

FENOTIPAGEM FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS E EFEITO DE
TEMPERATURA E LUMINOSIDADE NOS ÍNDICES DE
REFLECTÂNCIA FOLIAR EM *Capsicum* spp.

ROSIMARA BARBOZA BISPO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2020

FENOTIPAGEM FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS E EFEITO DE
TEMPERATURA E LUMINOSIDADE NOS ÍNDICES DE
REFLECTÂNCIA FOLIAR DE *Capsicum* spp.

ROSIMARA BARBOZA BISPO

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”.

Orientadora: Prof^a. Dra. Rosana Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO – 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

B622

Bispo, Rosimara Barboza.

Fenotipagem físico-química de frutos e efeito de temperatura e luminosidade nos índices de reflectância foliar em *Capsicum* spp. / Rosimara Barboza Bispo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.

78 f. : il.

Bibliografia: 50 - 63.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2020.
Orientadora: Rosana Rodrigues.

1. interação genótipo x ambiente . 2. sólidos solúveis totais. 3. minerais. 4. mini espectrômetro foliar portátil. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

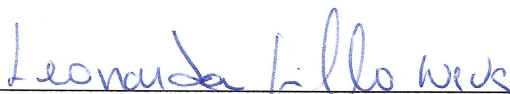
FENOTIPAGEM FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS E EFEITO DE
TEMPERATURA E LUMINOSIDADE NOS ÍNDICES DE
REFLECTÂNCIA FOLIAR DE *Capsicum* spp.

ROSIMARA BARBOZA BISPO

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”.

Aprovada em 17 de fevereiro de 2020.

Comissão Examinadora:



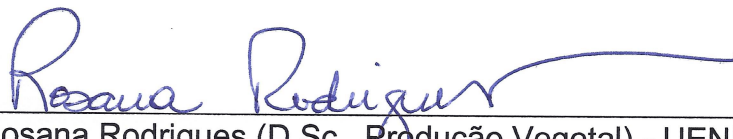
Prof.ª Leonarda Grillo Neves (D.Sc., Genética e Melhoramento) - UNEMAT



Prof.ª Telma Nair Santana Pereira (Ph.D., Plant Breeding) - UENF



Prof. Sergio Luis Cardoso (D.Sc. Ciências) - UENF



Prof.ª Rosana Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientadora)

A Deus com toda a minha essência.

Aos meus pais, Alirio e Maria, com todo meu amor, alegria e gratidão.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram, amo-os sem medidas.

A minha amada irmã Rosimeire, por dividir essa longa caminhada comigo.

A todos os meus amigos que passaram, e que ainda estão presentes na minha vida, por me ensinarem que amigos são a família que a vida nos dá.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela saúde, pelos amigos e por ter me dado uma família maravilhosa.

Aos meus avós Luiz e Josefa, meus exemplos de pessoa, obrigado por estarem sempre ao meu lado me ensinando a ser uma pessoa melhor.

Aos meus pais Alírio e Maria pelo amor incondicional, humildade, conselhos, puxões de orelha e paciência, amo-os incondicionalmente.

À minha adorável irmã Rosimeire “minha alma gêmea”, que sempre esteve ao meu lado desde o ventre materno, agradeço a Deus todos os dias por ter me dado o privilégio de caminhar com você pela estrada da vida.

Às minhas irmãs Marciele, Liliane e Rosieli que sempre estiveram ao meu lado nas horas de alegria e tristeza, me proporcionando momentos inesquecíveis.

À minha orientadora professora Rosana Rodrigues, pela orientação, conselhos, apoio e incentivo.

Aos colegas e amigos de laboratório Sabrina, Karina, Elisangela, Thâmara, Paola, Socorro, André, Anderson, Cláudia Pombo, Eduardo, Marlon, Cleiton, Cláudia Lougon, Gaspar e Fernando, pelo trabalho em equipe e amizade.

Às minhas amigas, Lídia, Mariana, Vera, Virgília e Aila, por serem pessoas incríveis e determinadas. A amizade de vocês significa muito para mim.

Aos colegas Sthefany, Aminthia e Marcos membros do Laboratório de Química pelo tempo dedicado ao desenvolvimento deste trabalho, e ao professor Sérgio Cardoso pela colaboração, apoio e incentivo.

À UENF pela oportunidade de realização do mestrado, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão de bolsa e à FAPERJ pelo apoio financeiro do projeto.

À minha segunda família, Kathelyn, Danielli, Cristina e Fernando, pela amizade, por sempre estarem presentes e me ensinando a ser uma pessoa melhor a cada dia.

MUITO OBRIGADA!

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DPG	Dias para germinação
DPFL	Dias para florescimento
DPFR	Dias para frutificação
SB	Sombreado
PL	Pleno sol
MF	Massa fresca
MS	Massa seca
SST	Sólidos solúveis totais
AACPL	Área abaixo da curva de progresso da luminosidade
ICP-OES	Espectrômetro de emissão óptica indutivamente acoplado com plasma de argônio
L*	Luminosidade
a*	Vermelho/verde
b*	Amarelo/azul
C*	Índice de croma
DBC	Delineamento em blocos ao acaso
FV	Fonte de variação
GL	Graus de liberdade
QM	Quadrado médio
CV	Coeficiente de variação
TA	Teor de água

R	Reflectância
REM	Radiação eletromagnética
ARI1	Índice de reflectância da antocianina 1
ARI2	Índice de reflectância da antocianina 2
CRI1	Índice de reflectância de carotenoides 1
CRI2	Índice de reflectância de carotenoides 2
CNDVI	Combinação de índice de vegetação por diferença normalizada
G	Índice de verde
FRI	Índice de reflectância dos flavonoides
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
NPCI	Índice de clorofila pigmentada normalizada
NPQI	Índice de feofitinação normalizada
PRI	Índice de reflectância fotoquímica
PSRI	Índice de senescência de planta
SIPI	Índice de pigmento estrutural independente
SRPI	Índice de pigmento de proporção simples
WBI	Índice de banda de água

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
K	Potássio
Mg	Magnésio
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Cu	Cobre
Na	Sódio
Zn	Zinco
°C	grau Celsius
UR	Umidade relativa do ar

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. O gênero <i>Capsicum</i>	4
3.2. Importância socioeconômica e nutricional do gênero <i>Capsicum</i>	6
3.3. Recursos genéticos e melhoramento de <i>Capsicum</i> spp.....	7
3.4. Interação genótipo x ambiente	9
3.5. Os minerais e o efeito ambiental na sua absorção pelas plantas.....	10
3.6. Espectrometria foliar e suas aplicações	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. Descrição do germoplasma	14
4.2. Condições de cultivo e delineamento experimental.....	16
4.3. Fenotipagem físico-química.....	17
4.3.1. Medições dos parâmetros de cor.....	17
4.3.2. Sólidos Solúveis Totais.....	18
4.4. Preparo das amostras e análise de macro e micronutrientes dos frutos	19
4.4.1. Preparo das amostras.....	19
4.5. Análise de reflectância foliar.....	19

4.6. Análise Estatística.....	24
4.6.1. Análise de luminosidade dos ambientes.....	24
4.6.2. Análise de variância dos dados físico-químicos e minerais.....	24
4.6.3. Análise de variância dos índices de reflectância foliar.....	25
4.6.4. Comparação entre as médias.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Análise físico-química.....	30
5.1.1. Colorimetria.....	30
5.1.2. Sólidos solúveis totais.....	34
5.2. Análise mineral	35
5.3. Análise dos Índices de Reflectância Foliar	42
6. CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

RESUMO

BISPO, Rosimara Barboza; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; fevereiro, 2020; Fenotipagem físico-química de frutos e efeito de temperatura e luminosidade nos índices de reflectância foliar de *Capsicum* spp. Orientadora: Rosana Rodrigues; Conselheiros: Telma Nair Santana Pereira e Valdirene Moreira Gomes.

