



## Estimates of genetic gains in the carrot using different selection indices

### *Estimativas de ganhos genéticos em cenoura utilizando diferentes índices de seleção*

Aginaldo Donizete Ferreira de Carvalho<sup>1</sup>, Gabriel Emiliano Pereira<sup>2</sup>, Giovani Olegário da Silva<sup>3</sup>,

**Abstract:** The carrot is one of the most important and preferred vegetables in Brazil due to its versatility and nutritional significance, especially as a source of vitamins. The selection of carrot genotypes should consider several agronomically important characteristics to allow more suitable and balanced gains. The aim of the present study was to estimate genetic gains in the carrot using different selection indices. Thirty-six carrot genotypes were evaluated in two experiments, the first conducted between 16 November 2017 and 1 March 2018, and the second between 5 March and 18 June 2018 in, Brasília. In both trials, the experimental design was of randomised blocks with three replications. The plots were sown directly onto the seedbed, which had a total working area of 1.8 m<sup>2</sup>. The incidence of leaf blight was evaluated 78 to 98 days after sowing, at intervals of seven days, giving a total of four evaluations. The harvest was carried out at 105 days when the characteristics of the yield components were measured. An analysis of variance was applied, together with five selection indices: direct selection, classic, desired gain, weight- and parameter-free, and genotype-ideotype. There were differences between genotypes for most of the characteristics under evaluation. The genotype-ideotype index afforded the greatest gains for the characteristics being evaluated, with an economic weight equal to the coefficients of genetic variation; however other indices were also efficient and offered balanced gains, with the exception of the desired-gain index.

**Key words:** *Daucus carota* L. Heritability. Genetic breeding.

**Resumo:** No Brasil, a cenoura é uma das hortaliças mais importantes por sua preferência, versatilidade e importância nutricional, principalmente como fonte de vitaminas. A seleção de genótipos de cenoura deve levar em consideração várias características de importância agrônoma para permitir ganhos mais adequados e equilibrados. Assim, objetivou-se estimar os ganhos genéticos por diferentes índices de seleção em cenoura. Trinta e seis genótipos de cenoura foram avaliados em dois experimentos, sendo o primeiro conduzido entre 16 de novembro de 2017 e 01 de março de 2018, e o segundo entre 05 de março e 18 de junho de 2018, em Brasília-DF. O delineamento experimental nos dois ensaios foi de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram semeadas diretamente sobre o canteiro, com área total útil de 1,8 m<sup>2</sup>. Foi avaliada a incidência da queima das folhas de 78 aos 98 dias após a semeadura, com intervalos de sete dias, totalizando quatro avaliações. A colheita foi realizada aos 105 dias, mensurando os caracteres componentes de rendimento. A análise de variância e cinco métodos de índices de seleção foram aplicados: seleção direta, índice clássico, ganhos desejados, livre de pesos e parâmetros e genótipo/ideótipo. Houve diferenças entre genótipos para a maioria dos caracteres avaliados. O índice de seleção que proporcionou maiores ganhos para o conjunto de caracteres avaliados foi o índice genótipo/ideótipo com peso econômico igual aos coeficientes de variação genéticos, contudo outros índices também foram eficientes por proporcionar ganhos equilibrados, exceto o índice dos ganhos desejados.

**Palavras-chave:** *Daucus carota* L. Herdabilidade. Melhoramento genético.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 28/09/2021, approved on 08/02/2022 and published on 12/03/2022

<sup>1</sup>Doutor, Embrapa Hortaliças Rodovia BR-060, Km 09 (Brasília/Anápolis), Fazenda Tamanduá Caixa Postal: 218 CEP: 70275-970 - Brasília/DF. E-mail: [agnaldo.carvalho@embrapa.br](mailto:agnaldo.carvalho@embrapa.br)

<sup>2</sup>Mestre. E-mail: [gb.emiliano28@gmail.com](mailto:gb.emiliano28@gmail.com)

<sup>3</sup>Doutor. E-mail: [giovani.olegario@embrapa.br](mailto:giovani.olegario@embrapa.br)

## INTRODUCTION

The carrot is one of the five main vegetable crops grown in Brazil, with a production of 725,000 t per year (IBGE, 2017). Much of this importance is due to the work in genetic breeding that has allowed enhanced carrot cultivars to be planted all year round in almost all regions of the country. As an example, the Brasília cultivar, released in 1981 by Embrapa Vegetables in partnership with Esalq/USP, has had the greatest impact in Brazil (CARVALHO; SILVA, 2017).

The carrot breeding collection of the Embrapa genetic breeding program includes variability that can be exploited when releasing new free-pollinated cultivars or lines for obtaining hybrids. Carrot breeding programs generally prioritise characteristics such as yield and root quality, in addition to resistance to disease (CARVALHO *et al.*, 2016). However, simultaneous selection for these characteristics, with a view to adequate and balanced gains, is a challenge for breeding programs, since most are of quantitative inheritance and may even be correlated, implying the possibility of selection for a certain characteristic changing expression of the others.

The use of tools, such as selection indices that allow simultaneous selection for several characteristics of economic importance, increases the chances of success in breeding programs (CRUZ *et al.*, 2012). The use of such indices makes it possible to combine multiple information within the experimental unit, allowing selection based on a set of characteristics that group together several attributes of importance, also considering correlations with unfavourable effects that may have a genetic or pleiotropic connection (KLUYVER *et al.*, 2017).

Selection indices allow a single value to be used when selecting genotypes, employing linear combinations of the various phenotypic characteristics under selection, and estimating weighting coefficients to maximise the correlation between the index and actual genetic values (CRUZ *et al.*, 2012). The aim is to obtain aggregated values of greater reliability, to ensure an improvement in the population genotypic value and, consequently, success in the selection process.

## INTRODUÇÃO

A cenoura é uma das cinco principais espécies olerícolas cultivadas no Brasil com produção de 725 mil t por ano (IBGE, 2017). Grande parte dessa importância se deve aos trabalhos de melhoramento genético que permitiram que cultivares melhoradas de cenoura pudessem ser plantadas o ano todo em quase todas as regiões do território brasileiro. A exemplo disso, a cultivar de cenoura Brasília teve maior impacto no Brasil, lançada em 1981 pela Embrapa Hortaliças em parceria com a Esalq/USP (CARVALHO; SILVA, 2017).

A coleção de trabalho de cenoura do programa de melhoramento genético da Embrapa dispõe de uma variabilidade que pode ser explorada visando o lançamento de novas cultivares de polinização livre ou de linhagens para a obtenção de híbridos. Normalmente, em programas de melhoramento genético de cenoura as características priorizadas são: rendimento e qualidade de raiz, além da resistência a doenças (CARVALHO *et al.*, 2016). Contudo, a seleção simultânea para essas características, visando ganhos adequados e equilibrados, é um desafio para os programas de melhoramento genético, em razão da maioria serem de herança quantitativa, podendo ainda estar correlacionadas, o que implica na possibilidade da seleção em determinada característica, alterar a expressão em outras.

O uso de ferramentas que permita a seleção simultânea para várias características de importância econômica, tais como os índices de seleção, aumenta as chances de sucesso em programas de melhoramento (CRUZ *et al.*, 2012). A utilização desses índices possibilita combinar as múltiplas informações dentro da unidade experimental, permitindo a seleção com base em um conjunto de caracteres que agrupem vários atributos de importância, considerando também as correlações com efeito desfavorável que existam por ligações genéticas ou pleiotrópicas (KLUYVER *et al.*, 2017).

