



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

VIVIANE DE OLIVEIRA BELO

**NÚMERO DE CLOROPLASTOS COMO INDICADOR ESTÁVEL PARA
INFERÊNCIA DE PLOIDIA EM *Portulaca* spp.**

**AREIA
2025**

VIVIANE DE OLIVEIRA BELO

**NÚMERO DE CLOROPLASTOS COMO INDICADOR ESTÁVEL PARA
INFERÊNCIA DE PLOIDIA EM *Portulaca* spp.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao
Curso de Engenharia Agronômica da
Universidade Federal da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Graduação em Engenharia Agronômica.

Orientador: Prof. D.Sc Mailson Monteiro do
Rego

AREIA

2025

**Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação**

B452n Belo, Viviane de Oliveira.

Número de cloroplastos como indicador estável para
inferência de ploidia em Portulaca spp. / Viviane de
Oliveira Belo. - Areia:UFPB/CCA, 2025.

26 f. : il.

Orientação: Mailson Monteiro do Rêgo.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Beldroega. 3. Células-guarda. 4.
Herdabilidade. 5. Melhoramento. 6. Poliploides. I.
Rêgo, Mailson Monteiro do. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

VIVIANE DE OLIVEIRA BELO

NÚMERO DE CLOROPLASTOS COMO INDICADOR ESTÁVEL PARA INFERÊNCIA DE PLOIDIA EM *Portulaca* spp.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao
Curso de Engenharia Agronômica da
Universidade Federal da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Graduação em Engenharia Agronômica

Aprovado em: 24 / 11 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 MAILSON MONTEIRO DO REGO
Data: 24/11/2025 10:49:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Mailson Monteiro do Rêgo, D.Sc. (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Documento assinado digitalmente

 ANTONIO FANUEL BOA
Data: 24/11/2025 11:22:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

M.Sc. Antônio Fanuel Boa

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Documento assinado digitalmente

 LAIS TOMAZ FERREIRA
Data: 24/11/2025 11:18:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

M.Sc. Laís Tomaz Ferreira

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

A Deus por sempre guiar meu caminho e a Nossa Senhora Aparecida pela proteção. À minha família, minha irmã, Vitória de Oliveira Belo pelo incentivo e apoio, minha mãe, Maria do Livramento de Oliveira Belo e meu pai, José Roberto Mariano Belo, que mesmo sem terem concluído os estudos, sempre trabalharam com dedicação para que nada nos faltasse e acreditaram que a educação é o caminho para um futuro de conquista. **Dedico!**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé e força que guiam meus passos.

A minha família, alicerce fundamental da minha trajetória. Em especial, minha irmã, Vitória de Oliveira Belo, minha mãe, Maria do Livramento de Oliveira Belo, ao meu pai, José Roberto Mariano Belo, pelo amor incondicional e incentivo constante. A minha avó Maria Inácia da Conceição (*in memorian*), cuja memória me inspira diariamente. Ao meu primo, Luiz Carlos de Oliveira Lima, pelas palavras de apoio.

Aos meus professores, que iluminaram meu caminho estudantil em especial professor Zeca, pelas leituras sugeridas ao longo do Ensino Médio e pelo encorajamento frente as apresentações. As professoras Carmélia, Salete, Maria José e Neves pela paciência e destreza para lidar com meu aprendizado e desenvolvimento no ensino Fundamental I.

Aos professores do Curso da UFPB, em especial, Raphael Moreira Beirigo e Valéria Peixoto Borges pelas sábias orientações e oportunidades.

Ao meu orientador, professor Mailson Monteiro do Rêgo, o qual tenho grande admiração como pessoa e profissional, pela disponibilidade em me orientar neste trabalho e por todo o conhecimento que me foi transmitido.

Ao Lucas Santos Campos, meu namorado e companheiro, por ser um dos grandes responsáveis da minha alegria e leveza.

Aos funcionários da UFPB, pela dedicação e carinho, em especial, Jacy da Silva.

Ao laboratório de Biotecnologia Vegetal e Geologia e Mineralogia do Solo pelo suporte para a realização de trabalhos no campus, aos professores, estudantes da pós e técnicos, pela orientação valiosa, incentivo e conhecimentos compartilhados ao longo desta jornada, em especial, Aline Cavalcanti Dantas.

Por fim, aos meus colegas de curso pelos momentos de amizade e apoio, pois toda conquista é, em sua essência, um feito coletivo.

RESUMO

O sucesso em programas de melhoramento de plantas ornamentais, como as beldroegas (*Portulaca* spp.), está intimamente associado à correta identificação dos níveis de ploidia. A poliploidização é uma técnica que gera novas combinações genéticas e variações fenotípicas, sendo útil no melhoramento de espécies de *Portulaca* spp. pelo seu valor ornamental, medicinal e nutricional. Este trabalho objetivou determinar o nível de ploidia em acessos de *Portulaca* spp. por meio da contagem do número de cloroplastos por células-guarda, visando subsidiar os programas de melhoramento genético da espécie. Amostras foliares de 15 genótipos cultivados em estufa agrícola foram coletadas e analisadas em microscópio óptico (40x). Analisaram-se três estômatos em cada cinco campos aleatórios da folha, e os dados foram submetidos a ANOVA, ao teste de média Scott-Knott e agrupamento Tocher. As médias observadas variaram amplamente, de 4,93 a 24,65 cloroplastos por células-guarda, indicando a presença de diferentes níveis de ploidia, desde diplóides a hexaplóides. A análise de variância confirmou diferenças significativas entre os genótipos ($p < 0,001$). O agrupamento de Tocher classificou os acessos em quatro grupos distintos e revelou alta divergência genética entre os acessos extremos (PU0010 com 24,65 cloroplastos e PU001 com 4,93). A herdabilidade no sentido amplo foi alta (98,57%), evidenciando forte controle genético do caráter. Os resultados confirmam a contagem de cloroplastos como uma ferramenta primária eficiente e com alta precisão seletiva (99,3%), útil para selecionar genótipos e orientar cruzamentos, para posterior desenvolvimento de híbridos promissores com características desejáveis de vigor, resistência e valor ornamental.