As condições climáticas e de cultivo influenciam a qualidade dos frutos, bem como o estado fisiológico das plantas. Este trabalho apresenta a caracterização de acessos de três espécies de *Capsicum* do banco de germoplasma da UENF em dois ambientes, quanto a características físico-químicas, composição mineral de frutos maduros, e índices de reflectância foliar. Onze acessos foram cultivados em duas condições distintas: sombreamento e a pleno sol, na UENF em Campos dos Goytacazes, RJ. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial simples genótipo x ambiente, com três repetições. Para a fenotipagem físico-química foram coletados três frutos maduros de cada planta e para a análise mineral os frutos foram colhidos em *bulk*, sendo considerado cada bloco um *bulk*. Foi mensurada a coloração e o teor de sólidos solúveis totais dos frutos utilizando colorímetro e refratômetro digital, respectivamente. A análise mineral em frutos foi realizada por meio de espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado – ICP-OES. Os índices de reflectância foliar foram obtidos durante o estágio de frutificação em quatro avaliações com intervalo de sete dias. Todos os dados foram submetidos a análise de variância e aos testes Scott-Knott

ou Tukey. A colorimetria permitiu a classificação dos frutos em sete classes de cores: vermelho, vermelho-escuro, amarelo-claro, amarelo-laranja-pálido, laranja, laranja-com manchas roxas e marrom. Foi encontrada uma ampla variabilidade no teor de sólidos solúveis totais - SST (5,59 a 13,04 °Brix). O ambiente influenciou a coloração e o teor de sólidos solúveis de alguns acessos. Para os acessos UENF 1381 (*C. annuum*) e UENF 2051 (*C. chinense*) o ambiente a pleno sol ocasionou menor valor de SST quando comparado com o ambiente sombreado, o contrário foi observado para os acessos UENF 1791 e UENF 1730 (*C. chinense*) que obtiveram maiores valores em ambiente a pleno sol. Na análise mineral houve diferença significativa para todas as fontes de variação. O maior acúmulo da maioria dos minerais nos frutos ocorreu em ambiente sombreado e a ordem de abundância variou conforme espécie e ambiente. Houve diferença significativa para as fontes de variação ambiente e dia. Os índices de reflectância foliar apresentaram menores valores na média geral dos índices CRI2, WBI e NDVI no ambiente a pleno sol. Os índices CRI1, CRI2, WBI e SIPI tiveram diferença na interação G X D, evidenciando que os genótipos responderam de maneira distinta ao longo do tempo para esses índices. Observou-se uma grande diversidade de cores e SST nas três espécies de *Capsicum* que atendem a diversos nichos de mercado. Houve interação genótipo x ambiente para os parâmetros de cor e teor de sólidos solúveis. Observou-se maior variabilidade relativa ao acúmulo dos nutrientes sódio, potássio, manganês e zinco nos acessos estudados. O ambiente influenciou na composição e acúmulo de minerais nos frutos de diferentes acessos de *Capsicum*. Os índices foliares CRI1, CRI2, WBI, NDVI podem ser utilizados como marcadores fenotípicos para detectar estresse abiótico em plantas de *Capsicum*.

ABSTRACT

BISPO, Rosimara Barboza; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; February, 2020; Physico-chemical phenotyping and effect of temperature and luminosity on leaf reflectance indexes of *Capsicum* spp. Advisor: Rosana Rodrigues; Committee members: Telma Nair Santana Pereira e Valdirene Moreira Gomes.

The climatic and cultivation conditions influence the quality of the fruits, as well as the physiological state of the plants. This work presents the characterization of accessions of three *Capsicum* species from the UENF germplasm bank in two environments, regarding physical-chemical characteristics, mineral composition of ripe fruits, and leaf reflectance indexes. Eleven accessions were cultivated in two different conditions: shading and full sun, at UENF in Campos dos Goytacazes, RJ. The experimental design was in randomized blocks, in a simple factorial arrangement genotype x environment, with three replications. For physical-chemical phenotyping, three ripe fruits were collected from each plant and for mineral analysis the fruits were harvested in bulk, with each block being considered a bulk. The color and the total soluble solids content of the fruits were measured using a colorimeter and digital refractometer, respectively. Mineral analysis in fruits was performed by means of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma - ICP-OES. The leaf reflectance indexes were obtained during the fruiting stage in four evaluations with an interval of seven days. All data were subjected to analysis of variance and the Scott-Knott or Tukey tests. Colorimetry allowed the classification

of fruits in seven color classes: red, dark red, light yellow, pale orange-yellow, orange, orange-with purple and brown spots. A wide variability was found in the content of total soluble solids - SST (5.59 to 13.04 °Brix). The environment influenced the color and the soluble solids content of some accessions. For the accessions UENF 1381 (*C. annuum*) and UENF 2051 (*C. chinense*) the environment in full sun caused lower SST value when compared to the shaded environment, the opposite was observed for the accessions UENF 1791 and UENF 1730 (*C. chinense*) values in full sun. In the mineral analysis, there was a significant difference for all sources of variation. The greatest accumulation of most minerals in the fruits occurred in a shaded environment and the order of abundance varied according to species and environment. There was a significant difference for sources of environmental variation and day. The leaf reflectance indices showed lower values in the general average of the CRI2, WBI and NDVI indices in the full sun environment. The CRI1, CRI2, WBI and SIPI indices had a difference in the G X E interaction, showing that the genotypes responded differently over time to these indices. We conclude that there is a great diversity of colors and SST in the three species of *Capsicum* that serves different market niches. There was genotype x environment interaction for color parameters and soluble solids content. Greater variability regarding the accumulation of nutrients sodium, potassium, manganese, and zinc was observed in the studied accessions. The environment influenced the composition and accumulation of minerals in the fruits of different accessions of *Capsicum*. Leaf indexes CRI1, CRI2, WBI, NDVI can be used as phenotypic markers to detect abiotic stress in *Capsicum* plants.

1. INTRODUÇÃO

As plantas conhecidas popularmente por pimenta e pimentão pertencem à família Solanaceae e ao gênero *Capsicum*, apresentam uma grande variabilidade de formas, tamanhos e cores em seus frutos, que podem ser de diversas cores como amarelo, alaranjado, salmão, vermelho, roxo e preto (Carvalho e Bianchetti, 2004), com possibilidade de serem pungentes e aromáticos. Essa gama de variabilidade nos frutos, principalmente quanto a sua composição, possibilita sua utilização não somente como especiaria, mas também como poderoso medicamento para o tratamento de doenças como o câncer, além de possuir propriedades anti-inflamatória, antimicrobiana e antioxidante (Chapa-Oliver e Mejía-Teniente, 2016).

Na indústria alimentícia, os principais fatores de aceitação dos produtos são cor e aparência. Desta forma, o desenvolvimento de produtos alimentares com essas características está entre os principais objetivos dos programas de melhoramento (Arimboor et al., 2015). Para alcançar esses resultados, os melhoristas realizam estudos de fenotipagem, que permitem acessar a variabilidade genética, bem como a posterior seleção de materiais para atender as expectativas do mercado consumidor (Ping et al., 2019).

Usualmente, as pimentas são cultivadas em campo aberto, onde são submetidas a estresses bióticos, como doenças e insetos, e estresses abióticos, como altas temperaturas, variação no teor de umidade relativa do ar, e alta

intensidade de luz. Essas condições ambientais influenciam no crescimento, desenvolvimento e produtividade de plantas cultivadas (Rêgo et al., 2011).

Alta temperatura acima de 35 °C e baixa umidade relativa do ar, afetam a qualidade dos frutos, especialmente na composição e coloração, pois os carotenoides são sensíveis à luz e temperatura (Rêgo et al., 2011). Estas substâncias além de terem a função de pigmento acessório, também desempenham um papel essencial na fotoproteção, pois, libera o excesso de energia antes que possa danificar o organismo (Taiz et al., 2017). Entre as principais alterações na coloração das pimentas está a degradação da clorofila (Rêgo et al., 2011). A alta intensidade luminosa também afeta esses e outros parâmetros do fruto. Segundo Díaz-Pérez (2013), a intensidade ideal de luz é de 1.400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. No entanto, baixa intensidade luminosa acima de 60% de sombra resulta em uma diminuição no rendimento e na produção de frutos (Díaz-Pérez, 2014; Valiente-Banuet e Gutiérrez-Ochoa, 2016).

Uma das maneiras de identificar o estresse abiótico é por meio do monitoramento, que pode ser feito por técnicas de estimativas indiretas não destrutivas, com leituras espectrais, que permitem a obtenção de uma gama de informações que se trabalhadas podem determinar o estresse fisiológico do vegetal (Schröder et al., 2015). A espectrometria foliar é uma ferramenta que permite a avaliação de estresses abióticos em plantas por meio da análise de propriedades ópticas da folha, que indicam como essas condições climáticas extremas influenciam os pigmentos foliares, especialmente a clorofila e os carotenoides.

Para uma melhor avaliação dos germoplasmas, a condução de experimentos em diferentes condições ambientais permite identificar a variação fenotípica. A avaliação prioriza os caracteres de interesse agrônômico, como, produtividade, qualidade da produção, fenologia e resposta a estresses bióticos e abióticos (Pereira, 2010). Em geral, esses caracteres são de controle poligênico, portanto, parte da variação é resultado de influências das condições ambientais (Borém et al., 2017).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Determinar a influência do ambiente na fenotipagem de características de plantas e frutos maduros de 11 acessos de *Capsicum* spp., do banco de germoplasma da UENF.

2.2. Objetivos específicos

- i. Determinar a coloração dos frutos maduros de *Capsicum* spp.;
- ii. Identificar genótipos superiores quanto ao teor de sólidos solúveis totais para futuros programas de melhoramento de *Capsicum* spp.;
- iii. Identificar a interação genótipo x ambiente nos níveis de composição mineral dos frutos maduros de *Capsicum* spp.; e
- iv. Determinar a influência das condições ambientais nos pigmentos foliares de três espécies de *Capsicum*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O gênero *Capsicum*

O gênero *Capsicum* pertence à família Solanaceae, e, assim como o tomate (*Solanum lycopersicum* L.), a batata (*S. tuberosum* L.) e a berinjela (*S. melongena* L.) tem grande importância econômica. Esse gênero destaca-se pela importância comercial e econômica, sendo amplamente utilizado no setor alimentício, ornamental e medicinal (Silvar e García-González, 2017).

