

**DESEMPENHO TÉCNICO DA COLHEDORA DE MANDIOCA
MANÁ-INRODA NA COLHEITA DE MANDIOCA PARA INDÚSTRIA**

IDR-PARANÁ

2025

Hevandro Colonhese Delalibera

Pesquisador científico, Área de Engenharia Agrícola e Tecnologias Digitais, IDR-Paraná, Londrina-PR

Rudiney Ringenberg

Pesquisador científico, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Marechal Cândido Rondon-PR

Daniel Portioli Sampaio

Analista/Engenheiro Mecânico, área de projeto de máquinas e implementos agrícola, Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP

Anderson de Toledo

Pesquisador científico, Área de Engenharia Agrícola e Tecnologias Digitais, IDR-Paraná, Londrina-PR

Emerson Fey

Professor, pesquisador, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon-PR

AGRADECIMENTOS

Ao senhor Cleto Lanziani Janeiro, Associação dos Produtores de Mandioca – APROMAN, mandiocultor no município de Paranavaí-PR que forneceu à área experimental e o apoio necessário à condução do experimento;

Aos senhores, João Paulo Viscaio e Kleber Barbosa, em nome da INRODA pela disponibilização da máquina e apoio para a realização dos experimentos;

Aos técnicos do IDR – Paraná: Audilei de Souza Ladeira, José Arnaldo Granato, Claudemir Jorge Lemes, Renan Tiago Lunas Costa, pelo apoio e realização dos experimentos

Ao senhor Sigmar Herpich, Atimop, Agrícola Horizonte, pelo suporte e viabilização dos experimentos.

INTRODUÇÃO

A mandiocultura representa uma atividade agrícola de grande relevância para o Estado do Paraná, destacando-se tanto na produção de mandioca de mesa (*Manihot esculenta Crantz*) quanto na mandioca destinada à indústria. Em 2023, o cultivo gerou um Valor Bruto de Produção (VBP) de R\$ 3,1 bilhões, evidenciando sua importância econômica regional (DERAL, 2023a). No segmento industrial, voltado à produção de fécula e farinha, o Paraná lidera o cenário nacional como maior produtor, com 3,49 milhões de toneladas colhidas em uma área de 137,5 mil hectares na safra de 2023, resultando em um VBP de R\$ 2,49 bilhões em 2022 (DERAL, 2023a; CONAB, 2024). Para a safra de 2024, projeta-se um crescimento, com estimativa de 3,69 milhões de toneladas cultivadas em 139,6 mil hectares (DERAL, 2024).

A região Noroeste do Estado concentra aproximadamente 80% da área plantada, abrangendo os municípios de Umuarama, Paranavaí, Campo Mourão e Maringá, que também abrigam a maioria das fecularias paranaenses (DERAL, 2023b). Além do expressivo desempenho produtivo, a cultura da mandioca se destaca por sua rusticidade e tolerância ao déficit hídrico, sendo uma alternativa estratégica para áreas com baixa precipitação, como a região do Arenito Caiuá, especialmente em períodos críticos do desenvolvimento das culturas.

O Estado do Paraná também se destaca pela elevada produtividade nas áreas cultivadas com mandioca, alcançando índices praticamente duas vezes superiores aos registrados no Pará, atual líder nacional em volume de produção. Esse desempenho é atribuído à estrutura produtiva diferenciada do Paraná, onde predomina o cultivo voltado à indústria de fécula, aliado a sistemas de produção com maior nível tecnológico e manejo mais eficiente (CONAB, 2024).

Apesar dos avanços, um dos principais obstáculos à expansão da mandiocultura industrial no Paraná, é a escassez de mão de obra qualificada para a realização da colheita, fator que também é limitante nos outros estados produtores. Esse gargalo operacional compromete o aproveitamento pleno do potencial produtivo e limita o crescimento da área plantada, especialmente em regiões com forte vocação agroindustrial.

O processo de colheita da mandioca destinada à indústria, mais comumente adotado no Estado do Paraná, inicia-se com a poda da parte aérea da planta, realizada por meio de uma podadora acoplada a trator agrícola. Em seguida, executa-se a operação de subsolagem, utilizando um subsolador alado (afofador) montado no sistema de três pontos do trator, aplicado nas entrelinhas da cultura para promover a desagregação do solo (afofamento), facilitando o arranque das raízes.

Na etapa subsequente, as operações passam a ser manuais, envolvendo o arranque das plantas, a separação das raízes da cepa (despinicamento), o recolhimento das raízes em cestos

e o acondicionamento em sacolas de grande capacidade (big-bags de 1.000 kg). A partir desse ponto, o processo volta a ser mecanizado, no qual os big-bags são içados por guinchos hidráulicos e despejados em transbordos tratorizados ou diretamente na caçamba de caminhões, que realizam o transporte das raízes até as unidades industriais.

No entanto a escassez de mão de obra para a colheita da mandioca destinada à indústria está diretamente relacionada ao elevado esforço físico exigido pela atividade, considerada atualmente uma das mais insalubres do meio rural. Tal condição decorre, principalmente, da postura de trabalho adotada e da força manual necessária para o arranque das plantas com suas raízes. Em cultivos de segundo ciclo (até dois anos de campo) uma única planta pode apresentar até 4,5 kg de raízes, conforme estimativas baseadas nas produtividades médias do Paraná. Além do arranque, outras etapas manuais intensificam a exigência física, como o despinicamento (separação das raízes da cepa), geralmente realizado com o uso de lâminas, e o carregamento das raízes em big-bags de 1.000 kg. A combinação dessas tarefas manuais e mecanizadas, somada à baixa atratividade da atividade, contribui significativamente para a dificuldade de contratação de trabalhadores para essa etapa da cadeia produtiva.