Palavras-chave: beldroega; células-guarda; herdabilidade; melhoramento; poliploides.

ABSTRACT

The success of breeding programs for ornamental plants such as purslanes (*Portulaca* spp.) is closely linked to the correct identification of ploidy levels. Polyploidization is a technique that generates new genetic combinations and phenotypic variations, making it useful in the improvement of *Portulaca* spp. due to their ornamental, medicinal, and nutritional value. This study aimed to determine the ploidy level of *Portulaca* spp. accessions by counting the number of chloroplasts per guard cell, providing support for breeding programs of the species. Leaf samples from 15 genotypes cultivated in a greenhouse were collected and analyzed under an optical microscope (40 \times). Three stomata from each of five random fields of the leaf were analyzed, and the data were subjected to ANOVA, the Scott–Knott mean test, and Tocher clustering. The observed means varied widely, from 4.93 to 24.65 chloroplasts per guard cell, indicating the presence of different ploidy levels, ranging from diploids to hexaploids. Analysis of variance confirmed significant differences among genotypes ($p < 0.001$). Tocher clustering classified the accessions into four distinct groups and revealed high genetic divergence between the most contrasting accessions (PU0010 with 24.65 chloroplasts and PU001 with 4.93). Broad-sense heritability was high (98.56%), indicating strong genetic control of the trait. The results confirm that chloroplast counting is an efficient primary tool with high selective accuracy (99.3%), useful for selecting genotypes and guiding crosses for the subsequent development of promising hybrids with desirable characteristics such as vigor, resistance, and ornamental value.

Keywords: purslane; guard cells; heritability; breeding; polyploids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estufa agrícola utilizada para o cultivo dos acessos de <i>Portulaca</i> spp.....	12
Figura 2 – Diferentes acessos de <i>Portulaca</i> spp. pertencentes ao Banco de Germoplasma de Beldroegas do CCA/UFPB. A, acesso da espécie <i>P. amilis</i> (PA001); B e C, <i>P. grandiflora</i> (PG001; PG002); D, <i>P. pilosa</i> (PP001); E a L, <i>P. umbraticola</i> (PU001; PU002; PU004; PU006; PU007, PU008, PU009 e PU010); M e N, <i>P. oleracea</i> (PO002; PO020) e O, <i>P. wendemannii</i> (PW001).	13
Figura 3 – Folhas de <i>Portulaca</i> spp. usadas neste trabalho (A) Folha totalmente expandida. (B) Contagem de cloroplasto em microscópio de luz invertido acoplado a câmera digital de 16 megapixels	14
Figura 4 – Fotomicografias de cloroplastos dos diferentes acessos de <i>Portulaca</i> spp. pertencentes ao Banco de Germoplasma de Beldroegas do CCA/UFPB. A, acesso da espécie <i>P. amilis</i> (PA001); B e C, <i>P. grandiflora</i> (PG001; PG002); D, <i>P. pilosa</i> (PP01); E a L, <i>P. umbraticola</i> (PU001; PU002; PU004; PU006; PU007, PU008, PU009 e PU010), M e N, <i>P. oleracea</i> (PO002; PO020) e O, <i>P. wendemannii</i> (PW001).....	15

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para contagem do número de cloroplastos por célula-guarda do aparelho estomatal dos acessos analisados do gênero <i>Portulaca</i> spp.	16
Tabela 2 – Variação no número de cloroplastos por célula-guarda do aparelho estomatal dos acessos analisados do gênero <i>Portulaca</i> spp.	16
Tabela 3 – Parâmetros genéticos relacionados ao caráter número de cloroplastos por célula-guarda de acessos de <i>Portulaca</i> spp.	17
Tabela 4 – Matriz de Distância Geranilizada de Mihalonobis em cloroplastos de espécies de <i>Portulaca</i> spp.	18
Tabela 5 – Agrupamento Tocher dos acessos de <i>Portulaca</i> spp., com base na distância generalizada de Mahalanobis.....	19

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA.....	12
2.1 Local do experimento	12
2.2 Material vegetal	12
2.3 Quantificação de cloroplastos em células-guarda.....	14
2.4 Análise estatística.....	14
3 RESULTADOS.....	15
4 DISCUSSÃO	19
5 CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

O setor de floricultura no Brasil demonstra grande relevância econômica, com mais de 15 mil hectares plantados anualmente, o que corresponde a aproximadamente 8% da produção mundial e mantém uma tendência de crescimento gradual (Instituto Brasileiro de Floricultura, 2024).

Dentro deste contexto, o gênero *Portulaca* L. (família Portulacaceae) apresenta-se como uma fonte de potencial pouco explorado. O Brasil possui 21 espécies nativas de beldroegas catalogadas, porém apenas cinco cultivares ornamentais foram registradas por empresas nacionais no Sistema de Registro Nacional de Cultivares no Ministério de Agricultura e Pecuária até 2021, o mercado brasileiro é amplamente dominado por multinacionais (81%), porém cultivares como *Portulaca grandiflora*, *P. umbraticola* e *P. oleracea*, *P. amilis* e *P. werdemanni* são pouco exploradas (Coelho e Giuliette, 2006; MAPA, 2021).