Os índices de seleção permitem a utilização de um valor único para fazer a seleção dos genótipos, empregando em combinações lineares dos vários caracteres fenotípicos sob seleção e os coeficientes de ponderação que são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e os valores genéticos reais (CRUZ *et al.*, 2012). Assim, a finalidade é obter valores agregados de maior confiabilidade, para garantir melhoria do valor genotípico populacional e, o consequente, sucesso no processo de seleção.

There are two groups of selection indices used in plant breeding: parametric and non-parametric. Parametric indices are used in breeding programs when the intention is to increase the population genotypic value by the use of recurrent selection for example, whereas non-parametric indices are used to identify the best genotype for the set of characteristics under evaluation and release a new cultivar (DALBOSCO *et al.*, 2018).

In the carrot, comparing between direct selection and selection by means of the Pesek-Backer, Smith-Hazel and Williams parametric indices for progeny selected under an organic production system, Silva *et al.* (2009) found that the basic, and weight- and parameter-free indices gave the best estimates of the selection gains. On the other hand, using the non-parametric shortest genotype-ideotype distance index in choosing genotypes to be released as carrot cultivars, Carvalho *et al.* (2017) found that more-correct decisions concerning choice of the best cultivar could be made by estimating the shortest distance to the ideotype. Carvalho *et al.* (2019), by means of direct selection for commercial root weight, estimated selection gains in several other production component characteristics in addition to resistance to leaf blight, and found it was possible to obtain population gains without the use of indices. In this context, the aim of the present study was to estimate genetic gains in the carrot using different selection indices.

## MATERIAL AND METHODS

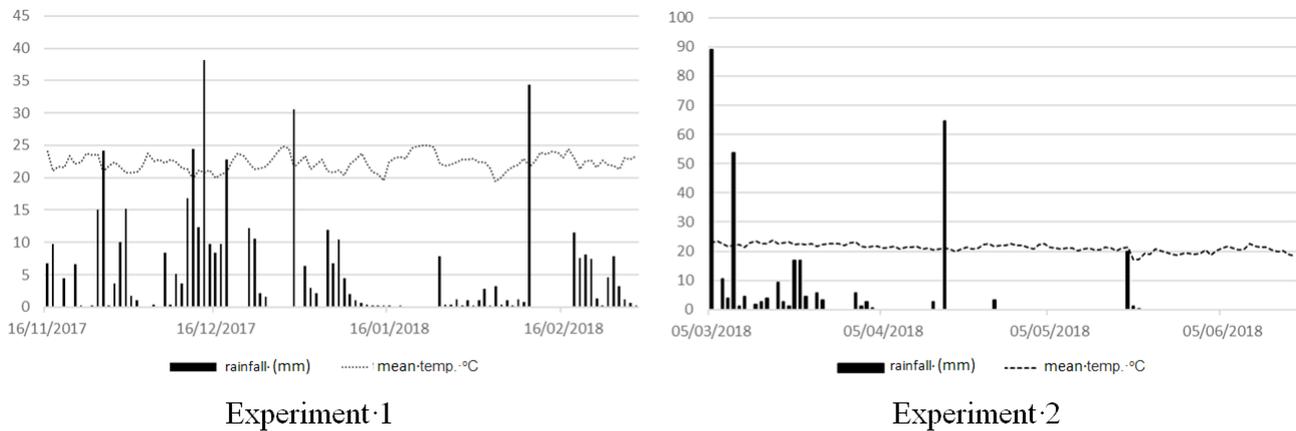
The experiments were sown during two growing seasons, the first on 16 November 2017 and harvested on 1 March 2018 (17/18 harvest), and the second sown on 5 March and harvested on 18 June (18/18 harvest) in the experimental area of Embrapa Vegetables (first experiment: 15°55'47.6" S, 48°08'27.5" W, altitude 998 m; and the second experiment: 15°55'48.8" S, 48°08'27.5" W, altitude 1000 m). The precipitation and average temperature for the period of conducting the experiments are described in Figure 1.

Há dois grupos de índices de seleção utilizados no melhoramento de plantas: os paramétricos e os não paramétricos. Os paramétricos são utilizados quando se pretende o aumento de um valor genotípico populacional em programas de melhoramento, empregando seleção recorrente, por exemplo. Já os não paramétricos são utilizados quando se quer identificar o melhor genótipo para um conjunto de características avaliadas e lançar uma cultivar (DALBOSCO *et al.*, 2018).

Em cenoura, na comparação entre seleção direta *versus* seleção por meio de índices paramétricos de Pesek-Backer, Smith-Hazel e Williams em progênies selecionadas em sistema orgânico de produção, Silva *et al.* (2009) verificaram que os índices base e livre de pesos e parâmetros foram os que proporcionaram melhores estimativas de ganhos com a seleção. Por outro lado, na utilização do índice não paramétrico da menor distância genótipo-ideótipo na escolha de genótipos para serem lançados como cultivares de cenoura, Carvalho *et al.* (2017) verificaram que decisões mais corretas sobre a escolha da melhor cultivar se daria pela utilização do estimador da menor distância ao ideótipo. Já Carvalho *et al.* (2019), por meio da seleção direta no caráter massa de raízes comerciais, estimaram ganhos de seleção em vários outros caracteres componentes de produção, além da resistência à queima das folhas, e verificaram que a possibilidade de obter ganhos populacionais sem a utilização de índices. Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho estimar os ganhos genéticos em cenoura por diferentes índices de seleção.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram semeados em duas épocas de cultivo, o primeiro semeado em 16 de novembro de 2017 e colhido em 01 de março de 2018 (safra 17/18), e o segundo experimento semeado em 05 de março e colhido em 18 de junho (safra 18/18) em área de campo experimental da Embrapa Hortaliças (primeiro experimento: 15°55'47.6" S, 48°08'27.5" W; altitude 998 m; e segundo experimento: 15°55'48.8" S, 48°08'27.5" W; altitude 1000 m). A precipitação e a temperatura média para o período de condução dos experimentos estão descritas na Figura 1.



**Figure 1** - Rainfall (mm) and mean temperature (°C) during the experiments with the carrot conducted in the Federal District between November 2017 and June 2018.

Source: INMET (2019).

**Figura 1** - Precipitação (mm) e temperaturas médias (°C) nos períodos de condução dos experimentos de cenoura conduzidos no Distrito Federal entre novembro de 2017 a junho de 2018.

Fonte: INMET (2019).

According to Köppen Geiger, the climate in the region is type Aw, tropical with a dry season during the winter. The soil in the experimental area is a dystrophic Red Latosol with a clayey texture. Chemical analysis of soil samples collected in the 0-20 cm layer gave the following results: pH = 5.8; organic matter = 27.3, P = 7.1, K = 161, Na = 15 ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Ca = 2.2, Mg = 0.3, Al = 0.1 and H + Al = 5.8 ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ). Liming, 4 t  $\text{ha}^{-1}$  85% TRNP, was carried out two months before setting up the first experiment. Soil preparation was conventional and included deep ploughing to incorporate the limestone. A light harrow was used before planting and the seedbeds were raised using a bedsnaper, resulting in beds 1 m wide and 0.30 m high.