Nos últimos anos, o lucro dos produtores de mandioca tem sido impactado negativamente pelo aumento expressivo dos custos com mão de obra para a colheita. Estima-se que a remuneração diária dos trabalhadores represente entre 15% e 30% do custo total de produção, além das obrigações legais e trabalhistas associadas. Apesar da valorização dessa atividade, os mandiocultores enfrentam crescente dificuldade na contratação de trabalhadores, especialmente devido à elevada penosidade do trabalho, que exige esforço físico intenso e condições laborais adversas.

Diante desse cenário, a adoção de tecnologias que viabilizem a colheita totalmente mecanizada torna-se essencial para a sustentabilidade da cadeia produtiva. A mecanização não apenas contribui para a redução dos custos operacionais, como também favorece a expansão da cultura, o aumento da rentabilidade e a melhoria da qualidade de vida no meio rural.

No período de 1995 e 2024 foram encontrados registros de mais de 18 pedidos de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), voltados ao desenvolvimento de soluções para a mecanização da colheita da mandioca. Esses registros abrangem desde grandes fabricantes de máquinas agrícolas até inventores independentes, todos empenhados em desenvolver e disponibilizar ao mercado equipamentos tracionados por tratores ou autopropelidos, capazes de realizar a colheita de forma integralmente mecanizada.

As tecnologias patenteadas variam em complexidade, com algumas se concentrando em etapas específicas do processo, como o arranque das plantas ou o revolvimento do solo para

exposição das raízes, inspiradas em arrancadoras de batata, enquanto outras incorporam sistemas mais sofisticados, com elementos de automação e acionamento eletro-hidráulico-mecânico. Essas inovações são especialmente relevantes na etapa de despinicamento (separação das raízes da cepa), considerada o principal desafio técnico e o fator decisivo para a viabilidade comercial das colhedoras. A superação dessa etapa crítica poderá representar um marco para o sucesso da mecanização plena da colheita da mandioca, contribuindo significativamente para a modernização da cadeia produtiva e a redução da dependência de mão de obra intensiva.

Apesar dos avanços tecnológicos, ainda é perceptível certa resistência ou receio por parte dos produtores em adotar a colheita mecanizada da mandioca. Essa hesitação decorre, principalmente, de incertezas quanto aos níveis de perdas durante a colheita e das adaptações necessárias no sistema de cultivo para viabilizar a mecanização.

Com o intuito de apoiar o desenvolvimento dessa tecnologia e esclarecer as dúvidas do setor produtivo, foi instituído, em 28 de maio de 2020, um grupo de trabalho no âmbito da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Mandioca e Derivados, vinculada à Coordenação-Geral de Apoio às Câmaras Setoriais e Temáticas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Essa iniciativa buscou fomentar o desenvolvimento deste tema, sanar as dúvidas do setor produtivo e promover a inovação na colheita da cultura, contribuindo para a superação dos entraves que limitam a adoção da mecanização da mandioca.

A MÁQUINA

Desenvolvida pela Indústria de Roçadeiras Desbravador Avaré Ltda. – INRODA, a colhedora de mandioca modelo Maná (Figura 1) está disponível comercialmente desde 2022. Trata-se de uma máquina tracionada por trator agrícola, projetada para colher duas linhas da cultura simultaneamente, executando os processos de desagregação (afofamento) do solo por meio de um subsolador (afofador), seguindo para um conjunto de esteiras que realiza o arranque das plantas (Figura 2) e, as plantas arrancadas são conduzidas para dentro da máquina, onde são submetidas à passagem através de dois rolos dentados dispostos de forma paralela, os quais rotacionam no sentido de puxar as plantas, removendo as raízes da cepa (despinicamento). As raízes removidas são conduzidas para um sistema de separação mecânica de impurezas, o qual também permite a remoção manual de impurezas que escapam do sistema de limpeza. Por fim as raízes são depositadas em uma sacola tipo big-bag. Portanto, considera-se que a máquina realiza todas as atividades necessárias para a colheita da mandioca, com exceção da atividade de poda da parte aérea das plantas, a qual deve ser realizada previamente por equipamento específico (Figura 3).



Figura 1. Colhedora de mandioca Maná/INRODA.

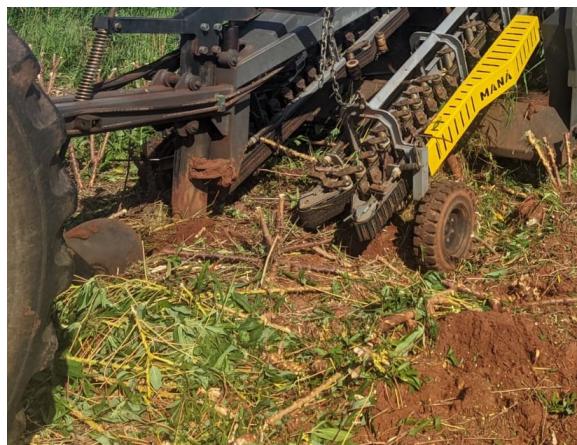


Figura 2. Sistema de esteiras que realizam o processo de arranque das plantas.

