultou em maiores valores de custo de consumo de combustível quando comparados com a RC, mas ainda assim menores quando comparados a RRM.

Ademais, percebe-se que, no ciclo 1 (Figura 66), a reta da RC localiza-se próxima à reta da RRM e distante da reta da MC, no ciclo 2 (Figura 67) a reta da RC se distancia da reta da RRM e aproxima-se da reta da MC e no ciclo 3 (Figura 68) a reta da RC se caracteriza como a reta posicionada mais à esquerda e a cima das outras, sendo esta a localização mais satisfatória pois demonstra os menores valores de custo de consumo de combustível.

Isto prova que a RC é o tratamento que apresentou o melhor custo-benefício ao longo dos sucessivos cortes. Primeiramente porque a RC foi o tratamento responsável pela melhor resposta da planta – quanto à rebrotação – em todos os ciclos, fenômeno este propiciado pela melhor qualidade de corte. Além disso, a mudança de localização da reta da RC ao longo

dos ciclos de corte, culminando com a reta da RC estar localizada mais à esquerda no ciclo 3, prova que este foi o tratamento que resulta em menor custo de consumo de combustível ao longo do tempo.

O fato da reta da RC, no ciclo 1, estar localizada mais à direita que as outras, configura o maior custo com combustível para a RC no ciclo 1 e isto pode ser explicado, como citado no item 4.3.2.1, pelo fato de o operador da RC neste ciclo ter sido uma pessoa de idade mais avançada e que trabalha mais lentamente que o operador da RC nos ciclos 2 e 3. Nestes últimos dois ciclos, respectivamente, a reta da RC se aproxima da reta da MC e, no ciclo 3, localiza-se em mais à esquerda que as outras, posição esta que configura menor custo de combustível para a RC. Este último fato foi observado, possivelmente e como descrito anteriormente, pelo fato da grande quantidade de embuchamento da MC neste ciclo.

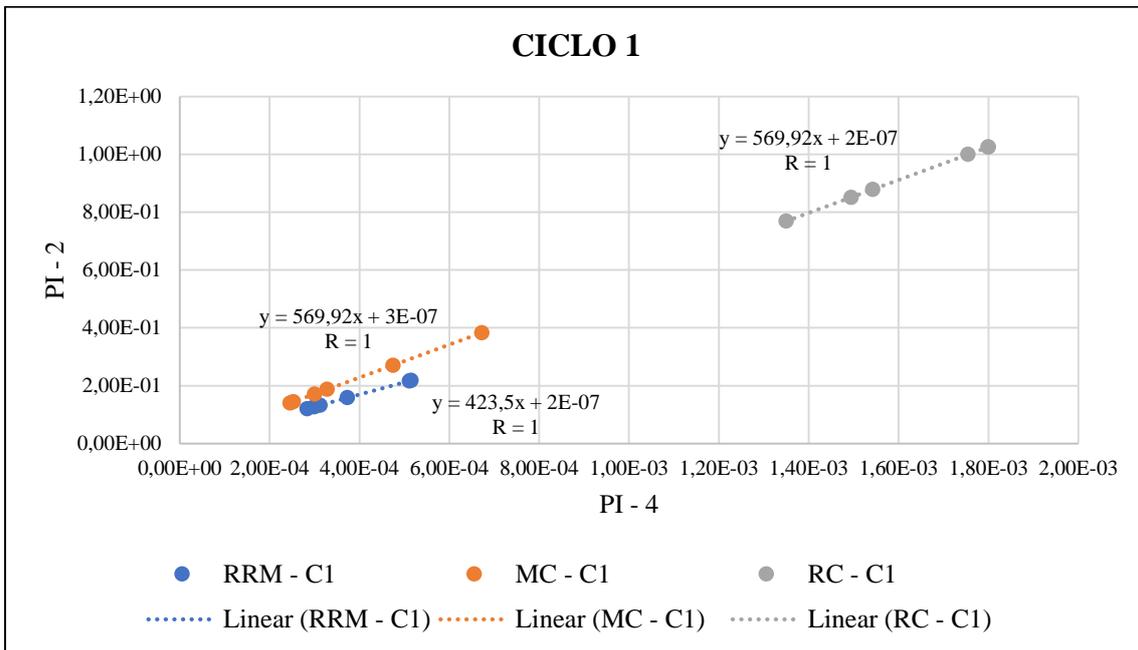
O tratamento da MC obteve os resultados mais satisfatórios em relação à previsibilidade financeira dos custos de combustível, uma vez que foi o tratamento que obteve menor variação no eixo “X” dos gráficos (Pi – 3), que diz respeito ao custo do consumo de combustível, nos três ciclos de corte.

Em relação à qualidade de corte e resposta da planta para os tratamentos da MC e da RRM, percebe-se que não houve diferença considerável entre estes tratamentos, uma vez que as retas destes variam similarmente no eixo “Y” dos gráficos (Pi – 1), nos três ciclos de corte.

4.3.3.2 Gráficos adimensionais $\pi 2 \times \pi 4$

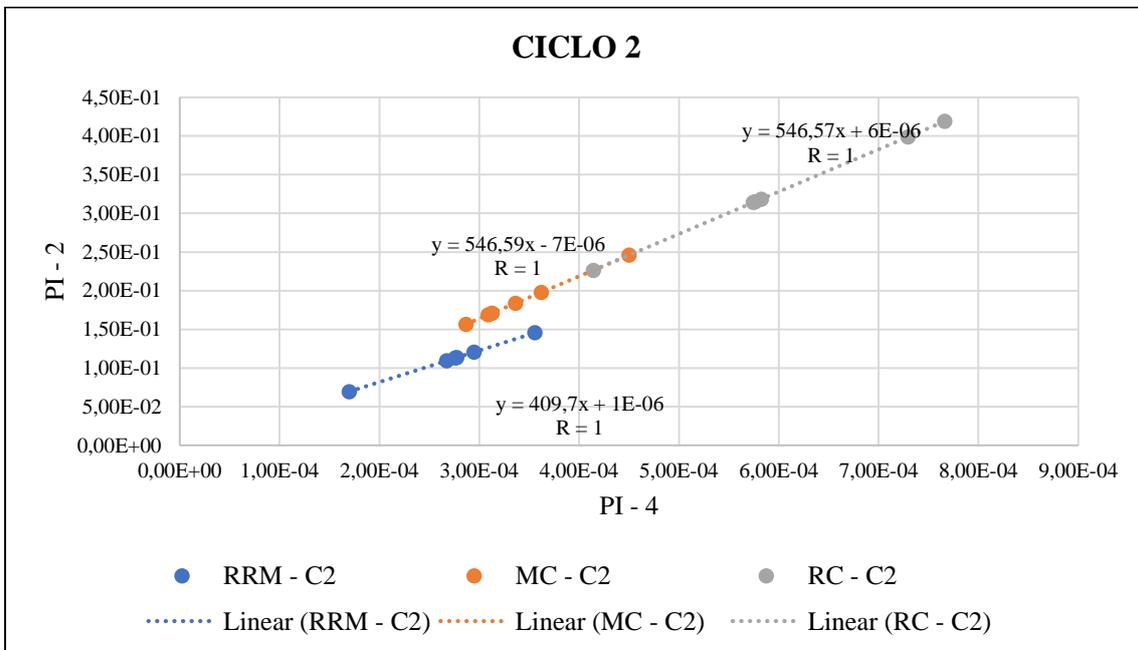
Assim como descrito no item 4.3.2.2, o gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ representa o custo do tempo de trabalho exigido, ou seja, a correlação do gasto total necessário com mão de obra e o tempo para a execução de todas as tarefas requeridas por cada tratamento. Matematicamente, cada ponto relativo ao gráfico é uma razão entre o tempo de trabalho exigido pelos tratamentos, representado pelo $\pi 2$ e o custo de mão de obra, representado pelo $\pi 4$. A seguir são apresentados os gráficos do ciclo 1 (Figura 69), do ciclo 2 (Figura 70) e do ciclo 3 (Figura 71).

Figura 69 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ do ciclo 1 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC).