As plantas do gênero *Portulaca* se caracterizam por serem de hábito anual ou perene, com folhas carnosas e alternadas, inflorescência em (cimeira), ovário ínfero, com uma variedade de cores e tamanhos de flores e de porte pequeno, o que potencializa seu uso como ornamental (Coelho e Giulietti, 2010).

A espécie *P. oleracea* ($2n=18,36,45,52$ e 54) é particularmente notável e tem sido alvo de intensa pesquisa devido à sua rara plasticidade fotossintética. Ela está entre as únicas seis espécies descritas que possuem o metabolismo fotossintético C4-CAM facultativo (Ferrai., 2021).

A *P. grandiflora* ($2n=10,18,36$ e 54) é uma suculenta anual nativa da América do S-ul (Brasil, Argentina e Uruguai) e a principal espécie ornamental de beldroegas, com 66 cultivares registradas no MAPA, possui alta viabilidade polínica, e relevante interesse ornamental para programas de melhoramento genético que visam a hibridação (Santos *et al.*, 2022).

P. umbraticola ($2n =18, 36$ e 54) possui alto polimorfismo genético, características vantajosas para o melhoramento. Seu sistema reprodutivo alógamo e autoincompatível facilita a hibridação, recomendando-se cruzamentos entre acessos geneticamente distintos. A ampla variabilidade fenotípica floral, sob forte controle genético, consolida seu potencial para desenvolvimento de novas cultivares ornamentais (Souza *et al.*, 2024).

No Brasil, a *P. amilis* é frequentemente confundida com *P. mucronata* devido à semente lisa, mas se distingue desta pelo seu porte prostrado e flores menores. O número cromossômico é $2n = 18$ ou 36 (Coelho & Giulietti, 2024).

Morfologicamente a *P. pilosa* ($2n = 8$ e 16), se distingue das demais espécies pela presença de pêlos longos e esbranquiçados, e por suas folhas cilíndricas e suculentas. Seu uso medicinal é amplo, sendo empregada popularmente como analgésico, cicatrizante, desconforto estomáquico e vermífugo, e utilizada topicalmente em queimaduras e feridas o que a torna uma candidata promissora para a indústria farmacêutica (Matthews *et al.*, 1985). Estas propriedades medicinais e os teores dos princípios ativos das plantas do gênero *Portulaca*, são diretamente influenciados pelo nível de ploidia das plantas (Parida *et al.*, 2015; Madani *et al.*, 2021).

O aumento da ploidia também eleva o número de cloroplastos das células-guarda do aparelho estomatal, visto que os genes nucleares regulam seu desenvolvimento. Métodos clássicos de determinação de ploidia, como contagem cromossômica e citometria de fluxo, são confiáveis, porém onerosos e laboriosos. Assim, a contagem de cloroplastos surge como uma alternativa rápida e acessível para triagem inicial (Mohammadi *et al.*, 2023).

A maioria das cultivares de beldroegas são autopoliploides ou alopóliploides. A poliploidia geralmente altera aspectos importantes como morfologia, metabolismo e adaptações a condições adversas quando comparado aos diploides da espécie, estes tendem a exigir mais energia e carboidratos, obtidos por meio da fotossíntese, dessa forma ocorre aumento na quantidade de cloroplastos (Evans 2013; Rodriguez Bautista *et al.*, 2018; Paredes, 2022; Alvarez *et al.*, 2010). Em plantas poliploides geralmente possuem duas ou mais camadas de pétalas em suas flores, são duradoras e estas são geralmente maiores, o que lhes confere maior valor ornamental (Begna., 2024; Ning *et al.*, 2009; Ranney, 2006), e, portanto, devem ser utilizadas em programas de melhoramento.

O sucesso no melhoramento genético de espécies como as do gênero *Portulaca* depende da correta identificação de seus níveis de ploidia. A poliploidização, natural ou induzida, é uma técnica que gera novas combinações genéticas e variações fenotípicas, ampliando o potencial de uso dessas plantas nos mercados cosmético, medicinal e ornamental (Neves, 2022; Ferrari, 2022). Dentro deste contexto, este trabalho teve por objetivo determinar o nível de ploidia de acessos de beldroegas (*Portulaca* spp.) por meio da contagem de cloroplastos nas células-guardas do estômato e fornecer informações que subsidiem os programas de cruzamentos e produção de híbridos inter- e intraespecíficos no gênero.

2 METODOLOGIA

2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Biotecnologia Vegetal do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus Areia-PB (Figura 1).

Figura 1– Estufa agrícola utilizada para o cultivo dos acessos de *Portulaca* spp



Fonte: Elaboração própria, 2025.

2.2 Material vegetal

Foram utilizados 15 acessos de *Portulaca* spp. (Tabela 1), do banco de germoplasma pertencente ao Setor de Biotecnologia e Melhoramento de Plantas e usados no "Programa de Melhoramento de Beldroegas", projeto financiado pelo CNPq (Edital CTBIOTEC/2019, Processo nº 4421-04/2019).

Figura 2 – Diferentes acessos de *Portulaca* spp. pertencentes ao Banco de Germoplasma de Beldroegas do CCA/UFPB. A, acesso da espécie *P. amilis* (PA001); B e C, *P. grandiflora* (PG001; PG002); D, *P. pilosa* (PP001); E a L, *P. umbraticola* (PU001; PU002; PU004; PU006; PU007, PU008, PU009 e PU010); M e N, *P. oleracea* (PO002; PO020) e O, *P. wendemannii* (PW001).