Os sistemas internos da colhedora são acionados por motores hidráulicos, alimentados por uma bomba hidráulica conectada à tomada de potência (TDP) do trator. Essa configuração permite o funcionamento coordenado dos mecanismos de arranque, despinicamento e transporte das raízes. A máquina conta com um painel de controle localizado em sua plataforma, por meio do qual o operador pode realizar ajustes operacionais das velocidades dos mecanismos e intervenções, como a reversão do sentido de giro dos sistemas em casos de embuchamento. Esse recurso é essencial para garantir a continuidade do processo e evitar paradas prolongadas.

Além disso, a máquina possui um sistema de ajuste manual para o direcionamento das rodas, permitindo a correção do seu alinhamento durante o deslocamento nas entrelinhas da

cultura. Essa funcionalidade é fundamental para evitar o tráfego sobre as plantas das linhas laterais a máquina durante a operação e para reduzir a quantidade de manobras do trator.



Figura 3. Podadora da parte aérea das plantas, acoplada na dianteira do trator agrícola.

A AVALIAÇÃO

Em agosto de 2022 foi implantada uma área experimental de 5 ha localizada no município de Paranavaí - PR, na região do Arenito Caiuá sob as coordenadas 23.089071° S e 52.517011° O, sobre Latossolo, com a característica granulométrica de 10,5% de argila, 1,0% de silte e 88,5% de areia e possui clinometria média de 5%. Foram plantadas sete cultivares de mandioca com finalidade industrial recomendadas para a região, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Produtividade total média das cultivares por experimento, renda no segundo ciclo e diâmetro médio da rama.

Experimento	1º Ciclo		2º Ciclo		Diâmetro médio (mm) da rama a 0,2 m do solo
	Limpo (kg/ha)	Sujo (kg/ha)	3	Renda (g/kg)	
BRS CS01 (Embrapa)	27.193 a	24.452 a	47.005 ab	620,0	24,26d
BRS Boitatá (Embrapa)	27.956 ab	29.551 b	52.543 bc	627,5	22,60cd
Caiuá (Crioula)	28.296 ab	30.144 bc	48.747 abc	656,5	21,25bc
IPR B36 (IDR-Paraná)	28.991 ab	32.822 d	46.222 ab	563,6	19,78ab
BRS 420 (Embrapa)	29.187 ab	30.179 bc	40.726 a	498,5	18,26a
IPR Paraguainha (IDR- Paraná)	29.316 ab	31.563 cd	47.774 abc	571,0	21,75bc
BRS Ocauçu (Embrapa)	30.627 b	26.266 a	55.613 c	628,2	22,49cd

Umidade 0-10cm	3,8%	4,8%	7,2%
Umidade 10-20 cm	4,6%	6,2%	8,1%
Umidade 20-30 cm	5,6%	7,0%	9,5%
Umidade média	4,7%	6,0%	8,4%

Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey $p < 0,05$
Umidade calculada pela base úmida

Renda: Medida utilizada pela indústria, obtida através de uma balança hidrostática a qual mede a resultante do empuxo exercido pelo deslocamento de água na submersão de uma amostra de 5kg de raízes, visando obter a quantidade de amido nas raízes para a determinação do valor a ser pago por tonelada do produto.

Com o objetivo de avaliar o desempenho da colhedora Maná, foram conduzidos três experimentos de campo, focados na quantificação das perdas durante o processo de colheita. Os ensaios consideraram parâmetros da cultura (sete cultivares), parâmetros de manejo como a presença ou ausência de plantas invasoras e a altura de poda (0,3 e 0,4 m) e, parâmetros da máquina, como a velocidade de deslocamento (1,33 e 1,66 km/h).

Para proporcionar a condição de colheita mais extrema para a máquina, buscou-se realizar os experimentos sempre na umidade do solo mais baixa possível (Tabela 1), o que dificulta principalmente o arranque das plantas. Assim, considera-se que perdas obtidas, refletem a pior situação operacional para a máquina. Por outro lado, em condições de maior umidade do solo as perdas tendem a ser significativamente inferiores às obtidas neste estudo.

Foram realizados três experimentos com o objetivo de avaliar o desempenho da colhedora de mandioca modelo Maná em diferentes condições de cultivo, com foco na cultura em primeiro ciclo, por ser a mais adotada pelos produtores.

- Experimento 1: Conduzido em agosto de 2023, com a cultura em primeiro ciclo (12 meses) e baixa infestação de plantas daninhas (lavoura no limpo). Essa condição representa o cenário ideal de manejo, com interferência mínima de invasoras durante a colheita (Figura 4).

- Experimento 2: Realizado em setembro de 2023, com mandioca em primeiro ciclo (13 meses), com alta infestação de plantas daninhas (lavoura no sujo). A condição foi induzida pela poda da parte aérea da mandioca um mês antes do experimento, permitindo o crescimento das invasoras pela ausência de cobertura vegetal (Figura 5).

- Experimento 3: Executado em fevereiro de 2024, com plantas de mandioca em segundo ciclo (18 meses de campo). Neste caso, foi possível realizar apenas o teste sob condição de lavoura com elevada presença de plantas daninhas.



Figura 4. Lavoura no limpo.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos não casualizados, organizados em esquema de parcelas subdivididas, com dois blocos, nos moldes de um experimento em faixa. Na parcela principal foram alocadas sete cultivares de mandioca industrial; nas subparcelas, duas alturas de poda da parte aérea (0,30 m e 0,40 m); e nas subsubparcelas, duas velocidades de deslocamento da máquina (1,33 km/h e 1,66 km/h). Cada combinação foi repetida duas vezes, totalizando 56 unidades experimentais. A análise estatística considerou os erros analíticos decorrentes da não casualização dos três fatores avaliados. As características específicas das áreas experimentais, incluindo cultivares, manejo e condições de solo, estão detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2. Síntese das características da área em cada experimento realizado.