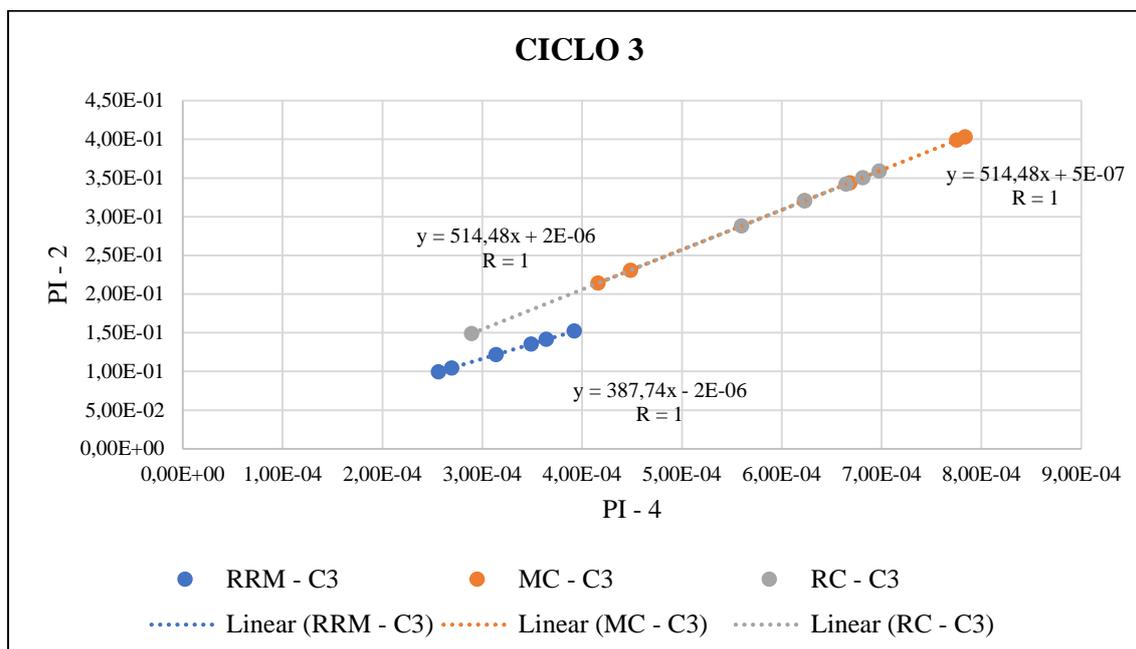
Fonte: O autor, 2022.

Figura 70 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ do ciclo 2 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC).



Fonte: O autor, 2022.

Figura 71 – Gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ do ciclo 3 para os três tratamentos: Roçadora Rotativa Montada (RRM), Mini Colhedora de Grãos (MC) e Roçadora Costal (RC).



Fonte: O autor, 2022.

Neste item é feita a comparação dos tratamentos a partir dos resultados obtidos nos diferentes ciclos de corte. Este gráfico adimensional demonstra o custo com pessoal durante o experimento, com base no tempo de trabalho manual. O melhor tratamento é aquele em que os valores do tempo de manejo (Pi - 2, eixo “Y” no gráfico) e de custo de mão de obra (Pi - 4, eixo “X”) sejam inferiores. Moura (2018) salienta que menores valores de tempo de manejo de máquinas agrícolas e de tempo de trabalho humano conferem maiores rendimentos financeiros e redução dos custos de produção. Isto representa o custo de mão de obra do fenômeno estudado, ou seja, o gasto financeiro exigido para as execuções das tarefas de cortar e amontoar o capim de uma área determinada, em função de cada tratamento.

Os gráficos devem ser interpretados de forma a se comparar o comportamento das retas obtidas dos dados dos tratamentos, sendo que os melhores resultados são observados nos gráficos a partir da localização das retas, de maneira que as retas posicionadas mais à esquerda e abaixo demonstram os resultados mais satisfatórios. Além disso, a interpretação dos gráficos deve levar em consideração o comportamento das retas ao longo dos ciclos de corte, pois espera-se que os tratamentos mantenham um padrão nos diferentes ciclos, no sentido de que o melhor tratamento será aquele que apresentar resultados mais satisfatórios nos três gráficos.

Neste sentido, a interpretação dos gráficos deve considerar o distanciamento das retas de um tratamento para o outro, assim como a comparação das dimensões das retas dos tratamentos. Maiores distâncias entre as retas significam diferenças mais expressivas entre os tratamentos, enquanto retas mais curtas representam menor variabilidade e consequente maior previsibilidade dos custos com mão de obra. Em outras palavras, ao longo dos ciclos de corte, a reta do tratamento que estiver mais à esquerda representa menor custo de mão de obra e a reta com menor comprimento representa menor variabilidade nos custos, ou seja, maior previsibilidade.

Neste enfoque, percebe-se ao observar os gráficos que os valores mais satisfatórios são demonstrados pelo tratamento da RRM. As retas deste tratamento, nos 3 ciclos de corte, localizam-se mais à esquerda. Isto significa que este tratamento tem menores custos com mão de obra por conta dos menores valores de tempo de manejo, mesmo apesar de que o salário do cargo considerado – tratorista – ser superior aos demais. Além disso, o tamanho menor das retas nos ciclos 1 e 3 significa que houve menor variação dos custos ao longo das repetições, o que caracteriza maior previsibilidade financeira para este tratamento. No ciclo 2, apenas, a reta da RRM apresentou tamanho ligeiramente maior que o da reta da MC.

Para o tratamento da MC, em comparação com a RC, o custo de mão de obra é menor nos dois primeiros ciclos. Já no terceiro ciclo de corte, ocorrido no verão, período em que, de acordo com Barioni e Ferreira (2007), Corsi et al. (2001) e Souza et al. (2005), a quantidade de biomassa ser cortada é maior que nos outros períodos do ano, a MC apresentou embuchamento mais frequente, fazendo com que o tempo de trabalho tenha sido maior que o dos outros tratamentos. Consequentemente, o custo com mão de obra da MC para o ciclo 3 foi o maior observado. As retas da MC, em todos os ciclos, apresentaram tamanhos menores que os das retas da RC, sendo a MC caracterizada como mais previsível financeiramente em relação à RC.

As retas da MC e da RC aparecem nos gráficos com a mesma inclinação e mesmos valores de “x” na equação das retas e os valores de “R” são os mesmos para todos os tratamentos. Este fenômeno foi observado por conta da maneira como foram calculados os valores do parâmetro custo de mão de obra (MO). Este parâmetro foi obtido a partir da multiplicação de dois fatores: o tempo de manejo (TM) e salário do cargo dos trabalhadores, em que foi considerado o mesmo salário para os operadores da MC e da RC (mensalista).

A RC apresenta retas com dimensão maiores em todos os ciclos de corte, o que levou a este tratamento ser caracterizado como o que obteve menor previsibilidade financeira, por conta da maior variação e dispersão de pontos observadas. Além disso, as retas deste tratamento são observadas mais à direita nos ciclos 1 e 2, tendo, como consequência, os maiores custos com mão de obra nestes ciclos.

4.4 Adequação das Máquinas para o Manejo da Biomassa do Capim-mombaça Cultivado em SAFs pela Agricultura Familiar

Para uma melhor compreensão dos pontos fortes e fracos de cada tratamento com vistas a entender qual(is) máquina(s) seria(m) mais adequada(s) dentre as diferentes realidades existentes no amplo espectro da agricultura familiar, foi criada a Tabela 11. Foi utilizado o método da Escala Likert (Likert, 1932), em que são elencados os resultados mais e menos satisfatórios dos tratamentos, observados pelos parâmetros avaliados e pelos gráficos adimensionais obtidos pela análise dimensional.

Tabela 11 – Comparação dos resultados dos tratamentos.

Ciclo de Tratamento Corte	Tratamento	Parâmetros						Gráficos Adimensionais				
		Capim			Tempo de trabalho		Custo		Pi - 1 x Pi - 3		Pi - 2 x Pi - 4	
		AC	VR	MS	TM	TA	CC	MO	Custo (CC) x Benefício	Previsibilidade financeira do CC	Custo de MO	Previsibilidade financeira da MO
1	MC	Amarelo	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	RC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	RRM	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
2	MC	Amarelo	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	RC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	RRM	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
3	MC	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	RC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	RRM	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Legenda:

- mais satisfatório
- mediano
- menos satisfatório

Fonte: O autor, 2022.

A tabela é dividida em duas partes, uma elenca os resultados dos parâmetros de acordo com cada tratamento, nos diferentes ciclos de corte, enquanto a outra parte elenca os resultados dos gráficos adimensionais ao longo de todo o experimento.

No que diz respeito aos parâmetros observados na planta, em relação à homogeneidade observada na altura de corte (AC), a RRM foi considerada o melhor tratamento; em relação à velocidade de rebrota (VR) do capim, o corte da RC foi o responsável pelos melhores resultados; em relação à produção de massa seca (MS), ambos os cortes da RC e da MC resultaram e produções semelhantes e superiores ao corte da RRM.

Para o parâmetro AC, foi considerado como resultado mais satisfatório os valores que obtiveram a maior homogeneidade observada pelos cortes dos tratamentos. Isto por conta de que a altura de corte, em si, não é relevante para comparar os tratamentos, mas sim o vigor de rebrota e a quantidade de biomassa produzida decorrente da qualidade do corte. Por qualidade entende-se a altura do corte e os danos causados às plantas. A RRM foi o tratamento que apresentou maior homogeneidade nos valores de AC possivelmente por conta de ser uma máquina autopropelida em que a AC é previamente regulada e a máquina tenta a manter sempre a mesma altura da roçadora em relação ao solo.