O gênero engloba as plantas popularmente conhecidas como pimentas e pimentões. Essa denominação vem do latim “pigmentum”, que se traduz corante, já a denominação *Capsicum* vem do grego “kopto” que significa picar ou ato de morder referindo-se à pungência ou calor que os frutos provocam (Souza, 2009).

Originário do continente americano, o gênero vem sendo usado desde o início do povoamento nas Américas (Bosland e Votava, 2012). As populações ameríndias utilizavam as pimentas não somente para fins alimentícios, mas também para a cura de doenças, rituais sagrados e como plantas ornamentais ao redor de suas habitações (DeWitt e Bosland, 1996; Nuez et al., 1996). Os centros secundários englobam o sul dos Estados Unidos e México até o oeste da América do Sul; o nordeste do Brasil e à costa venezuelana; a costa oeste brasileira e centro da Bolívia, e Paraguai até o Norte, e o centro da Argentina (Moscone et al., 2007). As grandes navegações realizadas pelos portugueses e espanhóis das Américas para a Europa, África e Ásia, possibilitaram a distribuição do gênero pelo mundo

(Andrews, 1984). Contudo, os pássaros também tiveram papel na distribuição, dispersando as sementes em outras áreas (Tewksbury e Nabhan, 2001). Uma vez que estes animais não possuem os receptores vaniloides TRPV1 (*transient receptor potential vanilloid receptor 1*) que detectam a capsaicina, substância pungente encontrada exclusivamente nos frutos de *Capsicum* (Yang et al., 2013).

O gênero *Capsicum* possui mais de 38 espécies (*The Plant List*, 2020) e continuamente vem sendo descritas novas espécies. Barboza et al. (2019) descreveram quatro novas espécies dos Andes. Entre as espécies do gênero apenas cinco são domesticadas: *C. annuum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L., *C. baccatum* L. e *C. pubescens* Ruiz & Pav. (Moscone et al., 2007).

As espécies que compõem o gênero *Capsicum* são diploides, sendo classificadas em dois grupos, de acordo com o número de cromossomos. O primeiro caracteriza-se por $2n=2x=24$, e o segundo por $2n=2x=26$, sendo que as espécies domesticadas pertencem ao primeiro grupo (Moscone et al., 2007).

As flores são hermafroditas e são o principal órgão para classificação taxonômica das espécies do gênero (Guerra, 2001). Quanto à reprodução, as plantas de *Capsicum* são preferencialmente autógamas. Contudo, pode ocorrer a polinização cruzada natural, que varia dependendo da espécie, localização geográfica, condições climáticas, agentes polinizadores e espaçamento entre as plantas (Tanksley, 1984; Pickersgill, 1997; Justino, 2013). Em estudos com a espécie *C. annuum*, verificou-se taxa de cruzamento natural entre 1,2 e 10,8%, e por apresentar uma grande faixa na taxa de polinização cruzada, as pimentas dessa espécie podem ser consideradas como autógamas facultativas (Justino et al., 2018).

O fruto é uma baga com estrutura oca, e tem uma grande variabilidade morfológica, com formatos, tamanhos e colorações diversos, além de diferentes graus de pungência (Zimmer et al., 2012). A coloração dos frutos maduros é controlada por três pares de genes independentes, loci *c1*, *c2* e *y* (Hurtado-Hernandez e Smith, 1985). O locus *y* controla a segregação entre plantas de pimenta com frutos vermelhos e amarelos e é o mesmo gene para a biossíntese da capsantina-capsorubina sintetase (CCS) (Lefebvre et al., 1998, Popovsky e Paran, 2000). O gene da fitoeno sintase (*PSY*) que determina a segregação entre as plantas de pimenta com frutas vermelhas e laranja corresponde ao locus *c2* (Thorup et al., 2000, Huh et al., 2001). Entretanto, o gene correspondente ao locus *c1* ainda

não foi identificado (Lang et al., 2004). Porém, em um estudo recente Lee et al. (2020) observaram que o gene *c1* é responsável pela redução da coloração vermelha, laranja e amarela, induzindo a cor pálida nos frutos.

Quanto ao formato, os frutos podem ser alongados, arredondados, ovalados, triangulares ou cônicos, campanulados, quadrados e retangulares (Carvalho e Bianchetti, 2004).

3.2. Importância socioeconômica e nutricional do gênero *Capsicum*

Quanto aos aspectos econômicos, em 2017, o Brasil produziu cerca de 47 mil toneladas de pimentas, sendo as regiões Norte e Nordeste as principais produtoras com 29 mil toneladas, correspondendo a 70% da produção nacional. Já a produção de pimentões ficou em aproximadamente 254 mil toneladas sendo a região Sudeste a principal produtora (49%) (IBGE, 2017).

Na indústria alimentícia e farmacêutica duas classes de substâncias químicas encontradas em frutos do gênero *Capsicum* são amplamente utilizadas. Uma delas são os carotenoides, com alto valor nutricional, uma vez que o β -caroteno, um dos precursores da vitamina A, é um dos componentes indispensáveis na dieta humana. A segunda refere-se aos capsaicinoides, responsáveis pela pungência das pimentas, que são explorados para produção de condimentos e analgésicos, cosméticos, entre outros (Bosland e Votava, 2012; Arimboor et al., 2015). Os frutos também são fontes importantes de antioxidantes naturais, de vitamina E e vitaminas do complexo B.

Em frutos de *Capsicum*, os carotenoides são os principais compostos responsáveis pela coloração dos frutos (Lightbourn et al., 2008). Entre as diversas estruturas de carotenoides identificados em pimentas, os que são encontrados em maiores proporções são: capsantina, capsorubina, β -caroteno, β -criptoxantina, zeaxantina e a anteraxantina (Wahyuni et al., 2011). Um grupo de três xantofilas (capsantina, capsurubina e capsantina-5-6 epóxido) confere a coloração avermelhada dos frutos (Russo, 2012), enquanto a coloração alaranjada dos frutos é garantida pela violaxantina e o β -caroteno (Gross, 1991).

Quanto a função, os carotenoides são classificados como primários e secundários. Os carotenoides primários estão diretamente envolvidos na fotossíntese, protegendo o aparato fotossintético da foto-oxidação (Oliver et al.,

1998), sendo alguns representantes o β -caroteno, a zeaxantina e a luteína. Os carotenoides secundários, como o licopeno, α -caroteno e capsantina, não possuem papel direto na fotossíntese. Alterações no conteúdo e estrutura dos carotenoides nas plantas também podem ser consideradas como marcadores de danos ambientais (Arimboor et al., 2015).

A aparência de um produto, especialmente a sua coloração, influencia as preferências do consumidor. Portanto, a cor da epiderme das pimentas e pimentões é um parâmetro importante a ser avaliada. A concentração de carotenoides nos frutos influencia a composição química da matéria-prima, que refletirá não apenas na qualidade do produto em termos de coloração, sabor e aspecto, mas também na viabilidade econômica da industrialização (Ribeiro, 2012).

Os capsaicinoides são alcaloides que conferem aos frutos de *Capsicum* sua pungência característica, e atuam como mecanismo de defesa da planta, conferindo ardência aos frutos (Guzmán e Bosland, 2017). Essas substâncias são produzidas em glândulas presentes na placenta (Topuz e Ozdemir, 2007). A pungência é controlada por um único gene dominante, denominado *Pun-1*, que funciona como um regulador dos principais compostos na via da capsaicina (Reddy et al., 2014). A quantificação dos níveis de capsaicina e seus análogos têm sido recentemente estudada, em decorrência de suas propriedades analgésicas, antioxidantes, anti-inflamatórias e, mais recentemente, sua atividade anticancerígena (Chapa-Oliver e Mejía-Teniente, 2016; Clark e Lee, 2016; El-kott e Bin-Meferij, 2018).

3.3. Recursos genéticos e melhoramento de *Capsicum* spp.

No Brasil, o cultivo de pimentas tem grande importância social e econômica, principalmente para os pequenos produtores, por permitir rentabilidade, garantir sua fixação no campo, possibilitar a contratação de mão de obra durante o período de colheita, e o estabelecimento de novas indústrias processadoras, gerando novos empregos. Contudo, as plantas do gênero *Capsicum* são afetadas por várias doenças que comprometem não só a produtividade, como também a qualidade do produto. As doenças podem ser provocadas por fatores abióticos como a falta ou excesso de nutrientes, água e luz, como também, por fatores bióticos, insetos, bactérias, fungos, vírus e nematoides (Rêgo et al., 2011). Neste

cenário, os programas de melhoramento desempenham papel fundamental no desenvolvimento de cultivares que atendam às necessidades dos produtores e conseqüentemente dos consumidores.