Experimento	1º	2º	3º
Mês de execução	agosto/2023	setembro/2023	fevereiro/2024
Idade (tempo após implantação da cultura)	12 meses	13 meses	18 meses
Condição da lavoura com relação às plantas invasoras	Limpo	Sujo	Sujo
Tamanho da parcela	25 m x 2 linhas	25 m x 2 linhas	35 m x 2 linhas
Espaçamento entre plantas	0,72 m	0,72 m	0,72 m
Espaçamento entre linhas	0,90 m	0,90 m	0,90 m

Para a determinação do desempenho quanto ao quantitativo de perdas da máquina, foram medidos a massa de raízes carregadas pela máquina no *big-bag* e todas as perdas ocorridas durante o processo de colheita.



Figura 5. Lavoura no sujo.



As perdas foram segregadas em dois tipos, sendo aquelas consideradas como recuperáveis, que são aquelas raízes que permanecem visíveis na área após a passagem da colhedora e que podem ser facilmente recuperadas por coleta manual (Figura 6). Dentre estas estão as plantas não arrancadas, raízes e partes de raízes que ficam sobre o solo e que podem ser recuperadas sem o uso de ferramentas. Também são inclusas as raízes ou partes de raízes que não foram despinicadas corretamente (faroletes) e que são descartadas antes do carregamento junto as impurezas.



Figura 6. Perdas recuperáveis e recolhimento manual destas perdas.

O outro tipo de perdas são aquelas classificadas como não recuperáveis, devido à baixa viabilidade técnica e econômica da operação. Estas são aquelas raízes que permanecem soterradas e não visíveis cuja recuperação depende de ferramentas para a exploração do solo. Para esta avaliação foi utilizada uma máquina conhecida como “batateira”, a qual recorta e revolve uma faixa de solo de 1,9 m de largura por 0,28 m de profundidade, conduzindo este volume de solo sobre um sistema de peneiramento, separando as raízes e fragmentos de raízes e depositando-as na superfície do solo (Figura 7). Após a passagem desta máquina, estas raízes são recolhidas e pesadas para compor a estimativa das perdas não recuperáveis.



Figura 7. Máquina arrancadora para mandioca, conhecida como “batateira” e exposição das perdas não recuperáveis após a passagem da Maná.

Para a comparação das perdas entre as cultivares foram somadas as massas de todas as perdas com a massa de raízes colhidas pela máquina, estimando-se a produtividade total das cultivares por parcela e, de posse desse valor, foi calculada a porcentagem de cada perda em relação à produtividade total da parcela. Este procedimento foi necessário, visto que cada

cultivar tem um potencial produtivo distinto (Tabela 1) e, este fator, impede que seja feita a comparação do quantitativo de perdas diretamente pela massa, pois gera tendências analíticas.