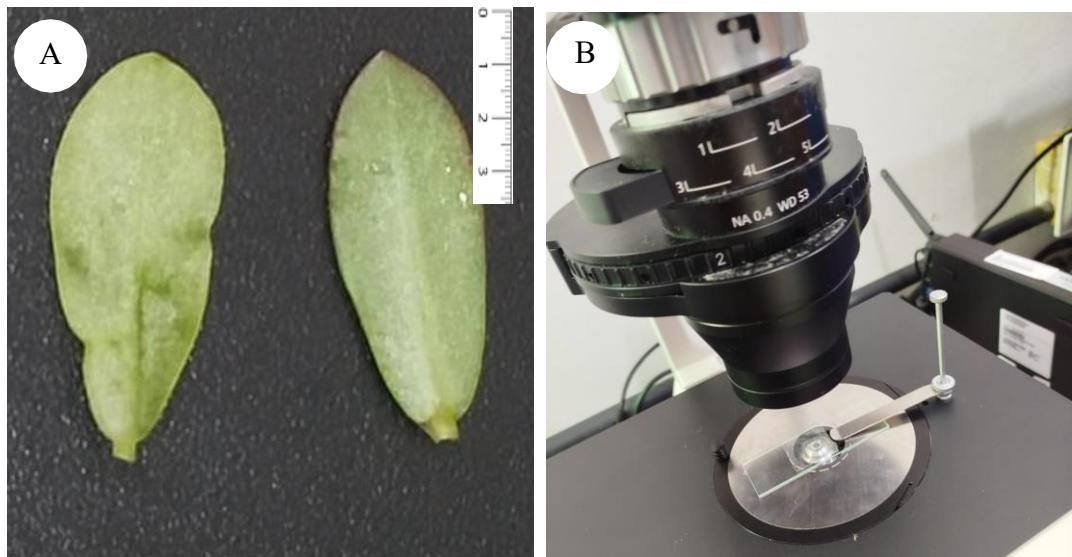


Fonte: Elaboração própria, 2025

2.3 Quantificação de cloroplastos em células-guarda

Para a quantificação dos cloroplastos, duas folhas totalmente expandidas de cada acesso foram coletadas. A epiderme abaxial foi removida com auxílio de pinça e bisturi e montada em lâminas contendo uma gota de água destilada. As amostras foram analisadas em um microscópio óptico invertido (ZEISS - AXIO Observer Z1) com objetiva de 40x (Figura 2). Para cada amostra, foram avaliados cinco campos aleatórios de 1 mm², contabilizando-se os cloroplastos de três células-guarda por campo, totalizando 15 células por tratamento.

Figura 3 – Folhas de *Portulaca* spp. usadas neste trabalho (A) Folha totalmente expandida. (B) Contagem de cloroplasto em microscópio de luz invertido acoplado a câmera digital de 16 megapixels



Fonte: Elaboração própria, 2025

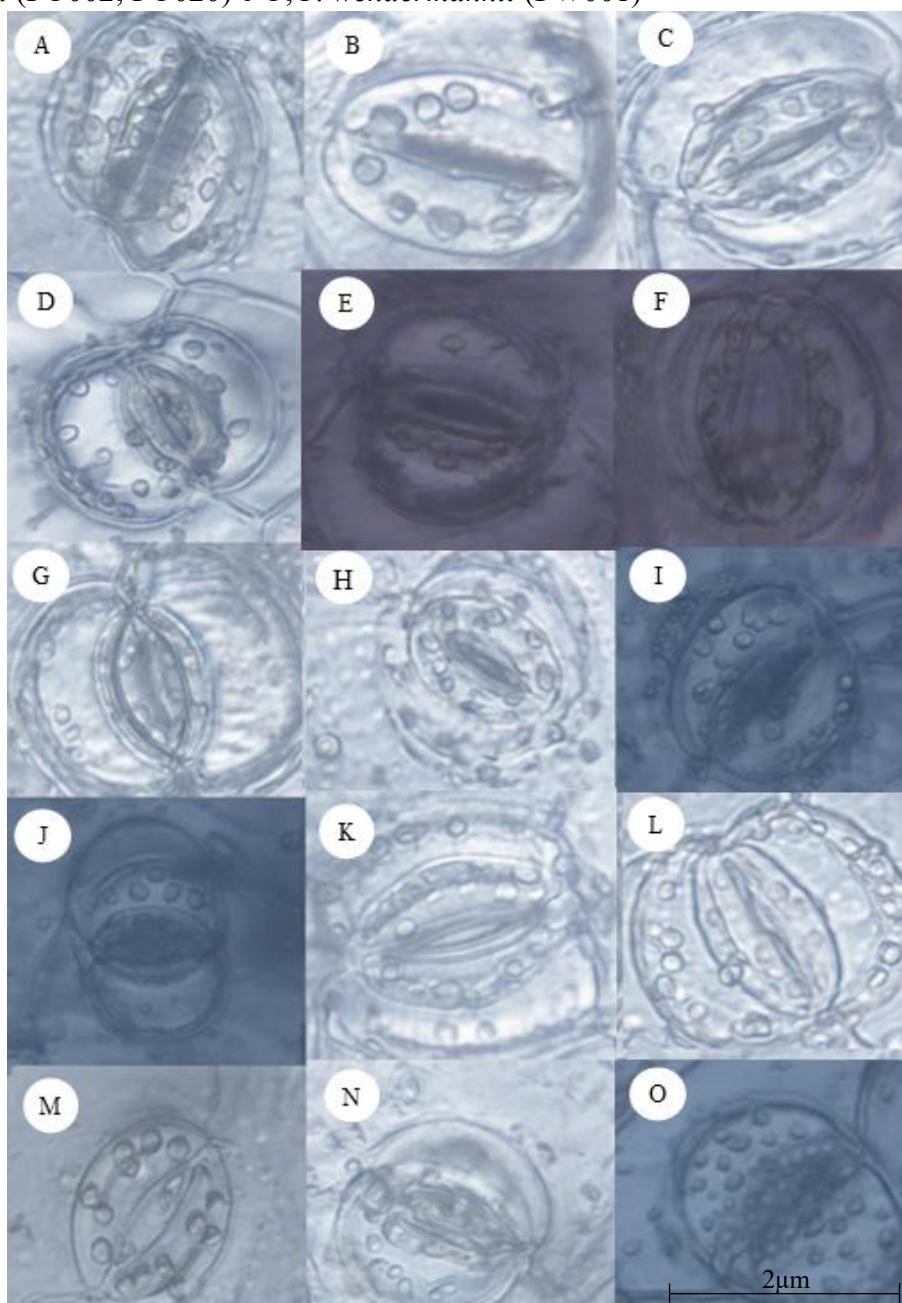
2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), teste de média (Scott Knott) a 1% de probabilidade e agrupamento Tocher a partir da matriz de distância generalizada de Mahalanobis utilizando o programa GENES.