Fertilisation and the other cropping treatments were the same in both experiments. A dose of 2,100 kg  $\text{ha}^{-1}$  04-14-08 fertiliser (NPK) was used, as per the recommendation of Trani *et al.* (1999) for the carrot. The fertiliser was applied manually over the seedbed and incorporated by a second pass of the bedsnaper. Thirty-six carrot genotypes from the working collection of Embrapa Vegetables in Brasília were evaluated in the study, including 22 open-pollination populations, three inbred lines, six commercial cultivars as controls (Alvorada, Suprema, Brasília, Carandaí, BRS Planalto and HX4098), and five experimental hybrids developed by Embrapa Vegetables.

O clima da região é do tipo Aw, Clima Tropical com estação seca no inverno, de acordo com Köppen Geiger. O solo da área experimental é o Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa. A análise química do solo, de amostras coletadas na camada 0-20 cm, mostrou os seguintes resultados: pH = 5,8; matéria orgânica = 27,3; P = 7,1; K = 161; Na = 15 ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Ca = 2,2; Mg = 0,3; Al = 0,1 e H + Al = 5,8 ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ). A calagem, 4 t  $\text{ha}^{-1}$ , 85% de PRNT, foi feita dois meses antes da implantação do primeiro experimento. O Preparo do solo foi o convencional com aração profunda, para incorporação do calcário. Antes do plantio, foi realizada a gradagem com grade leve seguida de levantamento dos canteiros com rotoencanteirador, com canteiros de 1 m de largura e 0,30 m de altura.

A adubação e demais tratos culturais nos dois experimentos foram os mesmos nos dois experimentos. Utilizou-se a dosagem de 2.100 kg  $\text{ha}^{-1}$  do adubo 04-14-08 (NPK), seguindo a recomendação de Trani *et al.* (1999) para a cultura da cenoura. A aplicação foi realizada manualmente em cima dos canteiros com incorporação pela segunda passagem de rotoencanteirador sobre os canteiros. Para o estudo foram avaliados 36 genótipos de cenoura da coleção de trabalho da Embrapa Hortaliças, Brasília-DF, sendo 22 populações de polinização aberta, três linhagens endogâmicas, seis cultivares comerciais como testemunhas (Alvorada, Suprema, Brasília, Carandaí, BRS Planalto e HX4098) e cinco híbridos experimentais desenvolvidos pela Embrapa Hortaliças.

The experimental design in both trials was of randomised blocks with three replications. The plots consisted of one seedbed, 1.8 m long by 1.0 m wide, with a total working area of 1.8 m<sup>2</sup>. Manual sowing was carried out transversely to the seedbed in double rows at a spacing of 20 cm between the double rows and 10 cm between the single rows, in furrows 1 cm deep. Thinning was carried out 27 days after sowing (DAS) in the first crop (17/18) and 31 DAS in the second crop (18/18), leaving a spacing between plants of 5 cm. A topdressing of ammonium sulphate (N=21%) was then applied at a dose of 400 kg ha<sup>-1</sup> (TRANI *et al.*, 1999).

Weeds were controlled with a dose of 1.5 L ha<sup>-1</sup> Linuron commercial herbicide four days after sowing (CORREIA; CARVALHO, 2017). During the development phase, weed control was performed manually. No product was applied to control fungal or bacterial diseases so that the different genotypes under evaluation could express as far as possible their potential for resistance to leaf blight. The remaining cropping practices followed the recommendations for cultivating summer carrots under the conditions of the Savannah region of Brazil, as per Fontes and Nick (2019). Irrigation, when necessary, was by sprinkler with sufficient water depth to keep the soil at field capacity via a 30 kPa reading of the Irrigas<sup>®</sup> system.

At 77, 84, 91 and 98 DAS, the incidence of leaf blight was evaluated using a rating scale adapted from Gaube *et al.* (2004), of from 1 to 5 for each plot, where 1 = more than 90.0% severity, 2 = from 50.0% to 90.0% severity, 3 = from 12.5% to 49.0% severity, 4 = from 3.8% to 12.4% severity, and 5 = less than 3.8% severity. The scores allocated to the plots regarding the incidence of leaf blight were converted into percentages. For the purposes of an aggregate analysis, the four evaluations were used to calculate the area under the disease progress curve (AUDPC), described by Shaner and Finney (1977), for which the  $AUDPC = \sum_{i=1}^n [(Y_{i+1} + Y_i)/2] [X_{i+1} - X_i]$ , where:  $n$  is the number of evaluations,  $Y$  is the severity of the disease, and  $(X_{i+1} - X_i)$  is the time between two consecutive evaluations.

O delineamento experimental nos dois ensaios foi de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram constituídas de canteiro com 1,8 m de comprimento por 1,0 m de largura, com área total útil de 1,8 m<sup>2</sup>. A semeadura foi realizada utilizando linhas duplas, com espaçamento de 20 cm entre linhas duplas e 10 cm entre linhas simples, em sentido transversal ao canteiro, com semeadura manual em sulcos de 1 cm de profundidade. O desbaste foi realizado 27 dias após semeadura (DAS) no primeiro plantio (17/18) e 31 DAS no segundo plantio (18/18) deixando o espaçamento entre plantas de 5 cm. Em seguida, realizou-se a adubação de cobertura com a dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> com sulfato de amônio (N=21%) (TRANI *et al.*, 1999).

O controle de plantas daninhas foi realizado com a dosagem de 1,5 L ha<sup>-1</sup> do herbicida *Linuron* (produto comercial) quatro dias após a semeadura (CORREIA; CARVALHO, 2017). Na fase de desenvolvimento, o controle das plantas daninhas foi realizado manualmente. Não foi aplicado nenhum produto visando o controle de doenças fúngicas ou bacterianas, de modo que os diferentes genótipos avaliados expressassem ao máximo seu potencial de resistência à queima das folhas. Os demais tratamentos culturais seguiram as recomendações para a cultura da cenoura de verão nas condições do cerrado brasileiro, conforme Fontes e Nick (2019). A irrigação, quando necessária, foi realizada por aspersão com lâmina suficiente para manter o solo na capacidade de campo através de leitura de 30 kPa pelo sistema Irrigas<sup>®</sup>.

Aos 77, 84, 91 e 98 DAS foi avaliada a incidência de queima das folhas aplicando escala de notas, adaptado de Gaube *et al.* (2004), de 1 a 5 para as parcelas, sendo 1 = mais de 90,0% de severidade, 2 = de 50,0 a 90,0% de severidade, 3 = de 12,5 a 49,0% de severidade, 4 = de 3,8 a 12,4% de severidade e 5 = menos de 3,8% de severidade. As notas atribuídas nas parcelas quanto à incidência de queima das folhas foram convertidas em porcentagem. Para efeito de análise agregada, as quatro avaliações foram utilizadas para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), descrita por Shaner e Finney (1977), no qual a  $AACPD = \sum_{i=1}^n [(Y_{i+1} + Y_i)/2] [X_{i+1} - X_i]$  em que:  $n$  é o número de avaliações,  $Y$  é a severidade da doença, e  $(X_{i+1} - X_i)$  é o tempo entre duas avaliações consecutivas.

The harvest was carried out at 105 DAS, when the following variables were measured: rejected root weight (RRW, t ha<sup>-1</sup>), commercial root weight (CRW, t ha<sup>-1</sup>), total root weight (TRW, t ha<sup>-1</sup>), ratio of CRW to TRW (RCT), and number of commercial roots (NCR). In addition, a random sample of 30 roots was taken from the plot to measure the mean root weight (MRW), mean root length (MRL) and mean root diameter (MRD).