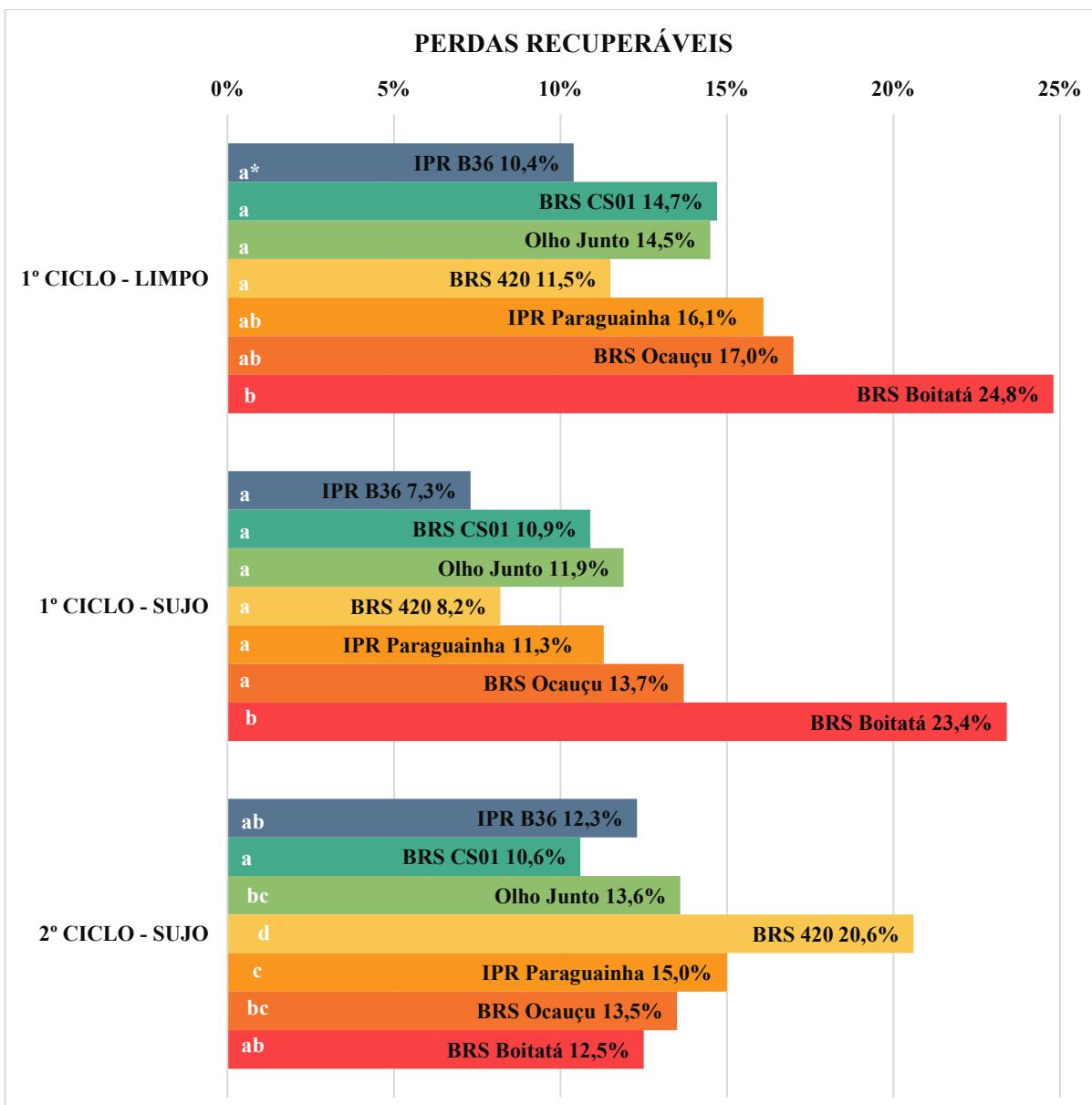
OS RESULTADOS

Perdas recuperáveis

A análise das perdas recuperáveis (Figura 8) revelou que, na colheita de mandioca em primeiro ciclo, apenas a cultivar BRS Boitatá apresentou diferença estatisticamente significativa entre as condições de lavoura limpa (Experimento 1) e lavoura com presença de plantas invasoras (Experimento 2). Independentemente do nível de infestação, essa cultivar registrou os maiores índices de perdas recuperáveis.

A BRS Boitatá apresentou uma perda média de 24,1%, considerando ambas as condições de manejo, o que corresponde a 6.934 kg/ha sobre uma produtividade média de 28.753 kg/ha. Esse valor representa aproximadamente o dobro das perdas observadas nas demais cultivares, que apresentaram produtividade média de 30.061 kg/ha e perda média de 13%, equivalente a 3.582 kg/ha.

Esses resultados indicam que a cultivar BRS Boitatá possui maior sensibilidade ao processo de colheita mecanizada, possivelmente em função de características morfológicas ou de arquitetura radicular que dificultam o arranquio ou favorecem a quebra das raízes. Tal comportamento reforça a importância da escolha varietal como fator determinante para o sucesso da mecanização da colheita



Letras iguais de acordo com o ciclo/condição da lavoura não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 8. Perdas recuperáveis de acordo com a cultivar, condição da área e ciclo de colheita da cultura; 1º Ciclo – Limpo se refere ao Experimento 1; 1º Ciclo – Sujo se refere ao Experimento 2; 2º Ciclo – Sujo se refere ao Experimento 3.

Considerando que na colheita manual um operário colhe em média 3.000 kg de raízes por dia, seriam necessárias pelo menos duas pessoas atrás da máquina para recolher as perdas recuperáveis para a cultivar BRS Boitatá. Para as demais cultivares, um único operário seria suficiente para realizar esse trabalho. Este fator pode ser considerado como um indicativo de que esta cultivar apresenta menor aptidão para colheita mecanizada.

Nas avaliações realizadas com mandioca em segundo ciclo (Experimento 3), a cultivar BRS 420 apresentou a maior porcentagem de perdas recuperáveis entre as cultivares analisadas.

Em contraste, a BRS Boitatá demonstrou desempenho semelhante ao das demais cultivares, sem diferenças significativas. O elevado índice de perdas observado na BRS 420 pode estar associado às suas características morfológicas, especialmente ao menor diâmetro médio da maniva a 0,2 m do solo (Tabela 1). Essa característica pode favorecer o escape de plantas do sistema de arranque, proporcionando perdas por plantas não arrancadas.

As perdas por plantas não arrancadas é uma subcategoria de Perdas Recuperáveis e referem-se àquelas que não foram recolhidas ou extraídas pelo sistema de arranque da máquina durante a operação de colheita. Esse tipo de perda inclui as plantas que escapam das esteiras por escorregamento, geralmente associadas a manivas de menor diâmetro; plantas fora do alinhamento da linha de plantio, que não são acessadas pelo sistema de arranque; plantas atropeladas pelos pneus do trator durante o deslocamento; plantas desviadas do sistema de arranque devido à presença de restes de manivas sobre o solo após a poda pré-colheita (problema causado pelo uso de máquina podadora, inadequada para a operação de poda para colheita mecanizada; é desejável que a podadora triture a parte aérea das plantas).

Dessa forma, no Experimento 3, a cultivar BRS 420 atingiu 13,12% de raízes perdidas, que representa o dobro do valor registrado nas demais cultivares, e um registro de 38,52% de plantas não colhidas (Tabela 3). Dessa forma, pode-se inferir que cultivares com ramos mais finas apresentam maior tendência a perdas por plantas não arrancadas, reforçando a importância de considerar atributos morfológicos das cultivares no planejamento da colheita mecanizada, visando minimizar perdas e otimizar a eficiência operacional da colhedora.

Tabela 3. Perdas por plantas não arrancadas expressa em porcentagem de raízes e de plantas.