O Brasil possui vários programas de melhoramento genético de espécies do gênero *Capsicum*, entre os quais destacam-se: os que visam resistência a doenças e os de obtenção de cultivares ornamentais. Algumas instituições públicas possuem programas com espécies deste gênero, dentre elas podemos destacar a Embrapa Hortaliças, a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

A contribuição do programa de melhoramento genético vegetal da UENF para a conservação dos recursos genéticos de *Capsicum* teve início no ano 2000, com a realização de coletas, multiplicação e caracterização preliminar de acessos de *Capsicum* no estado do Rio de Janeiro, resultando em uma coleção com mais de 400 acessos parcialmente caracterizada e avaliada, servindo como fonte de estudo para 12 dissertações e 11 teses de doutorado concluídas.

Estudos de caracterização morfoagronômica e molecular utilizando DNA genômico também estão sendo realizados para acessar a variabilidade genética dos acessos de *Capsicum* que compõem o banco de germoplasma da UENF. Como nos trabalhos de Leite et al. (2016), no qual avaliou-se a variabilidade intraespecífica para caracteres morfológicos, agronômicos e moleculares em *Capsicum baccatum* var. *pendulum*, e no trabalho de Bianchi (2020) em que a autora caracterizou e avaliou 55 acessos de *C. chinense* do banco de germoplasma, também quanto a caracteres morfoagronômicos e moleculares, o que permitiu quantificar a diversidade entre os acessos.

Esses trabalhos possibilitam o conhecimento para a tomada de decisões e inserção de genótipos em diversos programas de melhoramento genético do gênero *Capsicum*. Um exemplo é a utilização do acesso UENF 1381 no desenvolvimento de cultivares resistentes a doenças (Pimenta, 2015). Considerada a principal doença bacteriana da cultura da pimenta e do pimentão, a mancha bacteriana, causada por *Xanthomonas euvesicatoria* pode acarretar danos foliares, tanto em ambiente protegido quanto no campo, ocasionando perda da produção e qualidade dos frutos (Carmo et al., 1996; Jones et al., 1998). O acesso UENF 1381

é considerado resistente à mancha bacteriana e medianamente resistente ao PepYMV, além de ser considerado o primeiro genótipo de *C. annuum* resistente à antracnose (Bento et al., 2017).

Atualmente, o programa de Melhoramento Genético de *Capsicum* spp. da UENF vem atuando no desenvolvimento de cultivares de pimentão resistentes à antracnose (geração F₄), à mancha bacteriana (F₄) e ao PepYMV (*Pepper yellow mosaic virus*).

3.4. Interação genótipo x ambiente

O ambiente é constituído de todos os fatores não genéticos que modificam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Esses fatores englobam as condições edafoclimáticas, práticas culturais, ocorrência de patógenos e outras variáveis que alteram o fenótipo das plantas (Borém et al., 2017).

A interação genótipo x ambiente (G x A) ocorre na maneira como os valores de características dos genótipos variam entre os ambientes (Tripodi et al., 2018). De acordo com Borém et al. (2017), a interação G x A é um importante fenômeno para o melhoramento de plantas cultivadas. Os melhoristas executam diferentes experimentos em diferentes condições ambientais para que assim possam comparar e recomendar novas cultivares. Os principais fatores causadores da interação genótipo x ambiente são:

Fatores previsíveis:

- Fotoperíodo
- Tipo de solo
- Fertilidade do solo
- Toxidade por alumínio
- Época de semeadura
- Práticas agrícolas

Fatores imprevisíveis:

- Distribuição pluviométrica
- Umidade relativa do ar
- Temperatura atmosférica e do solo

- Patógenos
- Insetos

Esses fatores afetam a resposta fenotípica de cada genótipo, e se, as variações ambientais forem significativas, as respostas fenotípicas diferem e reduz a correlação entre o fenótipo e o genótipo (Borém et al., 2017).

Os estudos de estimativa da interação G x A são realizados medindo-se os valores das características de diferentes genótipos em diferentes ambientes e, auxiliam na seleção de genótipos adaptados a uma ou mais condições ambientais. Para tanto, são realizados testes de campo com genótipos selecionados e caracterizados em diferentes locais (Tripodi et al., 2018), bem como realizada as análises de relação entre os indivíduos por meio de marcadores moleculares. Os genótipos podem ser representados por clones, irmãos ou populações. Os ambientes podem ser discretos, como claro e escuro, contínuos, como temperatura, ou efeitos ambientais aleatórios, como ano (Tripodi et al., 2018).

Vários estudos relatam a interação G x A em diversas culturas. Monteverde et al. (2019) estudaram a interação de duas populações melhoradas de arroz, em diferentes anos no Uruguai, quanto a características de rendimento, os autores concluíram que algumas características comerciais foram afetadas pela interação G x A, e verificaram que essas diferenças foram em decorrência de fatores abióticos como a umidade relativa do ar e a radiação solar que foram diferentes nos anos do estudo (2009-2013).

Na cultura da pimenta, o estudo realizado por Cabral et al. (2017) reporta os resultados de ensaios entre as interações de híbridos de *C. baccatum* var. *pendulum* em dois ambientes (Cáceres - MT e Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil). Os autores recomendam híbridos diferentes para cada ambiente com base em características de interesse. Foram observadas interações simples e complexas para a maioria das características estudadas, o que enfatiza a necessidade de indicação de híbridos de pimenta de acordo com a região.

3.5. Os minerais e o efeito ambiental

Os macronutrientes, tais como Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) e os micronutrientes Zinco (Zn), Boro (B),

Cobre (Cu), Ferro (Fe), Molibdênio (Mo), Cloro (Cl) e Manganês (Mn) são essenciais para a formação da planta e para o metabolismo vegetal, com funções enzimáticas, regulatórias e iônicas (Raven et al., 2013). Para *Capsicum* spp. teores de macro e micronutrientes foram estabelecidos por Rêgo et al. (2011) (Tabela 1). O fornecimento adequado de nutrientes é essencial para que a planta possa assegurar que o metabolismo vegetal ocorra dentro de faixas consideradas ótimas para se maximizar o potencial produtivo da espécie.

Fatores ambientais têm influência na absorção de alguns minerais pelas plantas. As flutuações de temperatura e umidade afetam a absorção de nutrientes das plantas indiretamente, pelo seu efeito na transpiração e no funcionamento estomático (Tadesse et al., 2001; Inthichack et al., 2010). Os efeitos na captação de nutrientes podem acarretar a interrupção do balanço de nutrientes necessários para obter melhor incremento no crescimento e rendimento de alta qualidade das culturas (Fukumoto et al., 2007; Inthichack et al., 2010) e, em algumas plantas, a influência pode ser menor ou drástica (Tadesse et al., 2001).

Tabela 1. Níveis de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas do gênero *Capsicum*

Nutrientes	Níveis		
	Baixo	Suficiente	Alto
Macronutrientes	dag.kg⁻¹		
N	3,0 – 3,49	3,5 – 5,0	> 5,0
P	0,18 – 0,21	0,22 – 0,7	> 0,8
K	3,0 – 3,49	3,5 – 4,5	> 4,5
Ca	1,0 – 1,29	1,3 – 2,8	> 2,8
Mg	0,26 – 0,29	0,3 – 1,0	> 1,0
Micronutrientes	mg.kg⁻¹		
B	23 - 24	25 - 75	> 75
Cu	4 - 5	6 - 25	> 25
Fe	50 - 59	60 - 300	> 300
Mn	40 - 49	50 - 250	> 250
Zn	18 - 19	20 - 200	> 200

Fonte: adaptado de Rêgo et al. (2011). N= Nitrogênio, P= fósforo, K= Potássio, Ca= Cálcio, Mg= Magnésio, B= boro, Cu= Cobre, Fe= Ferro, Mn= Manganês, Zn= Zinco, dag/kg= Decagrama por quilograma e mg.kg⁻¹ = miligrama por quilograma.

3.6. Espectrometria foliar e suas aplicações

A folha é o principal órgão fotossintetizante, e as características espectrais da vegetação variam em função dos teores de pigmentos fotossintetizantes, estruturas internas e externas e características peculiares de cada espécie. Esses pigmentos nas folhas, principalmente as clorofilas absorvem efetivamente a luz na faixa azul (400-500 nm) e na faixa do vermelho (650-710 nm), enquanto refletem a maior parte da luz verde e amarela (500-600 nm), tornando as folhas verdes a olho nu (Santos et al., 2014). Os carotenoides também absorvem a luz, porém, em outras regiões, que compreendem a faixa do violeta e do azul-esverdeado (420-500 nm) (Figura 1).