3 RESULTADOS

A figura 3 demonstra que houve uma variação notável no número e no arranjo dos cloroplastos entre os acessos analisados, refletindo os distintos níveis de ploidia inferidos neste estudo, desde os prováveis diploides até os autopoliploides.

Figura 4 – Fotomicrografias de cloroplastos dos diferentes acessos de *Portulaca* spp. pertencentes ao Banco de Germoplasma de Beldroegas do CCA/UFPB. A, acesso da espécie *P. amilis* (PA001); B e C, *P. grandiflora* (PG001; PG002); D, *P. pilosa* (PP01); E a L, *P. umbraticola* (PU001; PU002; PU004; PU006; PU007, PU008, PU009 e PU010), M e N, *P. oleracea* (PO002; PO020) e O, *P. wendemannii* (PW001)



Fonte: Elaboração própria, 2025

A análise de variância (ANOVA) confirmou que as diferenças observadas entre os genótipos são significativas ($F = 69,52$; $p < 0,01$), corroborando a existência de variabilidade genética para este caráter (Tabela 2). A confiabilidade da metodologia é reforçada pela baixa estimativa do coeficiente de variação (10,13%), que indica precisão experimental.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para contagem do número de cloroplastos por célula-guarda do aparelho estomatal dos acessos analisados do gênero *Portulaca* spp.

FV	GL	Quadrado Médio CC	Valor F
Genótipo	14	147,39	69,52**
Resíduo	60	2,12	
Total	74	149,51	
CV (%)		10,13	
Média Geral		14,36	

FV- Fator de Variação; GL- Graus de Liberdade; CC: Contagem de Cloroplastos; CV-Coeficiente de Variação. Fonte: Elaboração própria, 2025

A análise do número de cloroplastos por células-guarda nos quinze acessos de *Portulaca* spp. revelou ampla variabilidade, com médias variando de 4,93 a 24,6 (Tabela 3). O teste de médias de Scott-Knott organizou os acessos em oito grupos estatisticamente distintos. Destacam-se os acessos extremos: PU010, com a maior média (24,65 cloroplastos/célula-guarda), e PU001, com a menor média (4,93).

Tabela 2 – Variação no número de cloroplastos por célula-guarda do aparelho estomatal dos acessos analisados do gênero *Portulaca* spp.

Acessos	Espécie	Média de Cloroplastos
PG001	<i>P.grandiflora</i>	7,22 g
PG002	<i>P.grandiflora</i>	12,27 d
PU001	<i>P.umbraticola</i>	4,93 h
PU002	<i>P.umbraticola</i>	19,8 b
PU004	<i>P.umbraticola</i>	16,68 c
PU006	<i>P.umbraticola</i>	13,71 d
PU007	<i>P.umbraticola</i>	17,6 c
PU008	<i>P.umbraticola</i>	16,42 c
PU009	<i>P.umbraticola</i>	9,03 f
PU010	<i>P.umbraticola</i>	24,65 a
PO002	<i>P.oleracea</i>	20,3 b
PO020	<i>P.oleracea</i>	15,24 c
PP001	<i>P.pilosa</i>	10,8 e
PA001	<i>P.amilis</i>	9,35 f

PW001	<i>P.wendemannii</i>	17,53 c
Fonte: Elaboração própria, 2025		

A análise dos parâmetros genéticos (Tabela 4) revelou que a variância fenotípica (29,48%) foi majoritariamente composta pela variância genotípica (29,06%). A herdabilidade no sentido amplo foi estimada em 98,57%, considerada elevada. Outros parâmetros genéticos calculados incluem o coeficiente de variação genético (37,51%) e a correlação intraclasse (93,20%).

Tabela 3 – Parâmetros genéticos relacionados ao caráter número de cloroplastos por célula-guarda de acessos de *Portulaca* spp.

Parâmetros Genéticos	Porcentagem (%)
Variância fenotípica	29,48
Variância ambiental	0,42
Variância genotípica	29,06
Herdabilidade	98,57

Fonte: Elaboração própria, 2025

O agrupamento de Tocher, com base na distância generalizada de Mahalanobis (Tabela 5 e 6), classificou os acessos em quatro grupos geneticamente distintos (Tabela 5). No grupo I foram incluídos 8 acessos, enquanto o grupo II foi constituído por 5 acessos e os grupos III e IV, apenas um acesso cada. A distância máxima registrada foi de 183,61, entre os acessos PU001 (Grupo 3) e PU010 (Grupo 4), enquanto a menor distância (0,002) foi observada entre PU004 e PU007.