To use the selection indices, the economic weights and desired gains were established from the actual experimental data. In estimating genetic progress, the following criteria were used: 1- Direct selection (DS), using CRW as the main characteristic, with the idea of reducing the AUDPC and increasing the other characteristics; 2- Genotype-ideotype index, described by Cruz *et al.* (2012), in which the coefficients of genetic variation of each characteristic were used as economic weight (GIDI-1), with 2,1,2,1,1,1,1 for AUDPC, RRW, CRW, RCT, NCR, MRL, MRD and MRW, respectively (GIDI-2); 3- Classic index (Smith-Hazel), proposed by Smith (1936) and Hazel (1943), using as economic weights the coefficients of genetic variation (CI-1), and 2,1,2,1,1,1,1 for AUDPC, RRW, CRW, RCT, NCR, MRL, MRD and MRW, respectively (CI-2); 4- Indices based on the desired gains (PEŠEK; BAKER, 1969), taking the coefficient of genetic variation as the desired gain for each characteristic, and attributing to each variable, as per the importance of the selection, the main characteristic (AUDPC and CRW) or secondary (remaining) characteristics; and 5- Weight- and parameter-free index (ELSTON, 1963), using values for  $K_i$  equal to the population mean for each characteristic (WPMI).

The data were submitted to the assumptions of analysis of variance (additivity of the model, error normality and homogeneity of variance), for which it was necessary to transform the AUDPC characteristic into  $\sqrt{(x+0.5)}$ . A joint analysis of variance of the experiments was then carried out using the following model:  $Y_{ijk} = m + b_{j(k)} + g_i + a_k + (ga)_{ik} + \varepsilon_{ij(k)}$ , where:  $i = 1, \dots, 36$  genotypes;  $j = 1, \dots, 3$  replications and  $k = 1, 2$  periods. Heritability and the phenotypic and genotypic regression coefficients were estimated as described by Cruz *et al.* (2014). The analysis of variance and estimates of the genetic parameters, and application of the selection indices were done using the Genes VS 2013.5.1 computer software (CRUZ, 2013).

A colheita foi realizada aos 105 DAS sendo mensuradas as seguintes variáveis: massa de raízes refugo (MRR, t ha<sup>-1</sup>), massa de raízes comerciais (MRC, t ha<sup>-1</sup>), massa de raízes total (MRT, t ha<sup>-1</sup>), relação entre MRC sobre MRT (RCT) e número de raízes comerciais (NRC). Além disso, foi tomada uma amostra aleatória de 30 raízes da parcela para mensurar a massa média das raízes (MMR), comprimento médio das raízes (CMR) e diâmetro médio das raízes (DMR).

Para a utilização dos índices de seleção, os pesos econômicos e os ganhos desejados foram estabelecidos a partir dos próprios dados experimentais. Nas estimativas dos progressos genéticos, foram utilizados os seguintes critérios: 1- Seleção direta (DS), utilizando a MRC como caráter principal, no sentido de redução da AACPD e aumento nos demais caracteres; 2- Índice genótipo-ideótipo, descrito por Cruz *et al.* (2012), em que foram utilizados os CVs genéticos de cada caráter como peso econômico (GIDI-1) e 2,1,2,1,1,1,1 para AACPD, MRR, MRC, RCT, NRC, CMR, DMR e MMR, respectivamente (GIDI-2); 3- Índice clássico (Smith - Hazel), proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), utilizando como pesos econômicos os CVs genéticos (IC-1) e 2,1,2,1,1,1,1 para AACPD, MRR, MRC, RCT, NRC, CMR, DMR e MMR, respectivamente (IC-2); 4- Índices baseados nos ganhos desejados (PEŠEK; BAKER, 1969), tomando como ganho desejado para cada característica o coeficiente de variação genético (CVg) e atribuindo a cada variável, conforme o interesse da seleção, a característica de principal (AACPD e MRC) ou secundária (demais caracteres) e 5- Índice livre de pesos e parâmetros (ELSTON, 1963) utilizou-se valores de  $K_i$  iguais a média das populações para cada caráter (ILPP).

Os dados foram submetidos às pressuposições da análise de variância (aditividade do modelo, normalidade dos erros e homogeneidade de variâncias), sendo necessário transformar o caráter AACPD para. Em seguida, realizou-se a análise de variância conjunta dos experimentos por meio do seguinte modelo:  $Y_{ijk} = m + b_{j(k)} + g_i + a_k + (ga)_{ik} + \varepsilon_{ij(k)}$ , em que:  $i = 1, \dots, 36$  genótipos;  $j = 1, \dots, 3$  repetições e  $k = 1, 2$  épocas. As estimativas da herdabilidade e coeficientes de regressão fenotípica e genotípica foram estimadas conforme descrito por Cruz *et al.* (2014). As análises de variância e estimativas dos parâmetros genéticos e a aplicação dos índices de seleção foram realizadas com o aplicativo computacional Genes VS 2013.5.1 (CRUZ, 2013).

## RESULTS AND DISCUSSION

There were significant differences by F-test ( $p \leq 0.01$ ) among the genotypes for all the characteristics under evaluation, with the exception of mean root diameter (MRD) and mean root weight (MRW) (Table 1).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre genótipos, houve diferenças significativas pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ) para todas as características avaliadas, com exceção do diâmetro médio de raízes (DMR) e da massa média de raízes (MMR) (Tabela 1).

**Table 1** - Summary of the analysis of variance and estimates of the genetic parameters in carrot genotypes. Federal District, 2017/18 and 2018/18 harvests

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos em genótipos de cenoura. Distrito Federal, safras 2017/18 e 2018/18

	DF	AUDPC	RRW	CRW	RCT	NCR	MRL	MRD	MRW
Genotypes (G)	35	40.74**	39.93**	160.02**	0.02**	8006.33**	481.36**	10.98 <sup>ns</sup>	988.50 <sup>ns</sup>
Environments (E)	1	13185.25**	724.01 <sup>ns</sup>	249.42 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	355505.17**	10685.59*	4660.51**	273490.65**
GxE	35	32.55**	25.99**	77.90**	0.02**	4248.57**	111.76 <sup>ns</sup>	6.60 <sup>ns</sup>	407.11 <sup>ns</sup>
Residual	140	3.58	12.01	32.31	0.01	1669.66	88.69	9.03	705.54
CV <sub>e</sub>		12.63	24.74	24.95	14.17	23.02	5.46	8.56	18.54
CV <sub>g</sub>		16.60	15.40	20.25	8.69	18.31	4.69	1.62	4.79
CV <sub>g</sub> /CV <sub>e</sub>		1.32	0.62	0.81	0.61	0.80	0.86	0.19	0.26
Mean		14.99	14.01	22.79	0.62	177.52	172.54	35.13	143.30
Heritability (%)		91.21	69.92	79.81	69.31	79.14	81.57	17.61	28.62

AUDPC (%) - area under the disease progress curve, rejected root weight (RRW, t ha<sup>-1</sup>), commercial root weight (CRW, t ha<sup>-1</sup>), ratio of commercial root weight to total root weight (RCT, 0 to 1), number of commercial roots (NCR, x 1000 ha<sup>-1</sup>), mean root length (MRL, cm), mean root diameter (MRD, mm) and mean root weight (MRW, g).

AACPD (%) - área abaixo da curva de progresso da doença, massa de raízes refugo (MRR, t ha<sup>-1</sup>), massa de raízes comerciais (MRC, t ha<sup>-1</sup>), relação entre massa de raízes comerciais sobre massa de raízes totais (RCT, 0 até 1), número de raízes comerciais (NRC, x 1000 ha<sup>-1</sup>), comprimento médio de raízes (CMR, cm), diâmetro médio de raízes (DMR, mm) e massa média de raízes (MMR, g).