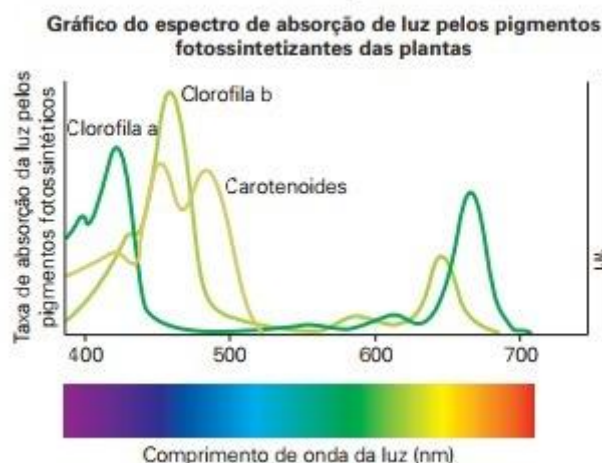


Figura 1. Espectro de absorção dos diferentes pigmentos fotossintéticos, durante a fotossíntese. Fonte: <https://brainly.com.br/tarefa/13204238>

Os feixes luminosos, ao tocarem as estruturas foliares são fracionados, e conseqüentemente ocasionam os fenômenos de absorbância, transmitância e reflectância (Figura 2), que influenciam a resposta espectral da vegetação. A absorbância é a capacidade dos materiais em absorver a radiação eletromagnética (REM) em uma determina região. Um espectro de absorção fornece informações sobre a quantidade de energia luminosa captada ou absorvida por uma molécula ou substância em função do comprimento de onda de luz (Taiz et al., 2017). O fenômeno de transmitância é a fração da luz incidente com um comprimento de

onda específico que atravessa um meio, sem que ocorra alteração na frequência da radiação. A transmitância pode auxiliar na classificação de diferentes tipos atômicos, uma vez que cada um possui uma capacidade distinta de absorver ou transmitir radiação. Já o terceiro fenômeno, o de reflectância, consiste na propriedade que um determinado objeto possui de refletir a REM incidente em sua superfície, sendo o fenômeno mais utilizado nas pesquisas, devido a sua gama de informações. Esses conceitos são a base da espectrometria (Moreira, 2011).



Figura 2. Energia solar chegando à superfície da folha. **A)** Absorbância; **T)** Transmitância e **R)** Reflectância. Fonte: Arquivo pessoal.

Os feixes luminosos, ao incidirem na folha, de maneira direta ou difusa, interagem com pigmentos foliares, água, epiderme e espaços intercelulares preenchidos com ar e, ou água, de maneira a moldar a identidade espectral de cada espécie (Carriello et al., 2003). Segundo Canavesi e Kirchner (2005), as folhas com maior teor de pigmentos fotossintetizantes têm uma maior interação com os comprimentos de onda do espectro visível, resultando em uma maior absorbância e conseqüentemente menores valores de reflectância e transmitância. Dessa forma, a espectrometria foliar permite por meio de associações de índices de reflectância foliares, identificar estresses hídricos, deficiências nutricionais e várias outras características fisiológicas das plantas, de forma rápida e não-destrutiva (Dechant et al., 2017; Oliveira et al., 2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição do germoplasma

Foram utilizados 11 acessos de *Capsicum* spp. do Banco de Germoplasma da UENF, sendo oito representantes da espécie *C. chinense*, um acesso da espécie *C. baccatum* e dois da espécie *C. annuum* (Tabela 2).

A escolha dos acessos para este estudo baseou-se na máxima variabilidade relacionada aos caracteres de frutos (cor e formato), conforme resultados prévios obtidos por Sudré et al. (2005) e Bianchi et al. (2020). Nestes trabalhos, os autores quantificaram a divergência genética de 56 e 55 acessos de *Capsicum* spp., respectivamente, com base em descritores morfoagronômicos.

Tabela 2. Acessos de *Capsicum* spp. do banco ativo de germoplasma da UENF e suas respectivas procedências, cor do fruto maduro, formato do fruto e pungência. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020

Acesso	Espécie	Procedência	Cor do fruto maduro	Formato do fruto	Pungência
UENF 1720	<i>C. chinense</i>	UNEMAT	Vermelho	Triangular	Presente
UENF 1768	<i>C. chinense</i>	Belém, PA	Vermelho	Triangular	Ausente
UENF 2079	<i>C. chinense</i>	UNEMAT	Vermelho escuro	Alongado	Presente
UENF 2116	<i>C. chinense</i>	UNEMAT	Laranja	Triangular	Ausente
UENF 1715	<i>C. chinense</i>	Peru	Amarelo-Laranja Pálido	Alongado	Presente
UENF 2051	<i>C. chinense</i>	Campos, RJ	Amarelo	Sino	Presente
UENF 1730	<i>C. chinense</i>	Peru	Marrom	Alongado	Ausente
UENF 1791	<i>C. chinense</i>	São Luiz, MA	Laranja com mancha roxa	Quadrado	Presente
UENF 1381	<i>C. annuum</i>	México	Vermelho	Alongado	Presente
UENF 1422	<i>C. annuum</i>	TOPSEED	Vermelho escuro	Triangular	Ausente
UENF 1732	<i>C. baccatum</i>	Campos, RJ	Vermelho	Campanulado	Presente

Fonte: Sudré et al. (2005); Bianchi (2017).

4.2. Condições de cultivo e delineamento experimental

As sementes foram distribuídas em bandejas de isopor (poliestireno expandido) de 128 células com substrato comercial. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento até que as mudas tivessem dois pares de folhas definitivas. Aos 28 dias após a semeadura, as plantas foram transplantadas para vasos plásticos de cinco litros, contendo substrato comercial. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação com Sombrite (SB) e a Pleno sol (PS), na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da UENF, em Campos dos Goytacazes, RJ, no período de agosto de 2018 a fevereiro de 2019.

Os tratamentos foram compostos por 11 acessos em dois ambientes: tela sombrite 30% (SB) e 100% de luminosidade (PS). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), em arranjo fatorial simples (A x B) genótipo x ambiente, com três repetições e seis plantas por parcela, com espaçamento entre os vasos de 0,5 m e entre linhas 1,0 m totalizando 396 plantas (Figura 3). Práticas recomendadas de manejo para o cultivo de pimentas, desde o transplante até a colheita foram seguidas nos dois ambientes. Foram realizadas duas aplicações de cloreto de potássio e sulfato de amônio nas proporções de 2,25g/48ml e 2,43g/48ml por planta no solo, além da aplicação da solução nutritiva de Hoagland com algumas modificações. A irrigação foi realizada diariamente conforme a demanda hídrica.

Dados ambientais de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (UR%) foram coletados diariamente, utilizando um termohigrômetro digital (INSTRUTHERM, Modelo HT-600), assim como as épocas de germinação, florescimento e frutificação. A intensidade de radiação solar em cada ambiente foi registrada com um sensor de luminosidade (Spectrum[®] Technologies, Inc.). Para tanto foi realizada medições nos dois ambientes em seis pontos distintos na altura da planta, as medições foram realizadas de hora em hora, durante um período de 13 horas (do nascer ao pôr o sol). Os dados foram anotados e reportados em planilha do Excel para posteriores cálculos.



Figura 3. Condições de cultivo do experimento. Plantas de *Capsicum* spp. conduzidas em casa de vegetação sob tela sombrite 52% (SB), UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

4.3. Fenotipagem físico-química

Para a fenotipagem físico-química foram coletados três frutos maduros de cada planta perfazendo 1.188 amostras de cada ambiente, totalizando 2.376 amostras.

4.3.1. Medições dos parâmetros de cor

Para a avaliação da coloração dos frutos, foi utilizado o colorímetro Minolta® modelo CR-300. Foram feitas três medições em pontos distintos do fruto (Figura 4A). Com esse aparelho foi possível especificar as cores usando três coordenadas: L^* , a^* e b^* , conforme a CIE (Comissão Internacional da Iluminação). O eixo L^* representa luminosidade, que varia de zero a 100 (preto/branco); o eixo

a^* refere-se à intensidade de vermelho/verde (+/-); e o eixo b^* à intensidade de amarelo/azul (+/-).

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* foi calculado o índice colorimétrico croma (C^*) ou índice croma, que define uma medida de saturação ou intensidade de cor e varia de cores pálidas (valor baixo) para cores vivas (valor alto). Este índice é calculado pela equação: $C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$ (Oliveira et al., 2010). A calibração do aparelho foi realizada por meio de placa de cerâmica branca, utilizando-se o iluminante D65 ($z = 93,6$; $x = 0,3133$; $y = 0,3195$).

4.3.2. Sólidos Solúveis Totais

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por refratometria, extraíndo duas gotas do pericarpo de cada fruto maduro para a determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST). Utilizou-se um refratômetro digital ATAGO modelo PR 201 (Figura 4B). Os resultados foram expressos em °Brix. Antes de realizar a leitura da amostra, o refratômetro foi calibrado com água destilada.