Tabela 4 – Matriz de Distância Geranilizada de Mihalonobis em cloroplastos de espécies de *Portulaca* spp

	PW001	PU010	PA001	PU001	PU002	PU007	PU008	PO002	PU006	PG001	PG002	PP001	PU009	PU004	PO020
PW001	0	29,95	16,35	65,25	4,57	0,33	6,15	0,039	4,19	42,26	9,2	27,68	25,37	0,39	0,98
PU010		0	90,56	183,61	11,12	23,94	8,95	32,13	56,55	143,36	72,34	115,2	110,44	23,48	41,78
PA001			0	16,27	38,21	21,38	42,57	14,93	3,98	6,04	1,02	1,48	0,99	21,81	9,31
PU001				0	104,35	74,95	111,49	62,12	36,36	2,49	25,45	7,94	9,25	75,77	50,21
PU002					0	2,42	0,11	5,45	17,52	74,62	26,73	54,73	51,47	2,28	9,79
PU007						0	3,61	0,6	6,9	50,14	13,05	34,11	31,55	0,002	2,47
PU008							0	7,17	20,91	80,67	30,4	50,93	56,51	3,44	15,06
PO002								0	3,43	39,75	8,04	25,65	23,43	0,68	0,63
PU006									0	19,83	0,97	10,32	8,93	7,15	1,11
PG001										0	12,03	1,54	2,14	50,8	30,35
PG002											0	4,96	4,01	13,39	4,17
PP001												0	0,5	34,66	18,22
PU009													0	32,07	16,36
PU004														0	2,62
PO020															0

Fonte: Elaboração própria, 2025

Tabela 5 – Agrupamento Tocher dos acessos de *Portulaca* spp., com base na distância generalizada de Mahalanobis.

Grupo	Acessos	Média de Cloroplastos	Máximo	Mínimo
1	PU007, PU004, PW01, PO002, PO020, PU006, PU002, PU008	17,16	13,71	20,3
2	PP001, PU009, PA001, PG001, PG002	9,74	7,22	12,27
3	PU001	4,93	4,93	4,93
4	PU010	24,65	24,65	24,65

Fonte: Elaboração própria, 2025

4 DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que a contagem de cloroplastos em células-guarda constitui um método eficiente para inferência indireta de níveis de ploidia em *Portulaca* spp. A ampla variabilidade observada, 4,93 a 24,65 cloroplastos por célula guarda, são evidências de diferentes níveis de ploidia entre os acessos de *Portulaca* avaliados neste estudo, desde prováveis diplóides até hexaplóides (Souza *et al.*, 2024). Estes achados corroboram estudos recentes que validam a eficácia desta metodologia para triagem inicial de ploidia em plantas (Mohammadi *et al.*, 2023; Odumade, 2024; Sales *et al.*, 2025).

A correlação positiva entre o nível de ploidia e o número de cloroplastos nas células-guarda é um fenômeno bem estabelecido, observado de forma consistente em diversas famílias botânicas (De Jesus Silva, 2022). Esta correlação direta segue um padrão aditivo, como claramente demonstrado em *Capsicum annuum*, onde o número de cloroplastos em plantas diploides (cerca de 18,7) foi aproximadamente o dobro do observado em plantas haploides (cerca de 9,9) (Qin e Rotino, 1995; Comlekcioglu *et al.*, 2010, Ondume, 2024; Sales, 2025). Da mesma forma, em *Zea mays*, plantas tetraploides exibiram aproximadamente o dobro de cloroplastos que as diploides (Ho *et al.*, 1990), um padrão também verificado em espécies como *Brassica oleracea* (Yuan *et al.*, 2009) e maracujazeiro-azedo (Rêgo *et al.*, 2011).

O acesso PU009, com média de 9,03 cloroplastos por célula-guarda, apresenta aproximadamente o dobro do diploide PU001 (4,93), sugerindo ser um tetraploide. Já o acesso PU010, com a média máxima registrada de 24,65 cloroplastos, representa um provável hexaplóide, o que precisa ser melhor investigado. A notável variação intraespecífica no número de cloroplastos/célula-guarda observada em *P. umbraticola* (4,93 a 24,6 cloroplastos), é um reflexo direto da conhecida variabilidade cromossômica natural reportada para o gênero, que inclui citótipos diplóides ($2n=18$), tetraplóides ($2n=36$) e hexaplóides ($2n=54$) (Souza *et al.*, 2024; Coelho e Giulietti, 2010).

Em *Portulaca* a variação observada no número de cloroplastos seguiu este mesmo princípio aditivo. Este aumento no conteúdo de cloroplastos está frequentemente associado a uma maior capacidade fotossintética por célula em poliploides, conforme a correlação positiva entre a quantidade de DNA, a taxa fotossintética e o número de cloroplastos (Warner e Edwards, 1993). Dessa forma, os acessos de *Portulaca* com maior número de cloroplastos não apenas indicam níveis de ploidia mais elevados, mas também sugerem adaptações fisiológicas.