In relation to the period of evaluation, there were significant differences ( $p \leq 0.05$ ) for AUDPC, NCR, MRL, MRD and MRW. It would, therefore, appear that the environment had no influence on CRW, RRW or RCT. The fact of the environment not influencing root production can be explained by the proximity of the experimental areas. The Genotype x Environment (GE) interaction was significant ( $p \leq 0.05$ ) for the characteristics AUDPC, RRW, CRW, RCT and NCR, confirming changes in the behaviour of the evaluated genotypes in relation to the time of evaluation, i.e. sowing, either in the spring or summer. The presence of the GE interaction in evaluating carrot genotypes is reported in the literature (CARVALHO *et al.*, 2017; LYON *et al.*, 2020).

The experimental coefficients of variation ranged from 5.46% for MRL to 24.95% for CRW. These values were adequate in relation to the precision of field experiments, for which data from many characteristics were taken. The CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub> ratio was greater than one (1.32) for AUDPC only, which shows it to be favourable for selection (CRUZ *et al.*, 2012).

Em relação às épocas de avaliação, houve diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) para AACPD, NRC, CMR, DMR e MMR. Assim, verifica-se que o ambiente não teve influência na MRC, MRR e em RCT. O fato de o ambiente não ter exercido influência sobre a produção de raízes pode ser explicada pela proximidade entre os locais em que foram conduzidos os ensaios. A interação Genótipo x Ambientes (GA) foi significativa ( $p \leq 0,05$ ) para os caracteres AACPD, MRR, MRC, RCT e NRC, confirmando haver mudanças no comportamento dos genótipos avaliados em relação à época de avaliação, ou seja, semeadura na primavera e semeadura no verão. A presença de interação GA na avaliação de genótipos de cenoura é relatada na literatura (CARVALHO *et al.*, 2017; LYON *et al.*, 2020).

Os coeficientes de variação experimental variaram de 5,46% para CMR a 24,95% para MRC. Esses valores foram adequados em relação à precisão de experimentos de campo em que se tomou dados de muitos caracteres. A relação CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub> superou a unidade (1,32) apenas para o caráter AACPD, o que indica ser favorável à seleção (CRUZ *et al.*, 2012).

The estimates of heritability in the broad sense, at the level of the mean value of a plot, ranged from 17.61% for MRD to 91.21% for AUDPC, establishing CRW as the main characteristic, with a value of 79.81%, considered of high magnitude; moderate to high values for CRW are common in the literature. Silva *et al.* (2014), in a study of 57 half-sister progeny of the carrot under local conditions in the state of Rondônia, found values of the order of 87%, i.e. similar values to those found in this study, despite the experiments being evaluated in different geographic regions. A study by Kumar *et al.* (2020), evaluating carrot cultivars in India, also found high values, ranging from 19.65% to 94.41%, depending on the carrot population under study.

The values for heritability in the broad sense at plot level (79.81%), were higher than those in the study by Carvalho and Silva (2020), who estimated values for heritability of between 57% and 73% in evaluating half-sib families of the carrot. It can, therefore, be inferred that higher estimates of selection gains might be obtained at the population level compared to half-sister families. Although the estimate of heritability values for AUDPC (91.21%) was high, suggesting the monogenic action of this characteristic, studies, such as those by Arbizu *et al.* (2017), show that control of leaf blight in the carrot is of polygenic inheritance.

This apparent contradiction can be explained by the decades of recurrent selection to which populations of the 'Brasília' carrot were submitted for resistance to leaf blight, with alleles for resistance accumulating in the majority of loci; as such there is little possibility of genetic recombination or the emergence of progeny susceptible to leaf blight.

Estimates of the phenotypic and genotypic correlations are shown in Table 2. The absence of a genotypic correlation between AUDPC and RRW, CRW, RCT or NCR is, in principle, an indication that direct selection using AUDPC may not change the mean value of these characteristics, i.e. the selection performed before harvesting the AUDPC experiment would not change selection of the most promising populations in terms of yield characteristics, such as CRW.

Os valores das estimativas da herdabilidade no sentido amplo, em nível de médias de parcela, variaram de 17,61% para DMR a 91,21% para AACPD. Estabelecendo como caráter principal a MRC, com valor de 79,81%, considerado de magnitude elevada. Valores moderados a altos para MRC são comuns na literatura. Silva *et al.* (2014), em estudo de 57 progênes meias-irmãs de cenoura, nas condições locais do estado de Rondônia, observaram valores na ordem de 87%, ou seja, valores semelhantes ao encontrado nesse estudo, embora experimentos avaliados em regiões geográficas distintas. Estudo realizado por Kumar *et al.* (2020), na avaliação de cultivares de cenoura na Índia, também encontraram valores elevados, contudo variando de 19,65 a 94,41%, dependendo das populações de cenoura estudadas.

Os valores para herdabilidade no sentido amplo, ao nível de parcelas (79,81%), foram superiores aos do trabalho de Carvalho e Silva (2020), que estimaram valores para herdabilidade entre 57 e 73% na avaliação de famílias meias-irmãs de cenoura. Assim, infere-se que maiores estimativas de ganhos com a seleção poderiam ser obtidas em nível de populações em comparação com famílias meias-irmãs. Embora a estimativa dos valores de herdabilidade para AACPD (91,21%) tenha sido elevada, sugerindo ação monogênica desse caráter, estudos, como os de Arbizu *et al.* (2017), demonstram que o controle da característica queima das folhas em cenoura é de herança poligênica.

Essa aparente contradição pode ser explicada pelas décadas de seleção recorrente a qual populações de cenoura Brasília foram submetidas para resistência à queima das folhas, com acumulação de alelos para resistência na maioria dos *locus*, assim, havendo pequena possibilidade de recombinações gênicas e o surgimento de progênes suscetíveis à queima das folhas.

As estimativas das correlações fenotípicas e genotípicas estão apresentadas na Tabela 2. A ausência de correlações genotípicas entre AACPD com MRR, MRC, RCT e NRC em princípio é um indicativo de que a seleção direta em AACPD pode não alterar a média para esses caracteres, ou seja, a seleção realizada antes da colheita do experimento para AACPD não alteraria a seleção das populações mais promissoras quanto aos caracteres de rendimento como MRC.

**Table 2** - Estimates of phenotypic correlations - upper diagonal, and genotypic correlations - lower diagonal, in carrot genotypes. Federal District, 2017/18 and 2018/18 harvests

*Tabela 2* - Estimativas de correlações fenotípicas, diagonal superior, e correlações genotípicas, diagonal inferior em genótipos de cenoura. Distrito Federal, safras 2017/18 e 2018/18

	AUDPC	RRW	CRW	RCT	NCR	MRL	MRD	MRW
AUDPC		-0.05	-0.49**	-0.54**	-0.41*	-0.68**	-0.30	-0.63**
RRW	-0.33		0.29	-0.41*	0.21	0.09	-0.23	0.01
CRW	-0.32	1.00**		0.70**	0.95**	0.53**	0.16	0.63**
RCT	-0.77	0.54	0.80		0.70**	0.51**	0.37*	0.61**
NCR	-0.10	0.88+	0.96**	0.81		0.47**	0.09	0.48**
MRL	-1.00**	0.38	0.72**	0.84+	0.67+		0.14	0.67**
MRD	-0.90+	-0.57	0.04	1.00**	-0.04	0.09		0.62**
MRW	-1.00**	0.13	0.85**	1.00**	0.69+	0.73**	0.59	

\*\* , \* : Significant at 1% and 5% probability by t-test, respectively. ++, + : Significant at 1% and 5%, respectively, by the bootstrap method, with 5,000 simulations. AUDPC (%) - area under the disease progress curve, rejected root weight (RRW, t ha<sup>-1</sup>), commercial root weight (CRW, t ha<sup>-1</sup>), ratio of commercial root weight to total root weight (RCT, 0 to 1), number of commercial roots (NCR, x 1000 ha<sup>-1</sup>), mean root length (MRL, cm), mean root diameter (MRD, mm) and mean root weight (MRW, g).