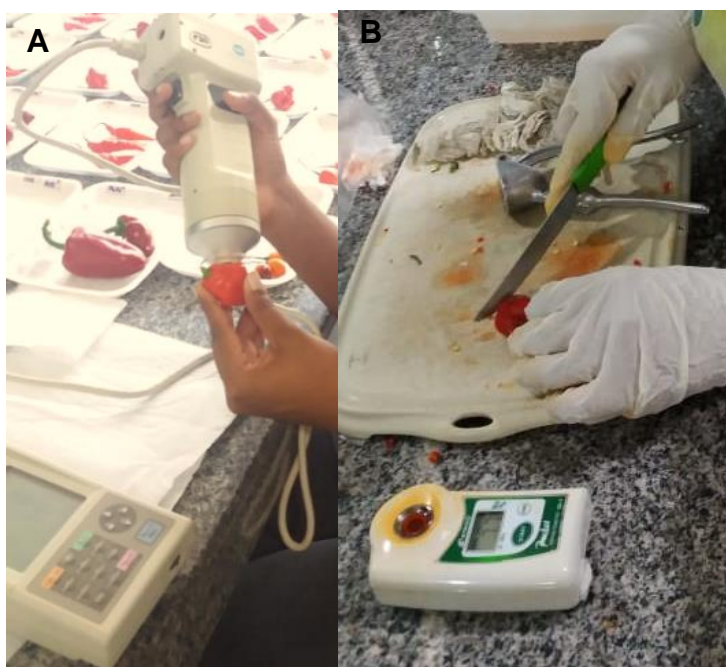


Figura 4. Análise físico-química dos frutos. **A)** Análise colorimétrica e **B)** Análise dos sólidos solúveis totais (SST), UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

4.4. Preparo das amostras e análise de macro e micronutrientes dos frutos

4.4.1. Preparo das amostras

As flores foram etiquetadas na antese para garantir que os frutos coletados estivessem com o mesmo estágio de maturação. Os frutos foram colhidos em *bulk*, aproximadamente 50 dias após a antese. Em seguida foram pesados em balança analítica e armazenados em ultrafreezer (-80 °C). Posteriormente, foram liofilizados por cinco dias à pressão reduzida, em tubos de polipropileno. Os frutos foram pesados novamente, e macerados em nitrogênio líquido, com auxílio de um almofariz de porcelana e bastão de vidro. As amostras foram separadas em alíquotas de aproximadamente 250 mg e armazenadas em tubos de polipropileno. Posteriormente, foram homogeneizadas e digeridas em tubos digestores (Pirex[®]), com 10 mL de ácido nítrico 55% PA (Vetec[®]). Os tubos foram colocados em bloco digestor SL- 25/40 (SOLAB[®]) e submetidos a 140 °C por 2 h (adaptado de Rodushkin et al., 1999). Após a digestão, o conteúdo dos blocos foi transferido quantitativamente para balões volumétricos de 25 mL e completados com água destilada até a marca de aferição. O conteúdo dos balões volumétricos foi transferido para tubos de polipropileno e armazenado à temperatura ambiente no laboratório.

4.4.2. Análise das amostras por ICP-OES

Inicialmente foi realizada uma análise qualitativa de uma das amostras (UENF 1720, bloco 1, PS) por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), para obter as concentrações aproximadas dos elementos e determinar a faixa de concentração para a solução padrão multi-elementar a ser utilizada nas curvas de calibração. A leitura das amostras foi feita utilizando gás argônio 5.0 (99,999% de pureza) White Martins.

4.5. Análise de reflectância foliar

O mini espectrômetro foliar portátil CI-710 (CID-Bio-Science, Inc., Camas, Washington, USA) é um instrumento que mede o espectro de refletividade,

transmissão ou absorção das folhas, seja no campo ou no laboratório. Ele tem sido utilizado como um método não destrutivo por inúmeros pesquisadores em diversas áreas para avaliação dos pigmentos foliares.

Para avaliar a influência das condições ambientais nos índices de reflectância foliares das plantas de *Capsicum* foi utilizado o mini espectrômetro portátil de folha CI-710 (CID Bio-Science), configurado para realizar as leituras de reflectância, adotando o tempo de integração do sinal ajustado para 300 ms, fator de *Integration Time* em seu valor mais elevado, relação sinal: ruído *Scans Average* 2 e valor 10 para *Boxcar Width* (Oliveira et al., 2017; Janeczko et al., 2018).

As medições foram realizadas em uma folha, em quatro plantas por parcela. Nesta avaliação foram considerados apenas um acesso representante de cada uma das três espécies estudadas: UENF 1381 (*C. annum*), UENF 1732 (*C. baccatum*) e o acesso UENF 2079 (*C. chinense*) escolhido ao acaso entre os acessos da espécie *C. chinense*. As medições foram feitas durante o estágio de frutificação em quatro períodos: 45, 52, 59 e 66 dias após a frutificação (DAFR), as medidas foram realizadas na porção média do lado adaxial da folha. As folhas foram marcadas com barbante para a identificação durante as avaliações. Os índices de reflectância foliar analisados foram os seguintes:

- a. **Índice de Reflectância de Antocianina (ARI):** $ARI1 = (1 / R_{550}) - (1 / R_{700})$ e $ARI2 = [(1/R_{550}) - (1/R_{700})] \times R_{800}$ (Merzlyak et al., 1999): onde o primeiro termo está associado à absorção combinada por antocianina e clorofila, o segundo relacionado apenas à absorção de clorofila bem como pela absorção do pigmento, e depende apenas da dispersão das folhas. Pode variar de 0 a 0,2.
- b. **Índice de Reflectância de Carotenoides (CRI):** $CRI1 = (1 / R_{510}) - (1 / R_{550})$ e $CRI2 = (1 / R_{510}) - (1 / R_{700})$ (Gitelson et al., 2002): onde o primeiro termo entre parênteses se associa à absorção combinada por carotenoides e clorofila, e o segundo refere-se à absorção de clorofila. Podendo variar de 0 a 15.
- c. **Índice de Reflectância de Flavonoides (FRI):** $[(1 / R_{410}) - (1 / R_{460})] \times R_{800}$ (Merzlyak et al., 2005): a reflectância está intimamente relacionada ao

conteúdo de clorofila e carotenoides e minimamente afetada pela absorção de flavonoides.

- d. **Índice de Verde (G):** R_{554}/R_{677} (Smith et al., 1995). Está associado a clorofila.
- e. **Combinação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (CNDVI):** $(R_{750} - R_{705})/(R_{750} + R_{705})$ (Sun et al., 2011), pode variar de -1 a 1.
- f. **Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI):** $(R_{531} - R_{570})/(R_{531} + R_{570})$ (Gamon et al., 1992): está relacionado com mudanças na intensidade de reflectância em torno de 531 nm e informa sobre as alterações do pigmento no ciclo xantófilo, que geralmente acompanham o estresse. Pode variar de -1 a 1.
- g. **Índice de Banda de Água (WBI):** R_{900}/R_{970} (Peñuelas et al., 1997): usado para rastrear mudanças no conteúdo relativo de água (RWC), potencial de água foliar e condutância estomática (Peñuelas et al., 1993) e pode variar de -1 a 1.
- h. **Índice de pigmento estrutural independente (SIPI):** $(R_{800} - R_{445})/(R_{800} - R_{680})$ (Peñuelas et al., 1995a): está associado à relação entre os carotenoides totais para clorofila a e pode variar de 0 a 2.
- i. **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI):** $(R_{800} - R_{680})/(R_{800} + R_{680})$ (Rouse et al., 1974): razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho do visível e pela soma dessas mesmas refletividades. É um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1.
- j. **Índice de Reflectância da Senescência das Plantas (PSRI):** $(R_{680} - R_{500})/R_{750}$ (Merzlyak et al., 1999): relacionado com as mudanças relativas no conteúdo de clorofila e carotenoides, podendo variar de -1 a 1.

- k. Índice de Clorofila Pigmentada Normalizada (NPCI):** $(R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$ (Peñuelas et al., 1994).
- l. Índice de Feofitinação Normalizada (NPQI):** $(R_{415} - R_{435}) / (R_{415} + R_{435})$, (Peñuelas et al., 1995b).
- m. Índice de Pigmento de Proporção Simples (SRPI):** R_{430} / R_{680} (Peñuelas et al., 1995b).

Na Tabela 3 encontra-se a classificação dos índices de reflectância foliar proposto por Liu et al. (2019) e suas respectivas reflectâncias, todos os 15 índices apresentados foram avaliados.

Tabela 3. Índices de reflectância foliar e suas equações, UENF, Campos dos Goytacazes, 2020

Índice de reflectância foliar	Equação
<i>Índice de vegetação</i>	
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	$(R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$
Combinação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (CNDVI)	$(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$
Índice de Verde (G)	R_{554} / R_{677}
<i>Índice de água</i>	
Índice de Banda de Água (WBI)	R_{900} / R_{970}
<i>Índice de borda vermelha</i>	
Índice de Feofitinação Normalizada (NPQI)	$(R_{415} - R_{435}) / (R_{415} + R_{435})$
<i>Índice de clorofila e carotenoide</i>	
Índice de Reflectância das Antocianinas 1 (ARI1)	$(1 / R_{550}) - (1 / R_{700})$
Índice de Reflectância das Antocianinas 2 (ARI2)	$[(1 / R_{550}) - (1 / R_{700})] \times R_{800}$
Índice de Reflectância dos Carotenoides 1 (CRI1)	$(1 / R_{510}) - (1 / R_{550})$
Índice de Reflectância dos Carotenoides 2 (CRI2)	$(1 / R_{510}) - (1 / R_{700})$
Índice de Reflectância da Senescência das Plantas (PSRI)	$(R_{680} - R_{500}) / R_{750}$
Índice de pigmento estrutural independente (SIPI)	$(R_{800} - R_{445}) / (R_{800} - R_{680})$
Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI)	$(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$
Índice de Reflectância dos Flavonoides (FRI)	$[(1 / R_{410}) - (1 / R_{460})] \times R_{800}$
Índice de Clorofila Pigmentada Normalizada (NPCI)	$(R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$
Índice de Pigmento de Proporção Simples (SRPI)	R_{430} / R_{680}

Fonte: Adaptado de Liu et al. (2019).