Apesar de o parâmetro da MS ser considerado o mais relevante para indicar o melhor tratamento dentre os testados, este parâmetro é o único não considerado pela análise dimensional, mesmo tendo este sido utilizado na construção da Matriz Sub-espço (item 3.6.4.3 deste trabalho) e na obtenção dos Pi-termos. Isto ocorreu pelo fato de que a MS foi o único parâmetro a possuir massa (M) nas dimensões básicas MLT, o que ocasionou em um determinante igual a zero, que por sua vez resultou em um sub-espço bidimensional. Para que o sub-espço fosse tridimensional, como requerido pela análise dimensional, este método excluiu o parâmetro MS. Isto significa que, segundo a análise dimensional do fenômeno estudado, com base nos parâmetros levantados e considerados nos cálculos, a MS não é levada em consideração.

Contudo, entende-se como a maior produção de MS – resultante do tipo de corte dos tratamentos – o fator mais relevante para indicar a melhor máquina que possua o melhor tipo de corte que, decorrente dos sucessivos cortes do capim, faça com que a planta responda com maior produção de biomassa. Neste sentido, observa-se que as máquinas MC e RC possuem tipos de cortes que não diferem significativamente entre si na produção de biomassa,

mas que o corte da RRM é responsável por diminuir o vigor de rebrota e peso de massa seca produzida.

No que diz respeito aos parâmetros referentes ao tempo de trabalho, em relação ao tempo de manejo (TM), a RRM foi considerada o melhor tratamento; em relação ao tempo de amontoa (TA), a MC foi o responsável pelos melhores resultados.

Para o parâmetro TA, a integridade das folhas de capim e a maneira com que estas foram depositadas no solo – em feixes – fez com que o TA fosse o menor para a MC em comparação aos outros tratamentos.

No que diz respeito aos parâmetros de custo financeiro, em relação ao custo do consumo de combustível (CC), a MC foi considerada o melhor tratamento; em relação ao custo com mão de obra (MO), o tratamento da MC também foi o responsável pelos melhores resultados.

Ao observar os gráficos adimensionais do binômio $\pi 1 \times \pi 3$, para a correlação custo-benefício, a RC foi considerada o melhor tratamento; em relação à previsibilidade financeira, o tratamento da MC foi responsável pelos melhores resultados. Este binômio leva em consideração o custo financeiro referente ao consumo de combustível (CC). Segundo os resultados observados nestes gráficos, o tratamento da RRM foi responsável pelos resultados menos satisfatórios na comparação com os outros tratamentos, ou seja, é o tratamento com o menor custo-benefício e com a menor previsibilidade financeira.

Já nos gráficos adimensionais do binômio $\pi 2 \times \pi 4$, para a correlação entre tempo de manejo e custo de mão de obra, a RRM foi considerada o melhor tratamento; em relação à previsibilidade financeira, o tratamento da RRM também foi responsável pelos melhores resultados. Este binômio leva em consideração o custo financeiro referente à mão de obra (MO). Segundo os resultados observados nestes gráficos, o tratamento da RC foi responsável pelos resultados menos satisfatórios na comparação com os outros tratamentos, ou seja, é o tratamento com o maior custo com MO e a menor previsibilidade financeira.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados da análise dimensional observados pelos gráficos adimensionais e resumidos na Tabela 11, a RRM apresentou os resultados menos satisfatórios para o binômio $\pi 1 \times \pi 3$ e a RC apresentou os resultados menos satisfatórios para o binômio $\pi 2 \times \pi 4$, enquanto a MC apresentou resultados medianos. Com isso conclui-se que, de forma geral, a MC é o tratamento que apresentou os resultados mais satisfatórios neste experimento, em comparação com as outras máquinas testadas.

Contudo, não é possível eleger uma máquina que seja melhor indicada para todas as realidades da agricultura familiar. A heterogeneidade observada nos resultados faz com que cada tratamento seja melhor indicado com base no que seja mais interessante para o/a agricultor/a, de acordo com sua realidade e suas necessidades no momento da escolha. A decisão da escolha entre uma das máquinas testadas neste experimento deve levar em consideração a avaliação do que a família agricultora deseja, do que ela precisa, do tamanho da área a ser trabalhada, do capital disponível para investir e para manter o maquinário em pleno funcionamento ao longo do tempo e da mão de obra disponível, levando em consideração a possibilidade de contratação de pessoal ou se o trabalho será realizado apenas pela família agricultora.

Após a definição dos fatores descritos anteriormente, a adequação das máquinas observada neste trabalho e apresentada a seguir se mostra de grande importância para as tomadas de decisões.

A roçadora costal (RC) é a máquina mais indicada, dentre os tratamentos estudados, para as situações em que haja o interesse em garantir a melhor resposta da planta ao longo dos sucessivos cortes, o que resultará em melhor vigor de rebrota e maior produção de massa seca. A RC também é mais indicada para situações em que seja importante obter a melhor correlação de custo-benefício, custo este em relação ao combustível e benefício em relação ao vigor de rebrota e produção de biomassa de capim.

A mini colhedora de grãos (MC) é a máquina mais indicada, dentre os tratamentos estudados, para as situações em que haja o interesse em realizar a amontoa do capim cortado o mais rápido possível ou que se tenha menor disponibilidade de mão de obra para este trabalho. Também é mais indicada em situações em que os custos operacionais totais (combustível e mão de obra) tenham que ser o menor possível e também quando espera-se obter maior

previsibilidade financeira quanto aos gastos com combustível. Em situações em que o interesse seja produzir a maior quantidade de biomassa possível, a MC também é indicada.

A MC é uma máquina desenvolvida para a colheita de grãos e que apresentou excessivo embuchamento quando submetida à colheita do capim, com isso a MC acaba por ser indicada, especialmente, para situações em que exista a possibilidade, condições financeiras e estruturais para que sejam realizadas adaptações e melhorias na máquina que possibilitem o bom manejo do capim. Durante o experimento observou-se que o corte desta máquina apresenta qualidade superior às demais, mas a funcionalidade da MC fez com que diversos parâmetros analisados não se mostrassem satisfatórios.

A roçadora rotativa montada (RRM) é a máquina mais indicada, dentre os tratamentos estudados, para as situações em que deseja-se realizar o trabalho o mais rápido possível. A RRM também é mais indicada em situações em que seja esperado obter a melhor correlação entre tempo de trabalho e custo de mão de obra, bem como em situações em que seja importante obter a maior previsibilidade financeira quanto aos gastos com mão de obra.

Além disso, a RRM é indicada para situações em que a família agricultora já tenha disponível um trator para trabalhar. Esta máquina também é indicada para manejos em escalas maiores, pois o TM é consideravelmente menor em comparação às outras máquinas. Isto implica que, no balanço financeiro total, os custos do trabalho sejam menores, mesmo apesar de que o CC seja maior para esta máquina. Quanto maior a área a ser trabalhada, maior será o TM e, conseqüentemente, maior será o custo com MO. Por conta disso, o gráfico adimensional $\pi 2 \times \pi 4$ prova que a correlação entre o TM e o custo de MO é mais satisfatória para o tratamento da RRM, de maneira que, em grandes áreas, os custos financeiros totais sejam menores para este tratamento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros são elencados os seguintes tópicos:

- Realizar cálculos e definir um número que quantifique os limites da adequação das máquinas de acordo com os parâmetros avaliados, por exemplo, o tamanho mínimo e máximo da área a ser trabalhada por cada máquina para que seja viável, economicamente, a escolha de uma máquina;
- Realizar adaptações na mini colhedora de grãos para reduzir ou eliminar o embuchamento durante o corte do capim, para melhorar os aspectos operacionais;
- Realizar estudos de engenharia de produção para produção em série da mini colhedora de grãos para que esta possa vir a ser produzida no Brasil e com custos competitivos;
- Estudar a possibilidade de adaptar o tipo de corte da mini colhedora de grãos em tratores, de forma que o corte do capim seja realizado da frente do trator, antes do pisoteio da máquina, que resulta em folhas não contadas quando o corte é feito após o pisoteio da máquina;
- Avaliar o trabalho e a adequação das máquinas aqui testadas em outras culturas produzidas em entrelinhas de SAFs, como adubação verde;
- Realizar a divulgação dos resultados aqui obtidos e dos trabalhos futuros dentro desta temática para instituições públicas, visando políticas públicas voltadas para a modernização da agricultura familiar;
- Realizar testes com a máquina “Trincha Ecológica” da marca Vicon para manejo da biomassa de capim produzida nas entrelinhas de SAF e comparar com os resultados obtidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Sistema de Levantamento de Preços (SLP)**. Ministério de Minas e Energia (MME), Governo Federal do Brasil. 2022. Disponível em: <<https://preco.anp.gov.br/>> Acesso em: 03/02/2022.

ALBIERO, D. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com “Paraplow” rotativo usando análise dimensional**. 320p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na Área de Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2006.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. da. S.; MELO, R. P.; MELLO, C. A.; MONTEIRO, L. de. A. Metodologias de projeto para máquinas agroecológicas: relatos de experiências. In: VII Congresso Brasileiro de Agroecologia, 5., 2011, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Cadernos de agroecologia, 2011.