Média	6,37	14,77	5,45	14,87	7,13	24,78
-------	------	-------	------	-------	------	-------

Além disso, a colheita em segundo ciclo (Experimento 3) envolve plantas com maior massa radicular, o que pode contribuir para o escorregamento das plantas do sistema de arranquio. No entanto, parte dessas perdas por escape pode estar relacionada a plantas pouco desenvolvidas. Isso é evidenciado pelo baixo peso médio de raízes por planta não arrancadas, no qual a média de 14,8% de plantas não colhidas dos experimentos de primeiro ciclo (Experimentos 1 e 2), representaram apenas 5,9% da produtividade total e, no segundo ciclo (Experimento 3), 24,8% de plantas não arrancadas corresponderam a apenas 7,1% da produtividade da área (Tabela 3). Esses dados indicam que, embora o número de plantas escapadas seja elevado, seu impacto sobre a produtividade pode ser mitigado pela baixa massa de raízes associada a essas plantas.

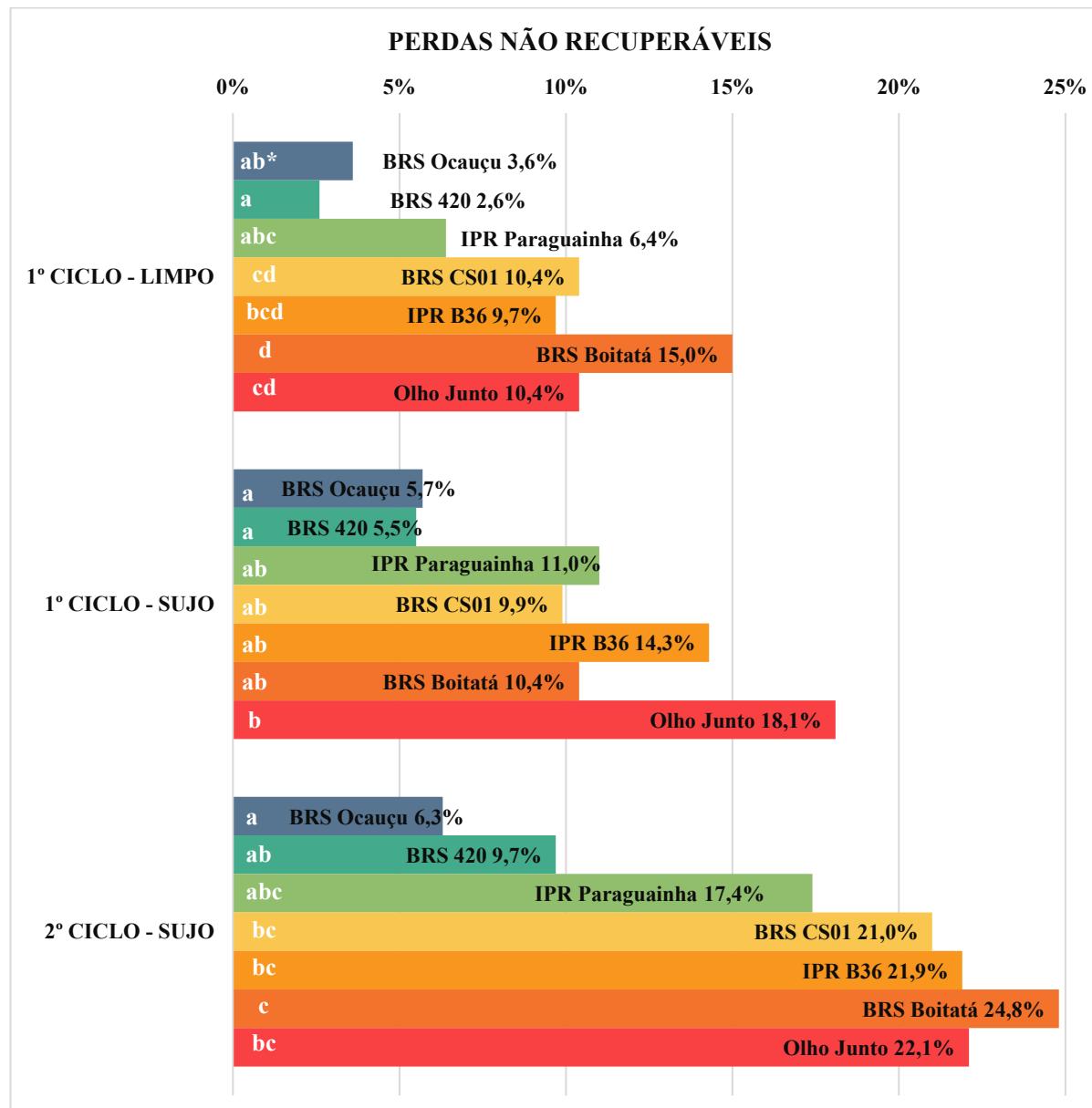
Embora um estudo econômico ainda seja necessário para avaliar a viabilidade entre o percentual de perdas recuperáveis e o custo da mão de obra empregada na sua recuperação, do ponto de vista técnico, a manutenção dessa mão de obra é viável. Além disso, a mecanização da colheita reduz significativamente a penosidade do trabalho, tornando a atividade de recuperação manual das raízes remanescentes menos exaustiva e mais eficiente.

Outro aspecto relevante a ser considerado é o impacto fitossanitário das raízes não recolhidas. Essas raízes podem atuar como fonte de inóculo de doenças, especialmente em cultivo sucessivo de mandioca (mandioca sobre mandioca), comprometendo a sanidade da lavoura subsequente. Portanto, a recuperação das perdas não apenas contribui para o aproveitamento econômico da produção, mas também para a sustentabilidade agronômica do sistema produtivo.