R= Reflectância.

4.6. Análise Estatística

4.6.1. Análise de luminosidade dos ambientes

Para integralizar o progresso da luminosidade nos ambientes ao longo do dia, foi utilizada a fórmula que avalia o progresso da doença (AACPD) de Shaner e Finney (1977):

$$\text{AACPD} = \frac{y_1 + y_2}{2} \times (t_2 - t_1)$$

Adaptada para área abaixo da curva de progresso da luminosidade (AACPL):

$$\text{AACPL} = \frac{y_1 + y_2}{2} \times (t_2 - t_1)$$

Onde: $y_1 + y_2$ = valores de luminosidade observados em medições consecutivas; $t_2 - t_1$ = intervalo em horas, entre as medições.

4.7.2 Análise de variância dos dados físico-químico e minerais

Foi realizada a análise de variância conjunta para as características físico-químicas e minerais de acordo com o delineamento em blocos ao acaso, seguindo o modelo estatístico descrito abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + (B/A)_{jk} + \xi_{ijk}$$

Em que:

μ : média geral;

G_i : efeito do i -ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, g$);

A_j : efeito do j -ésimo ambiente ($j = 1, 2, \dots, a$);

GA_{ij} : efeito da interação do i -ésimo genótipo com o j -ésimo ambiente;

B/A_{jk} : efeito do k -ésimo bloco dentro do j -ésimo ambiente ($k = 1, 2, \dots, r$);

ξ_{ijk} : erro aleatório.

No modelo descrito, os blocos $[(B/A)_{jk} \sim \text{NID}(0, b^2 \sigma^2)]$ e o erro são considerados de efeitos aleatórios $[e_{ijk} \sim \text{NID}(0, 2 \sigma^2)]$ e os genótipos, os ambientes e a interação genótipos x ambientes são considerados efeitos fixos (Tabela 4).

Tabela 4. Esquema da análise de variância para avaliação interação genótipo X ambiente em 11 acessos de *Capsicum* spp., em ambiente sombreado e a pleno sol. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

FV	GL	QM	E(QM)
Blocos/Ambientes	a(r-1)	QMB	$\sigma_e^2 + g\sigma_r^2$
Ambientes (A)	(a-1)	QMA	$\sigma_e^2 + r\sigma_{ga}^2 + rg\sigma_r^2 + gr\sigma_a^2$
Genótipos (G)	(g-1)	QMG	$\sigma_e^2 + r\sigma_{ga}^2 + ar\sigma_g^2$
G X A	(g-1)(a-1)	QMGA	$\sigma_e^2 + r\sigma_{ga}^2$
Erro	a(r-1)(g-1)	QME	σ_e^2

4.7.3 Análise de variância dos índices de reflectância foliar

Foi realizada a análise de variância conjunta para os genótipos e ambientes, sendo os ambientes formados pela combinação de locais (SB e PS) e dias (45, 52, 59 e 66 DAFR), tendo como principal objetivo determinar possíveis interações de genótipos com ambientes ao longo dos dias (Tabela 5), de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + (B/A)_{jkm} + G_i + D_j + A_k + GD_{ij} + GA_{ik} + DA_{jk} + GDA_{ijk} + E_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : observação do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente no k-ésimo bloco;

μ : constante geral;

G_i : efeito fixo do i-ésimo genótipo;

A_j : efeito fixo do j-ésimo ambiente;

D_k : efeito fixo do k-ésimo dia;

GA_{ij} : efeito fixo da interação entre o i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;

GD_{ik} : efeito fixo da interação entre i-ésimo genótipo com k-ésimo dia;

AD_{jk} : efeito fixo da interação entre j-ésimo ambiente com k-ésimo dia;

GAD_{ijk} : efeito fixo da interação entre i-ésimo genótipo com j-ésimo ambiente com k-ésimo dia;

ε_{ijk} : erro aleatório experimental médio associado à observação Y_{ijk} , NID $(0, \sigma^2)$.

Tabela 5. Esquema da análise de variância para avaliação interação genótipo x ambiente x dia, em 11 acessos de *Capsicum* spp., em ambiente sombreado e a pleno sol. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

FV	GL	QM	E(QM)
B/A/D	d(r-1)	QMB	$\sigma^2 + g\sigma_b^2$
Dia (D)	(d-1)	QMD	$\sigma^2 + r\sigma_{gad}^2 g\sigma_b^2 + rg\sigma_{ad}^2 + rl_{gd}^2 + rgl\sigma_d^2$
Ambiente (A)	(a-1)	QMA	$\sigma^2 + r\sigma_{gal}^2 g\sigma_b^2 + rg\sigma_{ad}^2 + ra_{ga}^2 + rga\sigma_a^2$
Genótipos (G)	(g-1)	QMG	$\sigma_e^2 + g\sigma_e^2 + r\sigma_{gad}^2 rl\sigma_{ga}^2 + ra\sigma_{ga}^2 + ral_g^2$
D X A	(d-1) (a-1)	QMDA	$\sigma^2 + r\sigma_{gad}^2 g\sigma_b^2 + rg\sigma_{ad}^2$
G X D	(g-1) (d-1)	QMGD	$\sigma_e^2 + r\sigma_{gad}^2 rl\sigma_{gd}^2$
G x A	(g-1) (a-1)	QMGA	$\sigma_e^2 + r\sigma_{gad}^2 ra\sigma_{ga}^2$
G x D x A	(g-1) (d-1) (a-1)	QMGD A	$\sigma_e^2 + r\sigma_{gad}^2$
Erro	d(r-1) (g-1)	QME	σ_e^2

Os dados dos índices de reflectância foliar foram transformados com auxílio do programa BioEstat 5.0 para atender os pressupostos de homogeneidade e normalidade. A transformação utilizada foi a recíproca (1/x).

4.7.4. Comparação entre as médias

Para comparação da interação genótipo nos ambientes foi realizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade para os índices de reflectância foliar. Para as demais características foi realizado o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, com auxílio do programa Genes (Cruz, 2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de temperatura e umidade relativa (UR%), nos ambientes SB e PS verificados durante o período de condução do experimento podem ser observados na Figura 5a. Durante o período de condução do experimento, a média geral de temperatura foi maior a pleno sol (PS), com 2,8 °C a mais que no ambiente sombreado (SB). Quanto a umidade relativa, verificou-se maior valor em SB (46%) e 38% em PS, uma diferença de 8%.

Utilizando a fórmula da AACPL, foi possível acompanhar o progresso da luminosidade ao longo do dia. Na Figura 5b, observou-se que em SB a área da curva da luminosidade foi menor do que PS, sendo que menor área corresponde a menor quantidade de luz em $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ que atinge a superfície foliar da planta. No ambiente sombreado houve uma redução da luminosidade de 52% ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

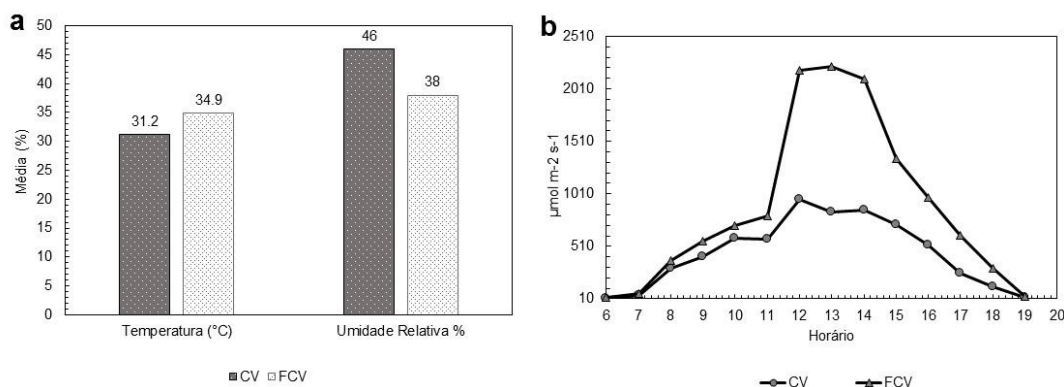


Figura 5. Dados climatológicos relativos ao experimento: **a)** Médias de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa (%) no ambiente Sombreado (SB) e a pleno sol (PS), de agosto de 2018 a fevereiro de 2019. **b)** Luminosidade em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mensurada desde o nascer ao pôr do sol nos dois ambientes. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

O clima exerce forte influência na germinação, no florescimento, no desenvolvimento e na frutificação das plantas de pimenta. A temperatura ideal para a produção de pimentão varia entre 20 e 25 $^{\circ}\text{C}$ (Saha et al., 2010) e a intensidade de luz necessária é de 1.400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Díaz-Pérez, 2013).