A relação entre o crescimento e a biogênese dos cloroplastos possui uma base molecular que se associa à expressão de genes nucleares, cuja dosagem aumenta com a elevação do nível de ploidia, resultando em uma maior produção de proteínas essenciais para o desenvolvimento das organelas. Consequentemente, acessos possivelmente poliploides, tais como, PU002 e PU010 (*P. umbraticola*, 19,8 e 24,65 cloroplastos/célula-guarda respectivamente), PO002 (*P. oleracea*, 20,3 cloroplastos/célula-guarda), e PW001 (*P. wendemannii*, 17,53 cloroplastos/célula-guarda), exibiram numerosos cloroplastos, um fenômeno que está consistentemente associado ao "efeito gigas" da poliploidia, no qual o aumento do conteúdo genômico induz a expansão celular e a consequente ampliação da capacidade de biogênese de organelas. Em contraste, acessos identificados como possíveis diploides, como, PG001(4,93 cloroplastos/célula-guarda), PU001(9,35 cloroplastos/célula-guarda) e PA001(7,22 cloroplastos/célula-guarda), apresentaram significativamente menor número de cloroplastos por célula guarda (Dubreuil *et al.*, 2017; Ghanavati *et al.*, 2004; Fan *et al.*, 2025; Rezende *et al.*, 2025).

A eficiência de um programa de melhoramento genético depende diretamente do controle genético exercido sobre o caráter de interesse, o qual é quantificado pela herdabilidade (Gomes, 2021). As estimativas da herdabilidade em sentido amplo (98,57%) e do coeficiente de variação genético (37,51%), considerados elevados, demonstra que o caráter "número de cloroplastos por célula-guarda", está sob forte controle genético, o que confere alta eficiência à seleção em programas de melhoramento, pois indica que o ganho genético obtido pela seleção de acessos superiores (PU010, com 24,65 cloroplastos) será mantido nas gerações futuras (Rocha *et al.*, 2009).

Por outro lado, a acentuada divergência genética entre acessos, evidenciada na matriz de distância generalizada de Mahalanobis, são evidências da possibilidade de se produzir combinações híbridas superiores. O valor máximo de 183,61, registrado entre os acessos PU001 (Grupo 3) e PU010 (Grupo 4), destaca um potencial para cruzamentos intraespecíficos, favorecendo a exploração do vigor híbrido e a recombinação de características desejáveis, em relação ao caráter analisado, número de cloroplastos.

Outros pares com distâncias significativas, como PU001 e PU002 (104,35), PU001 e PU008 (111,49), e PU010 e PU009 (110,44), reforçam a existência de ampla variabilidade genética dentro da própria espécie a ser explorada. Da mesma forma, distâncias expressivas entre acessos de espécies distintas, como os 143,36 entre PG001 (Grupo 2) e PU010 (Grupo 4)

e 115,2 entre PU010 e PP001 (Grupo 2), revelam a diversidade genética entre grupos que pode ser canalizado para a produção de híbridos interespecíficos.

Cruzamentos entre genótipos de grupos distintos, sejam inter ou intraespecíficos, potencializam a obtenção de plantas com maior vigor, resistência a estresses e valor ornamental, características frequentemente associadas a níveis mais elevados de ploidia (Ansari, 2022; Ferrari, 2022; Rodríguez Bautista *et al.*, 2018).

5 CONCLUSÃO

A contagem do número de cloroplastos por célula-guarda dos cloroplastos em *Portulaca* permitiu classificar os 15 acessos das 6 espécies de beldroega em 4 grupos distintos. Há uma associação entre o número de cloroplastos e o nível de ploidia dos acessos analisados, sendo PU010 com maior número de cloroplastos por célula-guarda (24,65) e enquanto o acesso PU001 tem o menor número (4,93). O caráter número de cloroplastos por célula-guarda está sob controle genético com herdabilidade de 98,57%.

Dessa forma, a técnica de contagem de cloroplastos constitui uma ferramenta valiosa para a triagem inicial de ploidia, orientando cruzamentos estratégicos e auxiliando no desenvolvimento de cultivares de *Portulaca* spp. com características desejáveis de vigor, resistência e valor ornamental.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, L. N. *et al.* Correlación entre la ploidía y el número de cloroplastos en células estomáticas en *Physalis peruviana* L. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 12, n. 2, p. 141–147, 2010.
- ANSARI, E. *et al.* Indução de poliploidia e determinação do nível de ploidia em espécies diploides anuais e perenes de *Medicago* usando a enumeração de cloroplastos de células-guarda estomáticas. **Citologia e Genética**, v. 56, n. 2, p. 164-171, 2022.
- BARROS, J. O. **Caracterização citogenética, comportamento meiótico e viabilidade polínica de plantas triploides de *Passiflora foetida* L.** 2021. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- BEGNA, T. Genetic Consequence of Polyploidy in Plant Breeding. **International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)**, v. 10, n. 2, p. 24-34, 2024.
- COELHO, A. A. O. P.; GIULIETTI, A. M. O gênero *Portulaca* L. (Portulacaceae) no Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 24, n. 3, p. 655-670, 2010.
- COELHO, A. A. O. P.; GIULIETTI, A. M. **Revisão Taxonômica das *Portulaca* L. (Portulacaceae) no Brasil.** Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2006.
- COMLEKCIOLU, N.; GÜREL, A.; ERTAN, A. Determination of stomatal characteristics and chloroplast number in haploid and diploid pepper and eggplant plants. **Electronic Journal of Biotechnology**, [S.l.], 2010.
- DUBREUIL, C. *et al.* Establishment of Photosynthesis through Chloroplast Development Is Controlled by Two Distinct Regulatory Phases. **Plant Physiology**, v. 176, p. 1199-1214, 2017.
- EVANS, J. R. Melhorando a fotossíntese. **Fisiologia Vegetal**, 2013.
- FAN, Z. *et al.* Genomas comparativos de cloroplastos e análises filogenéticas trazem novos insights sobre a filoevolução de diferentes ploidias em *Camellia reticulata*. **BMC Plant Biology**, v. 25, n. 1, p. 321, 2025.
- FERRAI, R. **Potencial ornamental de espécies de *Portulaca*: anatomia e fisiologia da tolerância ao déficit hídrico.** 2021. Tese (Doutorado em Horticultura) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.
- FERRARI, R. C. *et al.* Uma questão de tempo: eventos regulatórios por trás da sincronização do metabolismo do ácido C4 e das crassuláceas em *Portulaca oleracea*. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 14, p. 4867-4885, 2022.
- GHANAVATI, F.; MOZAFARI, J.; MAASSOUMI, A. A. **A Relação entre o nível de ploidia e o número de cloroplastos em células-guarda estomáticas de *Medicago* sp.** 2004.
- GUO, J.; JIANG, J.; LI, Y. Characteristics of chloroplasts and stomatal guard cells in haploid and diploid plants of *Arabidopsis thaliana*. **Cytologia**, v. 88, n. 1, p. 1–6, 2023.