ALCÂNTARA, F.A. Manejo Agroecológico do Solo. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. 2017. 28 p. - (**Documentos / Embrapa Arroz e Feijão**, ISSN 1678-9644; 314). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1076545/1/CNPAF2017doc314.pdf>>. Acesso em: 14/10/2019.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards 1997**. 1o Ed. St. Joseph, MI, EUA: ASAE, 1997.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards 2009**. Agricultural Machinery Management. D497.6. In: **ASABE Standards: Agricultural Machinery Management Data**. St. Joseph, MI, EUA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, junho de 2009. p.2.

ANDEROLA, F.; FERNANDES, S.A.P. **A Microbiota do Solo na Agricultura Orgânica e no Manejo das Culturas**. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (editoras) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007.312p.: il. ISBN: 978-85-85564-14-8. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/microbiota.pdf>. Acesso em: 14/10/2019.

ANDRADE, G. **Interacciones microbianas en la rizosfera**. In: SIQUIERA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIM, V.; FURTINI-NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (editores) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Departamento de ciência do Solo, 1999. p. 551-575.

ARAÚJO, L.C.; SANTOS, P.M.; RODRIGUEZ, D.; PEZZOPANE, J.R.M. Key factors that influence for seasonal production of Guinea grass. **Scientia Agricola** v.75, n.3, p.191-196, 2018.

BARBOSA, R.A.; JÚNIOR, D.N.; EUCLIDES, V.P.B.; REGAZZI, A.J.; FONSECA, D.M. Características Morfogênicas e Acúmulo de Forragem do Capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em Dois Resíduos Forrageiros Pós-Pastejo. **Revista Brasileira de**

Zootecnia, v.31, n.2, p.583-593, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000300007>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbz/a/kVkBtT6pPGpR4vDWr5K9kxG/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 17/06/2022.

BARIONI, L.G.; FERREIRA, A.C. Monitoramento da Massa de Forragem e Altura para Ajustes de Taxa de Lotação em Fazenda Agropecuária na Região do Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 191. 24p. ISSN 1676-918X. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Cerrados. Planaltina, DF, outubro de 2007.

BARROS, F. F. **A melhoria contínua no processo de plantio da cana-de-açúcar**. 2008. 79p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BERMUDES, W.L.; SANTANA, B.T.; BRAGA, J.H.O.; SOUZA, P.H. Tipos de Escalas Utilizadas em Pesquisas e Suas Aplicações. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.18, n.2, p. 7-20, maio/ago. 2016. DOI: 10.19180/1809-2667.v18n216-01. Disponível em: <https://www.academia.edu/42036647/Tipos_de_escalas_utilizadas_em_pesquisas_e_suas_aplica%C3%A7%C3%B5es?auto=citations&from=cover_page>. Acesso em: 26/09/2022.

BIEGER, T.; GONÇALVES, T.A.M.; MARIN, J.O.B.; Comunicação e Sucessão Rural: Um Olhar Sobre a Agricultura Familiar. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 4, 14 fev. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/85369>>. Acesso em: 17/06/2022.

BRANDENBURG, A. Movimento agroecológico: trajetória, contradições e perspectivas. **Desenvolvimento e Meio ambiente**. Editora UFPR. n.6: p.11-28. Jul/dez. 2002.

BRASIL, 2009. Instrução Normativa MMA n.4, de 8 de setembro de 2009. **Diário oficial da União**, 09/09/2009. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/legislacao/normativas/in_mma_04_2009.pdf>. Acesso em: 06/03/2021.

BUAINAIN, A. M.; ROMEIRO, A. R.; GUANZIROL, C. **Agricultura Familiar e o Novo Mundo Rural**. Sociologias, Porto Alegre, ano 5, nº 10, jul/dez 2003, p. 312-347. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/soc/a/yWYK66v4CJXDqsmKtVH5bkD/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 16/06/2022.

BURIN, P.C. Principais forrageiras e taxa de semeadura em integração lavoura pecuária **REDVET. Revista Electrónica de Veterinária**, vol. 18, núm. 9, setembro, 2017, pp. 1-24. E-ISSN: 1695-7504. Veterinaria Organización. Málaga, Espanha. Apud KICHEL, A. N.; KICHEL, A. G. Requisitos básicos para boa formação e persistência de pastagens. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2001. 8 p. (**Gado de Corte divulga**, 52). Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/636/63653009018.pdf>>. Acesso em 30/09/2021.

CAMARERO, N.P.; OLIVEIRA, A.C.S.; RAMOS-FILHO, L.O.; QUEIROGA, J.L.; NEVES, M.C. Construção e socialização do conhecimento em agrofloresta: a experiência pedagógica de dia de campo na Embrapa Meio Ambiente. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, dez. 2018. ISSN 2236-7934. Edição dos Anais do 3º Sem. de Agroecologia da América do Sul; 5º Sem.

Estadual de Educação do Campo; 7º Sem. de Agroecologia de Mato Grosso do Sul; 6º Encontro de Produtores Agroecológicos de Mato Grosso do Sul; 3º Sem. de Sistemas Agroflorestais em Bases Agroecológicas de Mato Grosso do Sul. Agroecol, 2018. 8 p. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1106644>>. Acesso em: 25/05/2021.

CAMPOS, C. M. **Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção de cana-de-açúcar**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CANDELON, P. **Las maquinas agrícolas**. Madrid: Mundi-Prensa, p. 392-411. 1971.

CÂNDIDO, M.J.D. **Métodos para medição da estrutura do pasto**. Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia. Viçosa, Minas Gerais. Março de 2002. Disponível em: <<http://atividadarural.com.br/artigos/530ceedd6b154.PDF>>. Acesso em: 15/05/2021.

CAPORAL, F.R.; PETERSEN, P. Agroecologia e políticas públicas na América Latina: o caso do Brasil. **Agroecologia**. 6: 63-74. 2012.

CAPPELLI, N.L.; UMEZU, C.K.; GUAITOLI, G. **Desenvolvimento de um penetrômetro eletrônico geo-referenciado de baixo custo**. Campinas, 1999. 67 p. Relatório técnico (PIPE – FAPESP) – Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. 1999.

CELICH, K.L.S.; GALON, C. Dor crônica em idosos e sua influência nas atividades da vida diária e convivência social. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**. 12 (3). Set-Dez 2009. <https://doi.org/10.1590/1809-9823.2009.00004>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbagg/a/nLBrpbDjbCv68BVWMLCDjg/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em: 17/06/2022.

CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; PAGOTTO, D.S. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: MATTOS, W.R.S.; FARIA, P.V.; SILVA, S.C.; NUSSIO, L.G.; MOURA, J.C. (Ed.) **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 838-858.

COSER, T.R.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; JANNUZZI, H.; MARCHÃO, R.L. Recuperação do carbono obtida por três métodos em frações da matéria orgânica de latossolo, sob consórcio de milho-forrageiras, no cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 91-97, 2012.

COSTA, J.R. Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 102p. **Embrapa Agrobiologia – Documentos**, 163 (INFOTECA-E). ISSN 1517-8498. 2003.

DIAS-FILHO, M.B. **Colonião como planta pioneira**. Embrapa Amazônia Oriental. In: Simpósio Sobre Manejo da Pastagem, 12. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995.

ERENO, L.H.Z. **Estudo comparativo entre a utilização real e a determinada pelo planejamento da mecanização agrícola em empresas rurais de soja e arroz**. 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**. 2006, vol.36, n.3. pp. 395-400. ISSN 1809-4392. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672006000300018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14/10/2020.

FEIJÓ, A.M.; VICENTE, E.F.R.; PETRI, S.M. O Uso das Escalas Likert nas Pesquisas de Contabilidade. **RGO – Revista Gestão Organizacional**. ISSN 1983-6635. Chapecó, v. 13, n. 1, p. 27-41, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ernesto-Vicente-2/publication/340459953_THE_USE_OF_LIKERT_SCALES_IN_ACCOUNTING_RESEARCH/links/5e8b248b4585150839c45654/THE-USE-OF-LIKERT-SCALES-IN-ACCOUNTING-RESEARCH.pdf>. Acesso em: 26/09/2022.

FRANÇA, C. **Psicologia Fenomenológica: uma das Maneiras de Se Fazer**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1989.

FREITAS, S.S. **Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas**. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (editoras) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 312p. il. ISBN: 978-85-85564-14-8. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/microbiota.pdf>. Acesso em: 14/10/2019.

FRIGO, J.P.; VILAS BOAS, M.A.; FRIGO, J.P.; FRIGO, E.P. Comparação Entre Gráficos de Controle de Shewhart, Cusum e MMEP no Processo de Irrigação por Aspersão Convencional. **IRRIGA**, [S. l.], v. 1, n. 01, p. 56, 2018. DOI: 10.15809/irriga.2016v1n01p56-70. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1691>. Acesso em: 30 jun. 2022.

GOMIDE, Carlos Augusto de Miranda; GOMIDE, José Alberto; ALEXANDRINO, Emerson. Características estruturais e produção de forragem em pastos de capim-mombaça submetidos a períodos de descanso. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1487-1494, Oct. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2007001000017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16/05/2021. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000017>.

GOOGLE. Google Earth para Web. Sítio Agroecológico da Embrapa Meio Ambiente. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: 28/05/2021.