\*\* , \* : Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. ++, + : Significativo a 1 e 5% - respectivamente - pelo método de bootstrap com 5 mil simulações. AACPD (%) - área abaixo da curva de progresso da doença, Massa de raízes refugo (MRR, t ha<sup>-1</sup>), Massa de raízes comerciais (MRC, t ha<sup>-1</sup>), relação entre massa de raízes comercial sobre massa de raízes totais (RCT, 0 até 1), número de raízes comerciais (NRC, x 1000 ha<sup>-1</sup>), comprimento médio de raízes (CMR, cm), diâmetro médio de raízes (DMR, mm) e massa média de raízes (MMR, g).

In turn, CRW and RRW are strongly correlated, which is not necessarily a disadvantage if the proportion of commercial roots to rejected roots is low, and remains low during selection cycles for an increase in CRW. Increasing the value of CRW will also increase the value of NCR, MRL and MRW. Increases in the RCT ratio are dependent on an increase in MRL, MRD and MRW, while MRW is strongly correlated with NCR and MRL.

The negative and medium-magnitude correlation between AUDPC and CRW (-0.49) stands out among the phenotypic correlations, i.e. genotypes with greater susceptibility to leaf blight also tend to be less productive. Negative and medium-intensity phenotypic correlations between CRW and AUDPC are also described in the literature by Pereira *et al.* (2012), showing that genotypes that are more resistant to defoliation from leaf blight are also more productive. Estimates of selection gains were always higher for CRW and NCR irrespective of the index and economic weights adopted compared to the other characteristics under evaluation (Table 3).

Por sua vez, MRC e MRR se correlacionam fortemente, o que não é necessariamente desvantajoso, se a proporção entre raízes comerciais e refugo for baixa e essa proporção baixa se mantiver durante os ciclos seletivos para aumento de MRC. O aumento da magnitude dos valores de MRC também aumentará os valores para NRC, CMR e MMR. Já o aumento da relação RCT é dependente do aumento de CMR, DMR e MMR, enquanto MMR foi fortemente correlacionado com NRC e CMR.

Entre as correlações fenotípicas, destaca-se a correlação negativa e de média magnitude entre AACPD e MRC (-0,49), ou seja, genótipos com maior suscetibilidade à queima das folhas também tendem a ser menos produtivos. Correlações fenotípicas negativas e de média intensidade entre MRC e AACPD também são descritas na literatura por Pereira *et al.* (2012), indicando que genótipos mais resistentes a desfolha pelo ataque da queima das folhas também são mais produtivos. As estimativas de ganhos com a seleção sempre foram maiores para os caracteres MRC e NRC, independente do índice e dos pesos econômicos adotados, se comparados a outros caracteres avaliados (Tabela 3).

**Table 3** - Estimates of the mean values of breeding populations (Xs) and of genetic gains (GS%) from the use of different selection indices in carrot genotypes. Federal District, 2017/18 and 2018/18 harvests

**Tabela 3** - Estimativas das médias das populações melhoradas (Xs) e dos ganhos genéticos (GS%) com a utilização de diferentes índices de seleção em genótipos de cenoura. Distrito Federal, safras 2017/18 e 2018/18

Índices	Economic weights	AUDPC		MRW		CRW		RCT	
		GS%	Xs	GS%	Xs	GS%	Xs	GS%	Xs
DS <sup>2</sup>	D; A; A; A; A; A; A; A (Sel. Sobre MRC).	14.34	-4.30	14.84	5.96	28.18	23.67	0.65	5.97
CI-1	6,67; 7,13; 4,38; 162,11; 0,56; 0,57; 2,84; 0,69	14.05	-6.29	14.81	5.69	27.83	22.13	0.65	5.94
CI-2	2;1;2;1;1;1;1;1	17.16	14.47	13.19	-5.84	16.61	-27.09	0.55	-10.16
DGI	6,67; 7,13; 4,38; 162,11; 0,56; 0,57; 2,84; 0,69	15.68	4.62	14.99	6.99	27.38	20.16	0.65	4.67
WPFI <sup>1</sup>	14,99; 14,01; 22,79; 0,62; 177,52; 172,54; 35,13; 143,30	14.34	-4.30	14.84	5.96	28.18	23.67	0.65	5.97
GII-1	6,67; 7,13; 4,38; 162,11; 0,56; 0,57; 2,84; 0,69	13.45	-10.27	12.45	-11.11	26.39	15.82	0.69	11.64
GII-2	2;1;2;1;1;1;1;1	14.36	-4.20	15.13	7.98	27.86	22.27	0.65	5.45
Índices	Economic weights	NCR		MRL		MRD		MRW	
		Xs	GS%	Xs	GS%	Xs	GS%	Xs	GS%
DS <sup>2</sup>	D; A; A; A; A; A; A; A (Sel. Sobre MRC).	214.54	20.86	176.80	2.47	35.26	0.37	150.58	5.08
CI-1	6,67; 7,13; 4,38; 162,11; 0,56; 0,57; 2,84; 0,69	215.56	21.43	177.62	2.94	35.47	0.98	152.48	6.41
CI-2	2;1;2;1;1;1;1;1	140.81	-20.68	166.93	-3.25	34.25	-2.49	129.06	-9.94
DGI	6,67; 7,13; 4,38; 162,11; 0,56; 0,57; 2,84; 0,69	204.54	15.22	174.59	1.18	35.43	0.86	151.84	5.96
WPFI <sup>1</sup>	14,99; 14,01; 22,79; 0,62; 177,52; 172,54; 35,13; 143,30	214.54	20.86	176.80	2.47	35.26	0.37	150.58	5.08
GII-1	6,67; 7,13; 4,38; 162,11; 0,56; 0,57; 2,84; 0,69	204.28	15.08	175.15	1.51	36.02	2.54	152.05	6.11
GII-2	2;1;2;1;1;1;1;1	209.80	18.18	178.75	3.60	35.64	1.46	155.09	8.23

<sup>1</sup>The original population mean values follow the values expressed with the WPFI index. <sup>2</sup>Direct selection (DS), classic Smith-Hazel index (CI), desired-gain index (DGI), weight- and parameter-free index (WPFI), and genotype-ideotype index (GII). AUDPC (%) - area under the disease progress curve, rejected root weight (RRW, t ha<sup>-1</sup>), commercial root weight (CRW, t ha<sup>-1</sup>), ratio of commercial root weight to total root weight (RCT, 0 to 1), number of commercial roots (NCR, x 1000 ha<sup>-1</sup>), mean root length (MRL, cm), mean root diameter (MRD, mm) and mean root weight (MRW, g).