Perdas não recuperáveis

A análise das perdas não recuperáveis (Figura 9) revelou diferenças significativas no comportamento entre as cultivares. Para fins de comparação entre a colheita mecanizada com a Maná e a semimecanizada, foi conduzido um quarto experimento com cultivar IPR B36, em primeiro ciclo e sob condição de área limpa. Nesse ensaio, a média de perdas não recuperáveis registradas foram de 9,47% e 10,61% em relação a produtividade, para a colheita mecanizada e semimecanizada respectivamente, não apresentando diferença estatística significativa (teste t $p < 0,05$) entre os dois métodos. É importante ressaltar que esses valores representam um cenário extremo quanto a dificuldade de colheita em relação a condição do solo (Tabela 1).

A hipótese é que essas perdas não recuperáveis estejam associadas à morfologia das plantas, especialmente no que se refere ao tamanho médio, distribuição das raízes na cepa e peso das raízes, à dificuldade de desprendimento da raiz da cepa, e à interação do solo com o subsolador durante a operação de afogamento. Cultivares com raízes mais compridas ou com menor resistência à separação entre a raiz e a cepa (despinicam mais fácil) tendem a apresentar maiores perdas não recuperáveis, independentemente do método de colheita. Esses resultados reforçam a importância de considerar as condições edafoclimáticas e as características varietais no planejamento da colheita mecanizada, especialmente em situações de baixa umidade do solo, que potencializam as perdas não recuperáveis.



Letras iguais de acordo com o ciclo/condição da lavoura não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 9. Perdas não recuperáveis de acordo com a cultivar, condição da área e ciclo de colheita da cultura; 1º Ciclo – Limpo se refere ao Experimento 1; 1º Ciclo – Sujo se refere ao Experimento 2; 2º Ciclo – Sujo se refere ao Experimento 3.

Com base nos resultados obtidos, o valor de 10% de perdas não recuperáveis foi adotado como referência para análise comparativa, uma vez que esse tipo de perda representa o impacto mais significativo durante a colheita da mandioca e, não são exclusivas da colheita mecanizada.

Na Figura 9, observa-se que algumas cultivares apresentaram desempenho superior, com perdas não recuperáveis inferiores ao limiar de 10%, independentemente da condição de limpeza da área ou do ciclo da cultura. É o caso das cultivares BRS 420 e BRS Ocauçu, que se mostraram consistentes e adaptadas à colheita mecanizada para os três experimentos.

Por outro lado, algumas cultivares demonstraram comportamento variável conforme o ciclo de colheita e a limpeza da área. A cultivar BRS CS01, por exemplo, apresentou perdas próximas a 10% no primeiro ciclo (Experimentos 1 e 2), mas atingiu 21% no segundo ciclo (Experimento 3), indicando maior sensibilidade às perdas não recuperáveis em plantas mais desenvolvidas. Já a cultivar Olho Junto teve desempenho aceitável em lavoura no limpo (Experimento 1), com perdas próximas a 10%, mas apresentou perdas elevadas em lavoura no sujo, com 18,1% no primeiro ciclo (Experimento 2) e 22,1% no segundo ciclo (Experimento 3). Esses resultados reforçam a importância de considerar a interação entre cultivar, manejo da área e ciclo da cultura na adoção da colheita mecanizada, uma vez que o desempenho da máquina pode variar significativamente conforme essas variáveis.

Aptidão das cultivares para colheita mecanizada

A avaliação simplificada das cultivares quanto à aptidão à colheita mecanizada, apresentada na Tabela 4, adotou como referência o limiar de 10% de perdas não recuperáveis, valor obtido para a colheita semimecanizada em primeiro ciclo. Esse parâmetro é especialmente relevante por representar as perdas mais impactantes no processo de colheita.

Na condição de lavoura no limpo, durante o primeiro ciclo de colheita, as cultivares BRS 420, BRS Ocauçu, IPR Paraguainha e IPR B36 foram classificadas como mais aptas, por apresentarem perdas inferiores ao limiar estabelecido. Em contrapartida, as cultivares BRS CS01, Olho Junto e BRS Boitatá, considerando a média do grupo, foram estatisticamente enquadradas como menos aptas, com perdas superiores ao limite de referência.

Sob condição de lavoura no sujo, ainda no primeiro ciclo, as cultivares BRS 420, BRS Ocauçu e BRS CS01 mantiveram desempenho satisfatório, sendo classificadas como mais aptas. Por outro lado, BRS Boitatá, IPR Paraguainha, IPR B36 e Olho Junto apresentaram desempenho inferior, sendo estatisticamente enquadradas como menos aptas.

Tabela 4. Classificação da aptidão das cultivares pela comparação entre os grupos de manejo dos Experimentos 1, 2 e 3, para Perdas Não Recuperáveis durante a colheita mecanizada.

Grupo de manejo	Classe	Perdas não recuperáveis (%)
	BRS 420	
	BRS Ocauçu	
	IPR Paraguainha	
	IPR B36	
1º Ciclo		5,6 a
Lavoura no Limpo	Mais Aptas	
	BRS CS01	
	Olho Junto	
	BRS Boitatá	
		11,9 b
	BRS 420	
	BRS Ocauçu	
	BRS CS01	
1º Ciclo	Mais Aptas	7,0 a
Lavoura no Sujo		
	BRS Boitatá	
	IPR Paraguainha	
	IPR B36	
	Olho Junto	
		13,5 b
	BRS Ocauçu	
	BRS 420	
2º Ciclo	Mais Aptas	8,0 a
Lavoura no Sujo		
	IPR Paraguainha	
	BRS CS01	
	IPR B36	
	BRS Boitatá	
	Olho Junto	
		21,4 b

Teste *t* para amostras independentes ($p < 0,05$), sendo as comparações realizadas dentro do Grupo de Manejo entre as Classes Aptas com as Menos Aptas na coluna.