GÖTSCH, E. **Homem e Natureza – Cultura na Agricultura**. Centro de Desenvolvimento Agroecológico Sabiá, Recife, PE. 1997. 2ª edição. 12p. Disponível em: <<http://www.agrisustentavel.com/doc/ebooks/natureza.pdf>>. Acesso em: 07/10/2019.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; SABBATO, A. D. **Dez Anos de Evolução da Agricultura Familiar no Brasil: (1996 e 2006)**. RESR, Piracicaba-SP, Vol. 50, Nº 2, p. 351-370, Abr/Jun 2012 – Impressa em Maio de 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/resr/a/gYkb6s9xcpqvLLHKRw3PCnn/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 16/06/2022.

HASSAN, M.A.; AFIFY, M.K.; EL-SHAL, H.M.; EL-ATTY, A.A.A.A. Study on the Mechanization of Bean (*Phaseolus vulgaris*) Crop Under Egyptian Conditions. **Misr J. Ag.**

Eng., 32 (2): 503 – 520. Farm Machinery and Power. Abril, 2015. Disponível em: <https://mjae.journals.ekb.eg/article_98577_d390e44d0611c55e66588ecf2ada9bec.pdf>. Acesso em: 29/03/2022.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. 1o Ed. San Diego: Academic Press, 1980.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e estatística na engenharia**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

HOFFMAN, L.V. **Biologia Molecular da Fixação Biológica do Nitrogênio**. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (editoras) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312p. il. ISBN: 978-85-85564-14-8. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/microbiota.pdf>. Acesso em: 14/10/2019.

Instituto de Economia Agrícola (IEA). **Salários Rurais**. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Governo do Estado de São Paulo. 2022. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precorsalarios.aspx?cod_tipo=6&cod_sis=13>. Acesso em: 23/05/2022.

JANK, L.; SIMEÃO, R.M.; VALLE, C.B.; RESENDE, M.D.V.; CHIARI, L.; CANÇADO, L.J.; SIMIONI, C. **Melhoramento genético de *Panicum maximum***. In: RESENDE R.M.S.; VALLE, C.B.; JANK, L. (editores) **Melhoramento de forrageiras tropicais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008. p.55-87. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/200078959_Melhoramento_Genetico_de_Panicum_maximum>. Acesso em: 06/03/2021.

JUMIL. **Manual de Instruções JM RUTD / JMRATD**. [Batatais, São Paulo]. [s.n.]. [201-]. Disponível em: <<https://manualzz.com/doc/6024815/jm-rutd>>. Acesso em: 12/06/2021.

KAGEYAMA, P.Y. **Biodiversidade e biopirataria: contradição entre a biodiversidade e a pobreza no mundo**. Cadernos Adenauer X. n.4. 23-33. 2009. Disponível em: <https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=60eaa62-e362-81ed-b138-225e0abc16f8&groupId=265553>. Acesso em: 26/10/2020.

KICHEL, A. N.; KICHEL, A. G. Requisitos básicos para boa formação e persistência de pastagens. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2001. 8 p. (**Gado de Corte divulga**, 52).

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. 1o Ed. São Paulo: Ceres, 1979.

LANGHAAR, H.L. **Dimensional analysis and theory of models**. 1ª Ed. New York: John Wiley and Sons, 1951. In: ALBIERO, D. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com “Paraplow” rotativo usando análise dimensional**. 320p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na Área de Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2006.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of psychology**, 1932.

MACIEL, A.J.S.; GAMERO, C.A. **Enxada rotativa: análise dimensional, requerimento energético e efeitos no solo utilizando diferentes geometrias de lâminas**. 143 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1993. In: ALBIERO, D. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com “Paraplow” rotativo usando análise dimensional**. 320p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na Área de Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2006.

MALAVIYA, D.R.; BAIG, M.J.; KUMAR, B.; KAUSHAL, P. Effects of shade on guinea grass genotypes *Megathyrsus maximus* (Poales: Poaceae). **Revista Biologia Tropical**. Vol. 68. 2020. Acesso em: 06/03/2021. pp. 563-572. Disponível em: <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442020000200563&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0034-7744.

MELO, R. P.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H.; SILVA, J. G.; MONTEIRO, L. Qualidade de distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo do semiárido cearense. In: XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1., 2012, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 2012. CD-ROM.

MELO, R.P. **Qualidade na Distribuição Longitudinal de Sementes por Semeadoras de Precisão e Fluxo Contínuo nas Condições Edafoclimáticas do Ceará**. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na Área de Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. 2013.

MELO, R. P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L. de. A.; SOUZA, F. H.; SILVA, J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 94-101, jan/mar. 2013.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ed, Agronômica Ceres. 301p. 1974. In: TATSCH, M.P. **Modelo de referência para o processo de gestão da produção agrícola: ênfase na mecanização**. 161p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Mecanização Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2015.

MILAN, M. **Desempenho operacional e econômico de sistemas mecanizados agrícolas**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. Engenharia de sistemas agrícolas. Piracicaba, São Paulo. 2004.

MONTE, A.L.Z. **Sintropia em Agroecossistemas: Subsídios para uma Análise Bioeconômica**. 121p. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 2013. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15763/1/2013_AndreLuisZanelaMonte.pdf>. Acesso em: 07/10/2019

MONTEIRO, L. de, A.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H. de. MELO, R. P.; CORDEIRO, I. M. Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 70-75, jan./mar. 2013.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Applied statistics and probability for engineers**. 3rd ed. 706 p. ISBN 0-471-20454-4. Arizona State University. 2002.

MORAES DA MATTA, P.; SOUTO, S.M.; DIAS, P.F.; COLOMBARI, A.A.; AZEVEDO, B.C.; VIEIRA, M.S. Efeito de sombreamento no estabelecimento de *Panicum maximum* cv. Mombaça. 2009. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, Brasil. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**. ISSN 1022-1301. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Vol. 17, Núm. 3 y 4: 97-102. Disponível em: <<http://www.bioline.org.br/pdf?la09014>>. Acesso em: 06/03/2021.

MOURA, I.H. **Engenharia de Manutenção Aplicada à Máquina Colhedora de Café: uma opção para reduzir o custo de mecanização**. Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário do Sul de Minas. Engenharia Mecânica. Varginha, dezembro de 2018. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/589>>. Acesso em: 14/09/2022.

MURPHY, G. **Similitude in engineering**. Ronald Press Company. New York, 1950.

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B., KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403, 858–863. 2000.

NEVES, M.C.; MORICONI, W.; CANUTO, J.C.; CORRALES, F.M.; MALAGODI-BRAGA, K.S.; CAMARGO, R.C.R.; QUEIROGA, J.L.; RAMOS-FILHO, L.O.; URCHEI, M.A.; RAMOS, M.S.T.A.S. O sítio agroecológico da Embrapa Meio Ambiente. **In**: URCHEI, M. A.; CANUTO, J. C. (Ed.). Trajetória das ações em agroecologia na Embrapa Meio Ambiente. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Cap. 5. Páginas: p. 95-115. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2017. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219431/1/Neves-Sitio-agroecologico-2017.pdf>>. Acesso em: 28/05/2021.

OLIVEIRA, J. U. C. de. **Estatística: uma nova abordagem**. Rio de Janeiro: Ciência, 2010.

OLIVEIRA, M.A.; PEREIRA, O.G.; HUAMAN, C.A.M.; GARCIA, R.; GOMIDE, J.A.; CECON, P.R.; SILVEIRA, P.R. Características Morfogênicas e Estruturais do Capim-Bermuda ‘Tifton 85’ (*Cynodon spp.*) em Diferentes Idades de Rebrotas. **Rev. bras. zootec.**, 29(6):1939-1948, 2000. Disponível em: <<http://www.sbz.org.br/revista/artigos/2826.pdf>>. Acesso em: 14/09/2021.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1979. 579 p. Apud ALCÂNTARA, F.A. Manejo Agroecológico do Solo. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. 2017. 28 p. - (**Documentos / Embrapa Arroz e Feijão**, ISSN 1678-9644; 314). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1076545/1/CNPAF2017doc314.pdf>>. Acesso em: 14/10/2019.

REBELLO, J.F.; SAKAMOTO, D.G. **Agricultura Sintrópica segundo Ernst Götsch**. Editora Reviver, 156 p. 2021.

ROBERTS, S.W. Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages. **Technometrics**. v. 1, p. 239-250. 1959.

SANTOS, R.D.; CALDERANO FILHO, B.; Levantamento detalhado dos solos do campo experimental da Embrapa Meio Ambiente Jaguariúna, SP. **Boletim de pesquisa**, n° 22. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. 37 p. ISSN: 1517-5219. Disponível em:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/964667>>. Acesso em: 25/05/2021.

SAURIN, T.A.; FERREIRA, C.F. Avaliação qualitativa da implantação de práticas da produção enxuta: estudo de caso em uma fábrica de máquinas agrícolas. **Gest. Prod.** 15 (3). Dezembro de 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2008000300003>>. Acesso em: 14/09/2022.