<sup>1</sup>As médias originais das populações estão na sequência dos valores expressos no índice ILPP. <sup>2</sup> Seleção direta (SD), índice clássico de Smith- Hazel (IC), índice dos ganhos desejados (IGD), índice livre de pesos e parâmetros (ILPP) e índice genótipo-ideótipo (IGI). AACPD (%) - área abaixo da curva de progresso da doença, massa de raízes refugo (MRR, t ha<sup>-1</sup>), massa de raízes comerciais (MRC, t ha<sup>-1</sup>), relação entre massa de raízes comercial sobre massa de raízes totais (RCT, 0 até 1), número de raízes comerciais (NRC, x 1000 ha<sup>-1</sup>), comprimento médio de raízes (CMR, cm), diâmetro médio de raízes (DMR, mm) e massa média de raízes (MMR, g).

Direct selection for CRW afforded gains of 23.67% and indirect gains of -4.30% in AUDPC, 5.96% in RRW, 5.97% in RCT, 20.86% in NCR, 2.47 % in MRL, 0.37 in MRD and 5.08 in MRW.

A seleção direta sobre o caráter MRC possibilitou ganhos de 23,67% e ganhos indiretos de -4,30% em AACPD, 5,96% em MRR, 5,97% em RCT, 20,86 % em NRC, 2,47% em CMR, 0,37 em DMR e 5,08 em MMR.

Although selection based on just a single characteristic is not suitable for most situations (CRUZ *et al.*, 2012), direct selection for the set of carrot genotypes under evaluation proved to be relevant, making it possible to select more-productive genotypes with a lower incidence of leaf blight. The efficiency of direct selection in the carrot is also mentioned by Silva *et al.* (2013). Those authors state that selection of the main characteristic, CRW (commercial root weight), positively changes the mean values of the other production-component characteristics, and can be used in the carrot.

The classic index (CI-1 and CI-2) using the coefficients of genetic variation with weight-two for the main characteristics and weight-one for the secondary characteristics, gave conflicting results. The use of the coefficients of genetic variation as economic weights, gave balanced gains for all characteristics, with a reduction of 6.29% in the AUDPC, and increases in the others.

When using weight-one or weight-two for the secondary or main characteristics, the use of weight-two for AUDPC afforded an increase of 14.47% in this characteristic and a reduction in the other yield components, i.e. a totally unfavourable condition that is not recommended. On the other hand, using the coefficient of genetic variation as economic weight is discussed in the literature as being the most appropriate index, since it is directly proportional to both genetic and dimensionless variability (CRUZ *et al.*, 2014).

Use of the desired-gain index (DGI), employing the coefficient of genetic variation as economic weight, afforded gains in all the characteristics under evaluation, including AUDPC (4.62%), which is an unfavourable situation. Another condition that is also unfavourable to selection in the carrot using the DGI is described by Carvalho *et al.* (2017), where the use of this index drastically reduced the number of selected genotypes compared to direct selection. On the other hand, for germination characteristics in the carrot, the DGI showed high selection gains that were superior to those of the tandem method and were considered adequate (VIEIRA *et al.*, 2005).

Apesar da seleção baseada em apenas um único caráter não ser adequada para maioria das situações (CRUZ *et al.*, 2012), a seleção direta para o conjunto de genótipos de cenoura avaliados se mostrou relevante, pois possibilitou selecionar genótipos mais produtivos e com menor incidência ao ataque à queima das folhas. A eficiência da seleção direta em cenoura também é mencionada por Silva *et al.* (2013). Esses autores mencionam que a seleção do principal caráter MRC (massa de raízes comerciais) altera de maneira positiva as médias dos outros caracteres componentes de produção, podendo ser utilizado em cenoura.

O índice clássico (IC-1 e IC-2), utilizando os coeficientes de variação genético e peso dois para caracteres principais e peso um para os secundários, revelou resultados conflitantes. A utilização dos CVs genéticos, como peso econômico, possibilitou ganhos equilibrados para todos os caracteres, redução de 6,29% para AACPD e aumentos para os demais.

Na utilização do peso um ou dois, para os caracteres secundários ou principais, a utilização de peso dois para AACPD proporcionou aumento de 14,47% para essa característica e redução dos demais caracteres componentes de rendimento, ou seja, uma condição totalmente desfavorável e não recomendada. Por outro lado, a utilização do coeficiente de variação genético como peso econômico é discutida na literatura como sendo o índice mais adequado, por ser diretamente proporcional às variabilidades genéticas e adimensional (CRUZ *et al.*, 2014).

A utilização do índice dos ganhos desejados (IGD), utilizando como peso econômico, o coeficiente de variação genético, proporcionou ganhos em todos os caracteres avaliados, inclusive para a AACPD (4,62%), o que é uma situação desfavorável. Uma condição também desfavorável à seleção em cenoura, utilizando o IGD, é descrita por Carvalho *et al.* (2017), quando a utilização desse índice reduziu drasticamente o número de genótipos selecionados se comparado à seleção direta. Por outro lado, para atributos de germinação de cenoura o IGD, apresentou ganhos de seleção elevados e superiores ao método em “tandem”, sendo considerados adequados (VIEIRA *et al.*, 2005).

The use of the WPI, employing the population mean as the value for  $K_i$ , promoted a reduction in the AUDPC, and an increase in the other variables, giving satisfactory results. As such, there was a 4.30% reduction in the AUDPC and an increase in the other characteristics, especially CRW, which increased by 28.18%, identical to the results for direct selection. For carrot germination using seed weight, germination and vigour, Vieira *et al.* (2005) found that the WPI index was greater than when selecting one characteristic at a time, the authors recommending this index to obtain faster gains when selecting half-sister progeny of the carrot.

The greatest gains in reducing the AUDPC were obtained with the genotype-ideotype index, using the coefficients of genetic variation (GIDI-1) as economic weight. With this algorithm, although such an expressive gain for CRW (26.39%) is not possible, as with the DS and WPI indices, there was a reduction of 10.27% in the AUDPC and increases in the other characteristics that were superior to all the other indices under study. Using GII-2, in which arbitrary values equal to one were used for characteristics considered secondary, and two for those considered main (CRW and AUDPC), this algorithm also afforded gains that were balanced and favourable, albeit lower than GII-1.

The efficiency of the selection indices depends on the genetic material under selection and on the aims of the breeding program. Carvalho *et al.* (2017), evaluating bred carrot populations, found that direct selection for CRW (commercial root weight) was efficient in breeding the mean values of the other characteristics under evaluation, with more promising results than the genotype-ideotype index (GII). Silva *et al.* (2009), selecting carrot progeny under conventional and organic production systems, found that the basic Williams index and the WPI were more efficient at selection than the DGI.

## CONCLUSIONS

Joint selection based on different indices allows better precision concerning the best selected populations;

O uso do ILPP, empregando a média das populações como valor de  $K_i$ , promoveu redução para o caráter AACPD e aumento para as demais variáveis, obtendo resultados satisfatórios. Assim, houve redução de AACPD em 4,30% e aumento nos outros caracteres, destacando-se MRC, que aumentou em 28,18%, idêntico aos resultados da seleção direta. Na germinação de cenoura utilizando os caracteres peso de sementes, germinação e vigor, Vieira *et al.* (2005) verificaram que o índice ILPP foi de magnitude maior do que a seleção de um caráter por vez, assim, esses autores recomendam esse índice a fim de obter ganhos mais rápidos na seleção de progênies meias-irmãs de cenoura.