- HO, K.; KERMICLE, J. L.; NEUFFER, M. G. The use of stomatal chloroplast number for rapid determination of ploidy level in maize. **Plant Breeding**, v. 105, n. 3, p. 203–210, 1990.
- JESUS SILVA, C. M. *et al.* INDUÇÃO DE POLIPLOIDIA EM GENÓTIPOS DE MELANCIA COM RESISTÊNCIA AO OÍDIO (*Podosphaera xanthii*). **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 505-513, 2022.
- MATTHEWS, JAMES F.; LEVINS, PATRICIA A. *Portulaca pilosa L.*, *P. mundula* IM Johnst. and *P. parvula* Gray in the southwest. **SIDA CONTRIBUTIONS TO BOTANY**, p. 45-61, 1985.
- MADANI, H *et al.* Effect of polyploidy induction on natural metabolite production in medicinal plants. **Biomolecules**, v. 11, n. 6, p. 899, 2021.
- MOHAMMADI, V. *et al.* The effect of induced polyploidy on phytochemistry, cellular organelles and the expression of genes involved in thymol and carvacrol biosynthetic pathway in thyme (*Thymus vulgaris*). **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1228844, 15 set. 2023.
- NEVES, E. G. **Caracterização morfológica de beldroega (*Portulaca* spp.)**. 2022.
- NING, G. G. *et al.* Development of a range of polyploid lines in *Petunia hybrida* and the relationship of ploidy with the single-/double-flower trait. **HORTSCIENCE**, v. 44, n. 2, p. 250–255, 2009.
- OBUKOHWO, O. M. Nutraceutical health benefit and safety utility of *Portulaca oleracea*: A review focus on neuroendocrine function. **Clinical Traditional Medicine and Pharmacology**, v. 5, n. 3, p. 200168, 2024.
- PAREDES, T. M.; VILORIA, M. **Morphological characteristics and aloin production in polyploid plants of *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Asphodelaceae)**. 2020.
- PARIDA, Bibhu P. *et al.* Is a plant's ploidy status reflected in its metabolome. **Journal of Postdoctoral Research**, v. 1, n. 11, 2015.
- QIN, R. Y.; ROTINO, G. L. Chloroplast number in guard cells as ploidy indicator of *in vitro*-grown androgenic pepper plantlets. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 43, p. 191–196, 1995.
- RANNEY, T.G. Polyploidy: From evolution to new plant development. **Combined proceeding International Plant Propagators Society**, v. 56, p. 137–142, 2006.
- RÊGO, M. D. *et al.* *In vitro* induction of autotetraploids from diploid yellow passion fruit mediated by colchicine and oryzalin. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 107, n. 3, p. 451-459, 2011.
- REZENDE, L. *et al.* Can plant hybridization and polyploidy lead to pollinator shift?. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, p. 229-242, 2020.

RODRÍGUEZ BAUTISTA, G. *et al.* Poliploidía en zarzamoras silvestres (*Rubus* spp L.). **Nova Scientia**, v. 10, n. 21, p. 1-16, 2018.

SALES, W. S. *et al.* Orizalin-induced polyploidy in *Capsicum annuum* L.: stress-responsive proteins and breeding potential. **Brazilian Journal of Biology**, v. 85, e294803, 2025.

SANTOS, A. R. F. *et al.* **Caracterização Citogenética e Morfológica de Espécies de *Portulaca* (Portulacaceae) como Subsídio para Programas de Melhoramento Genético.** Relatório Técnico, 2022.

SORIANO, L. **Hibridação somática visando à produção de genitores tetraplóides para o melhoramento de cultivares copa de citros.** 2011. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SOUZA, J. S. *et al.* Molecular markers and cytogenetics of Eleven O’Clock *Portulaca umbraticola*: a non-conventional edible ornamental crop. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 84, e285332, 2022.

SOUZA, K. N. **Haploidização em meloeiro por meio de cultivo *in vitro* de anteras e micrósporos e de cruzamentos interespecíficos.** 2024.

WANG, X. *et al.* Duplicações genéticas facilitam a compatibilidade C4-CAM em beldroegas. **Fisiologia Vegetal**, 2023.

WARNER, D. A.; EDWARDS, G. E. Effects of polyploidy on photosynthesis. **Photosynthesis Research**, v. 35, n. 2, p. 135-147, 1993.

YUAN, S. *et al.* Study on the relationship between the ploidy level of microspore-derived plants and the number of chloroplasts in stomatal guard cells in *Brassica oleracea*. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 8, p. 939-946, 2009.