SAVIDAN, Y.H.; JANK, L.; COSTA, J.C.G. Registro de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum*. **EMBRAPA-CNPGC. Documentos**, 44. Campo Grande, MS: EMBRAPA-CNPGC, 1990. 68p. il. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104715/1/Registro-de-25-acesso.pdf>>. Acesso em: 06/03/2021.

SCHIMIDT, L.; MORAIS, G.F.; CASTRO, F.T.; MAIA, A.H.N.; RAMOS-FILHO, L.O. **Influência de Tipos de Corte Sobre o Perfilhamento, Rebrotação e Produção de Massa Seca do Capim-mombaça**. 16º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2022. 30 e 31 de agosto de 2022. ISBN: 978-65-88414-07-1.

SILIPRANDI, E.C. **Mulheres e agroecologia**: a construção de novos sujeitos políticos na agricultura familiar. p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/5591>>. Acesso em: 15/10/2020.

SILVA, A.G.; FRANÇA, A.F.S.; MIYAGI, E.S.; MELLO, S.Q.S.; FERREIRA, J.L.; CARVALHO, E.R. Frações proteicas do capim-mombaça submetido a doses de nitrogênio em duas alturas de corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** Belo Horizonte, v.61, n.5, p. 1148-1155, Oct. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352009000500018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13/05/2021. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000500018>.

SILVA, G.; CAPPELLI, N.L. **Métodos auxiliares para diagnóstico da necessidade de subsolagem de solos agrícolas**. 137 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

SILVA, J.S. Agroecologia: uma ciência para a vida e não para o desenvolvimento. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, 31 (1): 163-168. 2014.

SILVA, N.S. O jovem rural e as perspectivas da sucessão nas propriedades de agricultura familiar. **Ciências Agrárias**, p. 36, 2017.

SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312p. il. ISBN: 978-85-85564-14-8. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/microbiota.pdf>. Acesso em: 14/10/2019.

SILVEIRA, A.P.D.; GOMES, V.F.F. **Micorrizas Arbusculares em Plantas Frutíferas Tropicais**. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (editoras) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312p. il. ISBN: 978-85-85564-14-8. Disponível em:

<http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/microbiota.pdf>. Acesso em: 14/10/2019.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical Methods**. 8° Ed. Ames: Iowa University Press, 1989, apud ALBIERO, D. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com “Paraplow” rotativo usando análise dimensional**. 320p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na Área de Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2006.

SOARES, C.S. **Máquinas para o cultivo, desbaste e poda: roçadeira**. Universidade Estadual da Paraíba – Departamento de Agroecologia e Agropecuária. 7p. 2011.

SOUZA, E.M.; ISEPON, O.J.; ALVES, J.B.; BASTOS, J.F.P.; LIMA, R.C. Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a massa de forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**. vol.34 no.4. p. 1146-1155. Viçosa, 2005.

SPINELLI, B.M.A. **Sistematização de experiências na implantação de sistemas agroflorestais no domínio da Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado Profissional em Fitotecnia na Área de Concentração em Ciências Agrárias) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <<https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1249>>. Acesso em: 10/09/2020.

SZUCS, E. Similitude and modelling. 1o Ed. Amsterdam: **Elsevier**, 1980. In: ALBIERO, D. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com “Paraplow” rotativo usando análise dimensional**. 320p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na Área de Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2006.

TATSCH, M.P. **Modelo de referência para o processo de gestão da produção agrícola: ênfase na mecanização**. 161p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Mecanização Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2015.

TAYLOR, E.S. **Dimensional analysis for engineers**. Oxford University Press, Oxford, 1974.

TOLEDO, V.M. La memoria tradicional: La importancia agroecológica de los saberes locales. **LEISA Revista de agroecología**. 20 (4): 16-19. 2005.

TORRES, M.B. **Desenvolvimento Teórico-Prático de Um Novo Índice para Avaliação Conservacionista do Preparo do Solo**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. Fortaleza - CE. 58p. 2017.

VIGANÓ, C.; GONÇALVES, L. M.; GODOY, C. M. T.; CAMPOS, J. R. da R.; VARGAS, T. de O. Diagnóstico Acerca da Juventude Rural na Agricultura Familiar: Um Estudo no Município de Vitorino-PR. **Cadernos de Agroecologia** - ISSN 2236-7934 – Anais do III CPA – Vol. 14, n.1, fev. 2019. III Congresso Paranaense de Agroecologia. III Paraná Agroecológico. Foz do Iguaçu-PR, Brasil. Disponível em: <<http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/2549/2326>>. Acesso em: 17/06/2022.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 263-273. (IAC. Boletim Técnico, 100).

XAVIER, M.G.B; RAMOS-FILHO, L.O.; MORICONI, W.; SIQUEIRA, M.F.R.; BEVILAQUA, L.J.; Desafios no uso do capim-colonião como fonte de biomassa em agroflorestas: o caso do assentamento Sepé Tiaraju. **Anais** da VIII Jornada de estudos em assentamentos rurais. Unicamp, 2017.

YOORIN FERTILIZANTES. **Produtos**. Disponível em: <
<https://www.yoorin.com.br/pt/produtos/yoorin>>. Acesso em: 30/09/2021.

ANEXOS

ANEXO 1 – Características técnicas da roçadora costal Husqvarna 143R-II utilizada.

Especificações do motor	
Cilindrada	41,5 cm ³ / 2,53 pol ³
Diâmetro do cilindro	40 mm
Curso do cilindro	33 mm
Potência	1,5 kW / 2,01 hp
Velocidade máxima na potência encontrada	7.500 rpm
Velocidade de marcha lenta	2.500 rpm
Máxima rotação do motor	10.400 rpm
Torque máximo	2,3 N.m
Carburador	Walbro WYJ
Volume do tanque de combustível	0,95 lit / 32,12 fl oz
Consumo de combustível	653 g/kWh
Velocidade em marcha lenta	2500 rpm
Vela de ignição	NGK BPMR7A
Espaço do eletrodo	0,6 mm / 0,02 "
Dados de vibração & ruído	
Nível de vibração equivalente (ahv, eq) guidão esquerdo / direito	5,1/6 m/s ²
Nível de pressão sonora no ouvido do operador	94 dB(A)
Nível de potência sonora, garantida (LWA)	114 dB(A)
Dados de transmissão	
Relação de transmissão	01:01,4
Ângulo da engrenagem de direção	30 °
Equipamento	
Cabeçote com fio de náilon	T45X M12
Lâmina	3 pontas
Serra circular OEM	--
Cinturão	Cinturão duplo padrão
Dimensões gerais	
Peso (sem equipamento de corte)	7,6 kg / 16,75 lb
Comprimento do tubo	1483 mm / 58,39 pol
Diâmetro do tubo	25,4 mm / 1 "

ANEXO 2 – Características técnicas do trator Tramontini, modelo T5045-4 utilizado para acoplar na roçadora rotativa montada.

Performance	
Potência do motor	36,7 kW / 50 cv
Rotação Nominal do Motor	2700 rpm
Motor	
Marca	Tramontini

Modelo	TR450
Número de cilindros	4
Cilindrada	2545 cm ³
Aspiração	Natural
Sistema Elétrico	
Alternador	14 V / 35 A
Tensão	12 V
Bateria	80 A
Embreagem	
Tipo	Seca, Independente, de duplo estágio
Diâmetro do disco	280 mm
Transmissão	
Tipo	8x2 Deslizante
Tabela de velocidades	
Rotação do motor	2300 rpm
Rodado traseiro	9.5 x 24
Marchas	
Frente	Velocidade (Km/h)
1	1,58
2	2,56
3	4,03
4	5,44
5	8,28
6	13,25
7	21,02
8	30,1
Ré	Velocidade (Km/h)
1	1,98
2	10,22
Tomada de Potência	
Tipo	Independente/duplo estágio
Rotação nominal da TDP	540 / 1000 rpm
Potência no eixo	38,0 cv / 27,94 KW / 540rpm
Rotação do motor à rotação nominal da TDP	2300 rpm
Sistema de direção	
Tipo	Hidrostática
Vazão máxima da bomba hidráulica - (2000 rpm)	8 L/min
Pressão máxima	90 bar
Eixo dianteiro	

Tipo	4x4
Acionamento	Central (4x4)
Eixo traseiro	
Transmissão final	Engrenagem cilíndrica direita
Bloqueio do diferencial	Mecânico por pedal
Freios	
Número de discos	2
Tipo	Seco
Acionamento	Mecânico independente e/ou interligados
Estacionamento / Acionamento	Alavanca manual
Sistema Hidráulico / Controle Remoto	
Tipo	Integrado
Controles	Mecânico de posição
Capacidade de levante na rótula	950 kgf (com controle de ondulação)
Vazão máxima (1800 rpm)	28 L/min
Pressão máxima	140 bar
Categoria de Engate	I (Ø Rótula Cat II)
Rodagem	
Dianteira	6.00 x 14
Traseira	9.5 x 24
Capacidades	
Tanque de combustível	28 L
Transmissão/hidráulico	28 L
Direção hidrostática	1,2 L
Cárter do motor	7,2 L
Sistema de arrefecimento	11 L
Eixo dianteiro	5,5 L
Pesos e dimensões	
Peso com lastro	2000 kg
Comprimento total	3530 mm
Altura até a direção	1580 mm
Altura até a parte superior do escape	2190 mm
Altura total	2350 mm
Distância entre eixos	1818 mm
Vão livre do solo	235 mm
Largura externa dianteira (Pneu)	1170 mm (6.00x14)
Largura externa / Traseira (mínima/máxima) (Pneu)	1170-1650 mm (9,5x24)
Raio de giro com aplicação do freio	3267 mm
Raio de giro sem aplicação do freio	3855 mm

ANEXO 3 – Características técnicas da roçadora rotativa montada Jumil JM-RUTD-A 1.4.