O maior ganho de redução da AACPD foi obtido com o índice genótipo/ideótipo, utilizando como peso econômico os coeficientes de variação genéticos (GIDI-1). Por esse algoritmo, embora não seja possível um ganho tão expressivo para MRC (26,39%), como pelos índices DS e ILPP, houve redução de 10,27% na AACPD e aumentos em outros caracteres, sendo superiores a todos os outros índices estudados. Utilizando o IGI-2, em que se considerou valores arbitrários iguais a um para caracteres considerados secundários e dois para os considerados principais (MRC e AACPD), esse algoritmo também proporcionou ganhos equilibrados e favoráveis, mas inferiores ao IGI-1.

A eficiência dos índices de seleção depende do material genético sob seleção e dos objetivos do programa de melhoramento. Carvalho *et al.* (2017), na avaliação de populações melhoradas de cenoura, verificaram que a seleção direta em MRC (massa de raiz comercial) foi eficiente para melhorar as médias dos demais caracteres avaliados, inclusive com resultados mais promissores do que o índice genótipo-ideótipo (IGI). Já Silva *et al.* (2009), selecionando progênies de cenouras nos sistemas convencional e orgânico de produção, verificaram que o índice base de Williams e o ILPP foram mais eficientes na seleção, se comparado com o IGD.

## CONCLUSÕES

A seleção feita em conjunto com base em diferentes índices permite melhor acurácia acerca das melhores populações selecionadas;

The genotype-ideotype selection index, using the coefficient of genetic variation as economic weight, gave the lowest selection gains for CRW (commercial root weight);

The selection made by the Smith-Hazel classic index using the coefficient of genetic variation as economic weight and direct selection for CRW, affords satisfactory and balanced gains, and is suggested as a tool in the selection of carrot populations.

O índice de seleção genótipo-ideótipo, utilizando o CV genético como peso econômico, proporcionou os menores ganhos com a seleção para o caráter MRC (massa de raiz comercial);

A seleção feita pelo índice clássico de Smith-Hazel, utilizando como peso econômico o CV genético e seleção direta no caráter MRC, proporcionam ganhos satisfatórios e equilibrados, sendo indicados como ferramentas na seleção de populações de cenoura.

### CITED SCIENTIFIC LITERATURE

ARBIZU, C.; TAS, P. SIMON, P.; SPOONER, D. Phylogenetic Prediction of Alternaria Leaf Blight Resistance in Wild and Cultivated Species of Carrots. **Crop Science**, v. 57, n. 6, p. 2645-2653, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2017.02.0078>.

CARVALHO, A. D. F.; NOGUEIRA, M. T. M.; SILVA, G. O.; LUZ, J. M. Q.; MACIEL, G. M.; RABELO, P. G. Seleção de genótipos de cenoura para caracteres fenotípicos de raiz. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 97-102, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170115>.

CARVALHO, A. D. F.; SILVA, G. O. Response to direct and correlated selection on yield and leaf blight in carrots. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 95, n. 3, p. 191-201, 2020, DOI: <https://doi.org/10.37856/bja.v95i3.3710>.

CARVALHO, A. D. F.; SILVA, G. O. Divergência genética entre genótipos de cenoura através de caracteres agronômicos. **Agro@ambiente On-line**, v. 11, n. 2, p. 137-144, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3642>.

CARVALHO, A. D. F.; SILVA, G. O.; PEREIRA, G. E. Direct selection for phenotypic traits in carrot genotypes. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 354-358, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190316>.

CARVALHO, A. D. F.; SILVA, G. O.; PEREIRA, R. B. Capacidade de combinação de genitores de cenoura para caracteres de produtividade de raízes e tolerância à queima-das-folhas. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 183-190, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020009>.

CORREIA, N. M.; CARVALHO, A. D. F. Selectivity of the herbicide linuron sprayed in pre-emergence and post-early in carrot. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 1201- 1207, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1201>.

CRUZ, C. D. Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. S. C.; RAGASSI A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. v.2. 668p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO P. C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. Viçosa: UFV, 2012. v. 1, 514p.

DALBOSCO, E. Z.; KRAUSE, W.; NEVES, L. G.; ARAÚJO, D. V. D.; HIEGA, K. M. R.; SILVA, C. G. D. Índices paramétricos e não paramétricos aplicados na seleção de progênies de maracujazeiro-azedo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 1, p. 1-8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452018282>.

ELSTON, R. C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, v. 19, n. 1, p.85-97, 1963. DOI: <https://doi.org/10.2307/2527573>.

FONTES, P. C. R.; NICK, C. **Olericultura Teoria e Prática** - 2 ed. Viçosa: UFV, 2019, 632 p.

- GAUBE, C.; DUBOUR, C.; PAWELEC, A.; CHAMONT, S.; BLANCARD, D.; BRIAND, M. Brûlures foliaires parasitaires de la carotte: *Alternaria dauci* sous surveillance. **PHM. Revue Horticole**, v. 445, n. 1, p. 15-18. 2004.
- HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 6, p. 476-490. 1943. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Horticultura: número de estabelecimentos agropecuários e quantidade produzida por produtos da horticultura. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?edicao=21858&t=resultados>, acesso em: 23 out. 2019.
- INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>. Acessado em 28 de out. 2019.
- KLUYVER, T. A.; JONES, G.; PUJOL, B.; BENNETT, C.; MOCKFORD, E. J.; CHARLES, M.; REES, M.; OSBORNE, C. P. Unconscious Selection Drove Seed Enlargement in Vegetable Crops. **Evolution Letters**, v. 1, n. 2, p. 64-72, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/evl3.6>
- LYON, A.; TRACY, W.; COLLEY, M.; CULBERT, P.; MAZOUREK, M.; MYERS, J.; SILVA, E. Adaptability analysis in a participatory variety trial of organic vegetable crops. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 35, n. 3, p. 1-17, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S1742170518000583>.
- PEREIRA, R. B.; CARVALHO, A. D. F.; PINHEIRO, J. B.; SILVA, G. O.; VIEIRA, J. V. Resistência de populações de cenoura à queimada-folhas com diferentes níveis de germoplasma tropical. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 489-493, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300022>.
- PEŠEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal Plant Science**, v. 49, n. 10, p. 803-804, 1969. DOI: <http://dx.doi.org/10.4141/cjps69-137>
- SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-67-1051>.
- SILVA, G. O.; CARVALHO, J. O. M.; VIEIRA, J. V.; CARVALHO, A. D. F. Parâmetros genéticos para germinação de sementes e produção de raízes de cenoura sob altas temperaturas. **Magistra**, v. 26, n. 4, p. 524-531, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000200017>.
- SILVA, G. O.; VIEIRA, J.V.; CARVALHO, A.D.F.; BOITEUX, L.S. Relações entre caracteres de raiz e ganhos genéticos diretos e indiretos em populações de cenoura. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 25-29, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100004>
- SILVA, G. O.; VIEIRA, J. V.; VILELA, M. S. Seleção de caracteres de cenoura cultivada em dois sistemas de produção agroecológicos no Distrito Federal. **Revista Ceres**, v. 56, n. 5, p. 595-601, 2009.
- SMITH, H. F. A. Discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>
- TRANI, P. E.; FILGUEIRA, F. A. R.; AVELAR FILHO, J. A. CENOURA. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 314-316. 1999.
- VIEIRA, J. V.; CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, W. M.; MIRANDA, J. E. C. D. Seleção de progênies de meios-irmãos de cenoura baseada em características de sementes. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 44-47, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000100009>