No segundo ciclo de colheita, também em lavoura no sujo, destacaram-se como mais aptas as cultivares BRS Ocauçu e BRS 420. Em oposição, IPR Paraguainha, BRS CS01, IPR

B36, BRS Boitatá e Olho Junto foram classificadas como menos aptas, com perdas não recuperáveis médias de 21,4% para o grupo.

Esses resultados evidenciam a importância do manejo adequado da área, especialmente no controle de plantas daninhas, como fator determinante para a eficiência da colheita mecanizada. A escolha varietal torna-se, portanto, um elemento estratégico, influenciando diretamente a capacidade do produtor de manutenção da lavoura no limpo e, consequentemente, a redução das perdas durante a colheita. Dentre as cultivares e os parâmetros aplicados nestes experimentos, pode-se dar destaque a cultivar BRS 420 e BRS Ocauçu por apresentarem o melhor desempenho médio geral quanto as porcentagens de perdas não recuperáveis durante a colheita mecanizada, no entanto cabe ressalvar a observância do potencial produtivo para uma melhor escolha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção da colheita mecanizada na cultura da mandioca destinada à indústria, exige planejamento criterioso, especialmente quanto à escolha de cultivares de mandioca com maior aptidão. Nesse contexto, destacam-se aquelas que apresentam raízes mais curtas e difíceis de se despinhar, com distribuição lateral bem definida na cepa, direcionando o crescimento das raízes para a entrelinha da cultura. Além disso, são preferíveis cultivares com rama da haste principal mais grossa e que não apresentam perfis ou ramificações até cerca de 40 cm do solo, altura na qual o dispositivo da máquina atua para realizar o arranque da planta.

Outro aspecto fundamental é o alinhamento das entrelinhas durante o plantio, especialmente nos arremates de borda e final de linha, onde o cruzamento de linhas deve ser evitado, pois pode inviabilizar a operação mecanizada nesses trechos. O manejo da cultura também desempenha papel decisivo, sendo essencial manter a área livre de plantas invasoras antes da colheita. A presença de plantas daninhas pode provocar embuchamentos na máquina e aumentar significativamente as perdas.

Quanto à poda, recomenda-se uma regulagem que permita altura mínima de aproximadamente 0,30 m do solo, quando a colheita for realizada logo após essa operação, como o caso de colheita no primeiro ciclo. Para colheitas previstas apenas no segundo ciclo da cultura, a poda inicial deve ser feita na maior altura possível, geralmente entre 0,40 e 0,45 m, tomando como referência o eixo dianteiro do trator, para que, na poda final, o corte ocorra logo abaixo do entroncamento da brotação, respeitando a altura mínima de 0,30 m do solo.

A qualidade da poda também influencia diretamente o desempenho da colhedora. É imprescindível que a operação seja realizada com equipamento adequado, capaz de realizar

cortes limpos e picar toda a parte aérea acima do ponto de poda. Isso evita que manivas cortadas fiquem sobre o solo, interferindo na captura das plantas pelas esteiras de arranque da máquina.

O planejamento também deve prever que a colheita seja realizada com o solo em condição de umidade friável, pois contribui para a redução das perdas. Ressalta-se que as condições de avaliação neste trabalho foram propositalmente bastante exigentes, o que permite inferir que dificilmente as perdas observadas serão superadas em cenários mais favoráveis.

No que se refere à capacidade operacional da colhedora, não foi observado efeito significativo entre as velocidades testadas (1,33 a 1,66 km/h) e o volume de perdas. Considerando as produtividades obtidas e as velocidades testadas, estima-se que, em um dia de trabalho de oito horas, com eficiência operacional de 75%, o rendimento da colheita varie entre 43 a 54 e, de 64 a 80 toneladas diárias para primeiro e segundo ciclo respectivamente.

Diante dessas observações, estima-se que a máquina possa substituir de 10 a 22 trabalhadores por dia. No entanto, a operação ainda demanda a presença de um tratorista, duas a três pessoas sobre a máquina para limpeza, acompanhamento e manipulação de carga e descarga do *big-bag*, e um a dois operários na retaguarda para recolher as perdas recuperáveis, totalizando de quatro a seis pessoas, no entanto, com redução significativa no grau de esforço físico exigido. No que tange à viabilidade técnica, a aquisição de uma colhedora deve considerar, como requisito mínimo, a capacidade de colheita ou entrega de 43.000 kg de mandioca por dia à indústria.

REFERÊNCIAS

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Mandioca – Análise Mensal – Março 2024. **CONAB**, Brasília, DF, 13 maio 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca>. Acesso em: 8 nov. 2025.

DERAL (Paraná). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural. **VBP 2023**. Curitiba: DERAL, 2023a. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2024-08/vbp_2023.xlsx. Acesso em: 8 nov. 2025.

DERAL (Paraná). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural. **Conjuntura - Boletim Semanal 31/2023**. Curitiba: SEAB, 10 ago. 2023b. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/boletim_semanal_31_deral_10_agosto_23.pdf. Acesso em: 8 nov. 2025.

DERAL estima crescimento de 6% na produção de mandioca em 2024. Curitiba: SEAB, 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Deral-estima-crescimento-de-6-na-producao-de-mandioca-em-2024>. Acesso em: 8 nov. 2025.