Parâmetro	Valor
Marca	Jumil
Modelo	JM-RUTD-A 1.4
Série	185.045-1
Denominação	Roçadora rotativa montada
Ano	2010
Quantidade de facas	2
Rotação das facas	800 a 1.100 rpm
Peso	342 kg
Largura de corte	1,3 m
Altura do corte	2 – 10 cm
Largura	1,50 m
Comprimento	1,95 m
Altura	1,13 m

ANEXO 4 – Característica técnicas da mini colhedora de grãos Reaper Machine 4G–120A.

Parâmetro	Valor
Modelo	4GL-120
Tipo da barra de corte	Fixa
Largura de corte	1200 mm
Altura de corte	≥50 mm
Modo de deposição do material	Lateralmente à direita, em faixas
Produtividade	2330-3660 m ² /h
Dimensões	1000 x 1750 x 570 mm
Peso Total	90 kg
Espaço entre as lâminas	127 mm
Diâmetro da roda-estrela	280 mm
Velocidade de trabalho	2,6 – 6,2 km/h
Velocidade da corrente transp.	2,24 m/s
Número de Operador	1
Potência combinada	8-22 HP

ANEXO 5 – Nota de empréstimo da mini colhedora de grãos Reaper Machine 4G–120A para utilização no experimento.

RECEBEMOS DE CARBISA AGRICULTURA LTDA OS PRODUTOS CONSTANTES DA NOTA FISCAL INDICADA ABAIXO		NF-e Nº 21 SÉRIE 1	
DATA DE RECEBIMENTO		IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA DO RECEBEDOR	
CARBISA AGRICULTURA LTDA V ANHANGUERA, KM 300, 000 FAZENDA PAINAL - 14140000 São Paulo/SP 1130328220		DANFE DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL ELETRÔNICA 1 - SAÍDA Nº. 21 SÉRIE 1 FOLHA 1 de 1	
			
		CHAVE DE ACESSO 3521 0660 1401 7500 0630 5500 1000 0000 2116 6465 0254 Consulta de autenticação no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal ou no site da Setax Autorizadora	
NATUREZA DA OPERAÇÃO		PROTÓTIPO DE AUTORIZAÇÃO DE USO	
REMESSA PARA EMPRESTIMO		135210670547693 18/08/2021 12:31:39	
INSCRIÇÃO ESTADUAL		INSC. ESTADUAL DO SUBST. TRIBUTÁRIO	
279075628111		80140175000630	
DESTINATÁRIO / REMETENTE			
NOMENCLATURA SOCIAL		CNPJ/CNP	DATA DA EMISSÃO
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária		00348003010507	15/08/2021
ENDEREÇO		BARRIO	DATA DA SAÍDA/ENTRADA
Rodovia Governador Dr. Ademar Pereira de Barros km 127,5		Bairro Tanquinho Velho	15/08/2021
MUNICÍPIO		UF	HORA DE SAÍDA
Jaguariuna		SP	22:29:00
FATURA / DUPLICATAS			
CÁLCULO DO IMPOSTO			
BASE DE CÁLCULO DO ICMS		VALOR DO ICMS	
0,00		0,00	
BASE DE CÁLCULO DO ICMS ST		VALOR DO ICMS ST	
0,00		0,00	
VALOR TOTAL DOS PRODUTOS			
12.520,46			
VALOR DO FRETE		VALOR DO SEGURO	
0,00		0,00	
DESCONTO		OUTRAS DESPESAS	
0,00		0,00	
VALOR DO IPI		VALOR TOTAL DA NOTA	
0,00		12.520,46	
TRANSPORTADOR / VOLUMES TRANSPORTADOS			
RAZÃO SOCIAL		FRETE POR CONTA	CÓDIGO ANTT
		3 - EMIT. PRÓP.	
ENDEREÇO		PLACA DO VEÍCULO	UF
MUNICÍPIO		UF	INSCRIÇÃO ESTADUAL
QUANTIDADE		ESPÉCIE	MARCA
0			
		NUMERAÇÃO	PESO BRUTO
			0,000
			PESO LÍQUIDO
			0,000
DADOS DO PRODUTO / SERVIÇO			
CÓDIGO		DESCRIÇÃO	
40120A		Equipamento Pntol Reaper Machine 40120A	
NCM		CEP	
84304000		501	
EQUÍV		EQUÍV	
501		501	
UNID		QUANT	
pc		1,0000	
VALOR ORÇ		VALOR TOT	
12.520,46000		12.520,46	
BASE CÁLC		VL ICMS	
		VL IPI	
		% ICMS	
		% IPI	
CÁLCULO DO ISSQN			
INSCRIÇÃO MUNICIPAL		VALOR TOTAL DOS SERVIÇOS	
São Paulo			
BASE DE CÁLCULO DO ISSQN		VALOR DO ISSQN	
DADOS ADICIONAIS			
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES		RESERVADO AO FISCO	
Não pago aproximadamente R\$ 1.054,00 de tributos federais R\$ 1.895,27 de tributos estaduais Fonte: SPT/Imprestimetro.com.br 882174			

ANEXO 6 – Dados técnicos do penetrômetro DLG PNT 2000.

Parâmetro	Valor
Profundidade máxima de operação	660 mm
Força máxima para penetração	100 kgf
Ponta no padrão ASAE	A ou B
Cone utilizado	Diâmetro = 12,83mm
	Comprimento = 23,9mm
	Ângulo = 30°
	Área = 129mm ²
Sensibilidade do transdutor.	2 m V/V
Erro combinado	0,03 %
Excitação máxima do transdutor	15 Vcc ou 15 Vca

ANEXO 7 – Valores dos combustíveis utilizados nos cálculos do valor do consumo de combustível (CC).

Estado	Município	Data Inicial	Data Final	Combustível	Nº de postos pesquisados	Unidade	Preço médio	Preço mínimo	Preço máximo	Desvio Padrão
		25/04/2021	01/05/2021	Gasolina Comum	41	R\$ / L	5,243	4,999	5,599	0,146
		25/04/2021	01/05/2021	Óleo Diesel	21	R\$ / L	4,091	3,849	4,729	0,210
São Paulo	Campinas	07/11/2021	13/11/2021	Gasolina Comum	42	R\$ / L	6,335	6,157	6,599	0,114
		07/11/2021	13/11/2021	Óleo Diesel	18	R\$ / L	5,249	5,099	5,769	0,154
		16/01/2022	22/01/2022	Gasolina Comum	40	R\$ / L	6,259	5,899	6,499	0,146
		16/01/2022	22/01/2022	Óleo Diesel	17	R\$ / L	5,48	5,299	5,899	0,161

Fonte: ANP, 2022.

ANEXO 8 – Valores dos salários dos cargos de mensalista e tratorista utilizados nos cálculos do custo de mão de obra (MO).

Estado	Cargo	Ano	Mês	Unidade	Preço médio	Preço mínimo	Preço máximo	Moda	Mediana	Nº de informantes	Nº de municípios
	Mensalista	2021	4	R\$/mês	1389,67	1045	2500	1200	1320	565	645
	Tratorista	2021	4	R\$/mês	1870,11	1090	3100	1800	1800	548	645
São Paulo	Mensalista	2021	11	R\$/mês	1449,02	1100	2500	1200	1400	513	645
	Tratorista	2021	11	R\$/mês	1933,12	1100	3000	2000	1900	506	645
	Mensalista	2022	4	R\$/mês	1539,41	1212	3000	1500	1500	545	645
	Tratorista	2022	4	R\$/mês	2042,64	1212	3500	2000	2000	540	645

Fonte: IEA, 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Matrizes de Correlação

Tabela 12 – Matriz Correlação do tratamento Roçadora Rotativa Montada para os três ciclos de corte.

		Pi-1	Pi-2	Pi-3	Pi-4
Ciclo 1	Pi-1	1,00	-0,98	0,96	-0,98
	Pi-2	-0,98	1,00	-0,91	1,00
	Pi-3	0,96	-0,91	1,00	-0,91
	Pi-4	-0,98	1,00	-0,91	1,00
Ciclo 2	Pi-1	1,00	-0,48	0,92	-0,48
	Pi-2	-0,48	1,00	-0,33	1,00
	Pi-3	0,92	-0,33	1,00	-0,33
	Pi-4	-0,48	1,00	-0,33	1,00
Ciclo 3	Pi-1	1,00	-0,67	0,89	-0,67
	Pi-2	-0,67	1,00	-0,35	1,00
	Pi-3	0,89	-0,35	1,00	-0,35
	Pi-4	-0,67	1,00	-0,35	1,00

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 13 – Matriz Correlação do tratamento Mini Colhedora de Grãos para os três ciclos de corte.

Ciclo 1		Pi-1	Pi-2	Pi-3	Pi-4
	Pi-1	1,00	0,44	0,95	0,44
	Pi-2	0,44	1,00	0,60	1,00
	Pi-3	0,95	0,60	1,00	0,60
	Pi-4	0,44	1,00	0,60	1,00
Ciclo 2		Pi-1	Pi-2	Pi-3	Pi-4
	Pi-1	1,00	0,35	0,97	0,35
	Pi-2	0,35	1,00	0,19	1,00
	Pi-3	0,97	0,19	1,00	0,19
	Pi-4	0,35	1,00	0,19	1,00
Ciclo 3		Pi-1	Pi-2	Pi-3	Pi-4
	Pi-1	1,00	-0,53	0,99	-0,53
	Pi-2	-0,53	1,00	-0,44	1,00
	Pi-3	0,99	-0,44	1,00	-0,44
	Pi-4	-0,53	1,00	-0,44	1,00

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 14 – Matriz Correlação do tratamento Roçadora Costal para os três ciclos de corte.

Ciclo 1		Pi-1	Pi-2	Pi-3	Pi-4
	Pi-1	1,00	0,13	0,94	0,13
	Pi-2	0,13	1,00	-0,21	1,00
	Pi-3	0,94	-0,21	1,00	-0,21
	Pi-4	0,13	1,00	-0,21	1,00
Ciclo 2		Pi-1	Pi-2	Pi-3	Pi-4
	Pi-1	1,00	-0,24	0,96	-0,24
	Pi-2	-0,24	1,00	-0,36	1,00
	Pi-3	0,96	-0,36	1,00	-0,36
	Pi-4	-0,24	1,00	-0,36	1,00
Ciclo 3		Pi-1	Pi-2	Pi-3	Pi-4
	Pi-1	1,00	-0,92	0,99	-0,92
	Pi-2	-0,92	1,00	-0,92	1,00
	Pi-3	0,99	-0,92	1,00	-0,92
	Pi-4	-0,92	1,00	-0,92	1,00

Fonte: O autor, 2022.

APÊNDICE 2 – Dados de umidade de solo

Tabela 15 – Dados de umidade de solo obtidos antes do início e após o término do experimento, juntamente com as coletas de dados de resistência à penetração (RP).

Bloco	Parcela	Profundidade (cm)	Data da coleta: 29/04/2021			Data da coleta: 06/05/2022		
			Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
1	1	0-10	17,6	17,9	17,3	18,9	19,6	18,2
1	1	10-20	17,1	17,6	16,7	17,2	17,9	16,3
1	1	20-25	16,2	17,4	15,2	17,7	19,3	15,8
1	2	0-10	17,8	19,8	16,0	18,7	18,8	18,7
1	2	10-20	17,1	19,4	14,8	18,6	20,5	15,5
1	2	20-25	18,5	20,2	15,6	19,8	21,6	16,5
1	3	0-10	17,4	18,6	15,6	17,8	19,2	16,3
1	3	10-20	16,2	16,6	15,5	16,9	18,2	15,8
1	3	20-25	15,4	17,3	13,8	17,2	19,2	14,7
BLOCO 1		0-10	17,6	19,8	15,6	18,5	19,6	16,3
		10-20	16,8	19,4	14,8	17,6	20,5	15,5
		20-25	16,7	20,2	13,8	18,2	21,6	14,7
2	1	0-10	15,2	17,2	12,1	18,7	19,8	17,4
2	1	10-20	14,7	16,0	12,1	17,8	18,6	17,1
2	1	20-25	13,5	15,7	9,6	15,4	16,5	14,7
2	2	0-10	18,0	20,2	16,3	18,3	19,0	17,8
2	2	10-20	17,7	20,5	15,9	16,9	17,6	15,8
2	2	20-25	17,0	18,7	15,7	17,1	18,5	16,3
2	3	0-10	19,6	20,0	19,4	19,9	20,5	19,4
2	3	10-20	17,3	18,8	15,6	18,9	21,4	17,3
2	3	20-25	17,7	20,2	16,1	17,6	20,5	16,0
BLOCO 2		0-10	17,6	20,2	12,1	19,0	20,5	17,4
		10-20	16,6	20,5	12,1	17,9	21,4	15,8
		20-25	16,1	20,2	9,6	16,7	20,5	14,7
3	1	0-10	14,0	16,0	12,7	15,3	17,0	13,5
3	1	10-20	13,1	15,0	11,7	14,1	14,3	13,7
3	1	20-25	13,3	15,1	11,9	13,7	14,2	13,0
3	2	0-10	12,4	13,5	11,9	13,6	13,8	13,4
3	2	10-20	11,7	11,9	11,5	12,6	13,3	12,2
3	2	20-25	11,5	11,7	11,3	12,3	13,0	11,4
3	3	0-10	13,9	15,5	12,1	13,6	16,0	11,5
3	3	10-20	14,0	15,8	12,5	12,6	14,2	9,7
3	3	20-25	14,0	15,6	12,8	13,8	14,5	12,9
BLOCO 3		0-10	13,4	16,0	11,9	14,2	17,0	11,5
		10-20	13,0	15,8	11,5	13,1	14,3	9,7
		20-25	12,9	15,6	11,3	13,3	14,5	11,4
4	1	0-10	17,6	20,5	16,1	17,5	19,4	15,4

4	1	10-20	17,2	18,3	15,4	13,9	14,2	13,7
4	1	20-25	15,4	17,3	13,3	16,4	18,4	13,9
4	2	0-10	13,5	14,5	11,7	14,5	16,8	12,2
4	2	10-20	12,1	12,8	11,5	14,1	14,9	13,3
4	2	20-25	12,5	13,9	11,5	14,5	15,0	14,1
4	3	0-10	14,3	15,6	12,1	17,0	17,6	16,5
4	3	10-20	14,5	16,7	13,2	16,9	17,3	16,5
4	3	20-25	14,1	15,9	13,0	17,1	18,5	16,2
BLOCO 4		0-10	15,2	20,5	11,7	16,4	19,4	12,2
		10-20	14,6	18,3	11,5	14,9	17,3	13,3
		20-25	14,0	17,3	11,5	16,0	18,5	13,9
5	1	0-10	13,6	16,3	11,6	17,0	18,9	15,5
5	1	10-20	13,7	14,2	13,1	15,8	16,0	15,6
5	1	20-25	14,8	15,7	13,6	15,9	16,5	15,2
5	2	0-10	13,7	14,9	12,3	15,0	17,9	11,6
5	2	10-20	13,5	14,2	12,7	14,1	15,3	13,2
5	2	20-25	12,9	14,7	11,9	15,1	17,0	12,4
5	3	0-10	12,6	13,0	11,9	15,8	16,6	14,5
5	3	10-20	14,2	15,8	13,1	14,2	14,7	13,6
5	3	20-25	14,8	17,9	12,4	14,3	15,3	13,6
BLOCO 5		0-10	13,3	16,3	11,6	15,9	18,9	11,6
		10-20	13,8	15,8	12,7	14,7	16,0	13,2
		20-25	14,1	17,9	11,9	15,1	17,0	12,4
6	1	0-10	16,0	16,6	15,4	19,8	20,7	18,9
6	1	10-20	15,8	17,6	13,7	16,8	17,0	16,7
6	1	20-25	16,6	18,3	15,5	16,3	17,3	14,8
6	2	0-10	12,6	16,1	9,9	16,4	18,2	13,6
6	2	10-20	12,7	15,8	9,4	14,9	16,5	14,0
6	2	20-25	13,0	15,8	9,7	15,4	15,9	15,1
6	3	0-10	14,0	18,3	9,1	16,8	18,7	15,2
6	3	10-20	15,9	20,3	11,5	17,6	20,3	14,7
6	3	20-25	17,2	20,9	12,1	17,3	19,6	14,0
BLOCO 6		0-10	14,2	18,3	9,1	17,6	20,7	13,6
		10-20	14,8	20,3	9,4	16,4	20,3	14,0
		20-25	15,6	20,9	9,7	16,3	19,6	14,0

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 16 – Resumo dos valores médios de umidade de solo (%) de cada bloco, obtidos nas coletas anterior e posteriormente ao experimento.

Data da coleta	Profundidade (cm)	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6
29/04/2021	0-10	17,6	17,6	13,4	15,2	13,3	14,2
	10-20	16,8	16,6	13,0	14,6	13,8	14,8
	20-25	16,7	16,1	12,9	14,0	14,1	15,6
06/05/2022	0-10	18,5	19,0	14,2	16,4	15,9	17,6
	10-20	17,6	17,9	13,1	14,9	14,7	16,4
	20-25	18,2	16,7	13,3	16,0	15,1	16,3

Fonte: O autor, 2022.