Existem poucos estudos que correlacionam a intensidade luminosa com a floração e frutificação das plantas do gênero *Capsicum*, e os poucos que existem se restringem a avaliação em casa de vegetação e a espécie *C. annuum* (Jaimez e Rada, 2011). Aloni et al. (1994) observaram que a diminuição de 60 a 90% da radiação solar induziu um aumento na abscisão das flores e uma diminuição nas taxas de assimilação de CO_2 que diferiram entre as cultivares de *C. annuum*. Contudo, o aumento da luminosidade assim como temperaturas elevadas e baixa umidade também induzem o aborto das flores (Aloni et al., 1996). Tanto a quantidade quanto a qualidade da luz têm um impacto significativo no crescimento, desenvolvimento e tempo de floração em muitas espécies de plantas (Randall e Lopez, 2014).

Estatisticamente houve diferença significativa a 1% de probabilidade para ambas as variáveis: dias para florescimento (DPFL) e dias para frutificação (DPFR). O DPFL foi significativo para os genótipos e para o ambiente, já DPFR foi significativo para todas as fontes de variação (Tabela 6). Os dias para germinação dos acessos ficaram entre 9 e 15 dias, com média de 11 dias, sendo o acesso

UENF 1732 (*C. baccatum*) o mais precoce e o acesso UENF 1422 (*C. annuum*), o mais tardio para a germinação (Tabela 7).

Tabela 6. Resumo da análise de variância em esquema fatorial para as variáveis quantitativas para os 11 acessos de *Capsicum* spp., em dois ambientes. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

FV	GL	Quadrado Médio	
		DPFL	DPFR
Genótipo	10	398,40**	62,30**
Ambiente	1	767,04*	407,51
G x A	10	30,71 ^{ns}	43,64**
Resíduo	40	22,81	12,60
Média		57,00	100,00
CV (%)		8,37	3,52

^{ns} não significativo, ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste F. DPFL=Dias para floração; DPFR= Dias para frutificação.

Dias para florescimento (DPFL) e dias para frutificação (DPFR) foram considerados após o transplante (20 dias após a semeadura). Para ambas as variáveis, as médias foram menores para as plantas cultivadas em PS, ou seja, as plantas floresceram e frutificaram antes que as plantas cultivadas em ambiente SB, as médias foram de 53 e 98 dias, respectivamente e em ambiente SB, as médias foram de 60 e 103 dias, respectivamente (Tabela 7).

De acordo com Rêgo et al. (2011), as primeiras colheitas de pimentas precoces, como a pimenta-murupi (*C. chinense*), são feitas a partir de 80 dias após a semeadura e de pimentas tardias, como a pimenta-malagueta (*C. frutescens*), após 120 dias. No presente trabalho, os acessos foram transplantados 20 dias após a semeadura, desta forma somando-se os 20 dias desde a semeadura até o transplante os acessos levaram em média 118 dias para frutificar no ambiente PS e 123 dias no ambiente SB (Tabela 7). Com base na classificação de Rêgo et al. (2011), todos os acessos caracterizados neste estudo foram considerados tardios para a frutificação, em ambos os ambientes. Na comparação entre as espécies para a variável DPFL, os acessos UENF 1720 (*C. chinense*), UENF 1381 e UENF 1422 (*C. annuum*) foram os mais precoces e floresceram com média de 11, 13 e 10 dias, respectivamente. Para a variável DPFR foram os mais precoces para ambas as variáveis (Tabela 7).

Tabela 7. Médias das variáveis de germinação, floração e frutificação dos 11 acessos de *Capsicum* ssp. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

Acessos	Ambientes				
		SB	PS	SB	PS
	DPG	DPFL	DPFL	DPFR	DPFR
<i>C. chinense</i>					
UENF 1768	11	61 Ab	58 Ab	102 Ab	101 Ab
UENF 1791	11	62 Ab	60 Ab	103 Ab	092 Bb
UENF 2079	11	68 Ab	52 Bb	102 Ab	101 Ab
UENF 1730	09	59 Ab	57 Ab	106 Aa	100 Bb
UENF 1715	11	62 Ab	53 Bb	103 Ab	097 Bb
UENF 2116	11	62 Ab	54 Bb	102 Ab	099 Ab
UENF 1720	11	51 Ac	49 Ac	102 Ab	098 Bc
UENF 2051	11	78 Aa	70 Aa	105 Aa	109 Aa
<i>C. annuum</i>					
UENF 1381	13	47 Ac	40 Ac	102 Ab	090 Bc
UENF 1422	10	52 Ac	41 Bc	102 Ab	089 Bc
<i>C. baccatum</i>					
UENF 1732	15	59 Ab	52 Ab	101 Ab	101 Ab
Média	11	60	53	103	98

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não diferem entre si, e médias seguidas pela mesma letra minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott. DPG= Dias para germinação (após o surgimento de dois pares de folhas); DPFL= Dias para floração (20 dias após a semeadura); DPFR= Dias para frutificação (20 dias após a semeadura).

5.1. Análise físico-química

5.1.1. Colorimetria

Houve diferença significativa para todas as variáveis analisadas com ($p \leq 0,01$ e $0,05$) indicando variabilidade entre os genótipos. Os CVs foram baixos para todas as variáveis (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância em esquema fatorial para os parâmetros de cor dos 11 acessos de *Capsicum* spp., em dois ambientes, UENF, Campos dos Goytacazes, 2020

FV	GL	Quadrado Médio				
		L*	a*	b*	C*	°Brix
Genótipo	10	7760,11**	1439,46**	4835,80**	1160,73**	219,48**
Ambiente	1	116,38*	65,46**	62,88**	107,15 ^{ns}	0,41 ^{ns}
G x A	10	472,64**	236,86**	429,57**	429,22**	16,03*
Resíduo	40	481,75	200,33	187,67	188,27	28,83
Média		44,92	25,49	25,38	38,01	7,99
CV (%)		7,72	8,77	8,53	5,70	10,61

^{ns} não significativo, ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F. L*= luminosidade; a*= vermelho; b*= amarelo; C*= croma e °Brix= teor de sólidos solúveis totais

Conforme o valor médio de cada parâmetro de cor, foi possível a classificação dos frutos em sete classes com os parâmetros L^* , a^* e b^* e o índice de croma (C^*) (Tabela 9). Os valores de a^* e b^* para frutos vermelhos variaram de 30,80 a 40,63 e de 14,62 a 32,30, respectivamente. Para frutos amarelos, os valores variaram de 1,86 a 4,54 (a^*) e de 23,26 a 25,71 (b^*), respectivamente. Frutos alaranjados obtiveram valores de a^* e b^* entre 23,26 a 31,97 e de 30,06 a 40,44, respectivamente, e por fim os valores de a^* e b^* para frutos marrons foram de 3,27 e 4,76, respectivamente.

O parâmetro L^* e o índice de C^* permitiram a classificação dos frutos de acordo com sua tonalidade e intensidade de cor: vermelho (UENF 1732) vermelho-escuro (UENF 1768, UENF 1381, UENF 1720, UENF 2079 e UENF 1422), amarelo-claro (UENF 2051), amarelo-laranja-pálido (UENF 1715), laranja (UENF 2116), laranja com manchas roxas (UENF 1791) e marrom (UENF 1730) (Figura 6). Frutos com tonalidade mais clara (amarelo e laranja) tiveram valores de L^* mais altos, e frutos mais escuros (vermelho e marrom) valores de L^* mais baixos. De acordo com Ferreira e Spricigo (2017), altos valores de L^* representam tons mais claros, e o oposto indica tons mais escuros. Os acessos UENF 1715 e UENF 2116 obtiveram menores valores de L^* quando cultivados em PS conferindo aos frutos um aspecto mais escuro que aqueles cultivados em SB.

Em relação ao C^* , que é definido como o nível de saturação da cor e representa um atributo quantitativo para a intensidade, foram observados menores valores para os acessos UENF 1715, UENF 2051 e UENF 1730. Estes apresentam frutos de cor neutra (amarelo e marrom) com baixa saturação e opacos, enquanto os frutos com cores puras (vermelho e laranja) possuem alta saturação e são mais brilhantes. Os acessos UENF 1381 e UENF 1422, pertencentes a espécie *C. annuum* obtiveram menores valores de C^* nos frutos cultivados em PS, sendo um indicativo de que a redução da intensidade pode ter ocorrido devido ao estresse abiótico. Vale ressaltar que é desejável valores altos para o C^* , pois quanto mais alto são seus valores os frutos tendem a apresentarem cores mais vivas (Ergünes e Tarhan, 2006).

Em estudo com cultivares de *C. annuum*, León et al., (2013) obtiveram resultados semelhantes para os valores de L^* e C^* . Os autores encontraram menor valor de L^* para a cultivar 'Condor' (*C. annuum*) cultivada em plena luz ($L^*=34$) comparado com o cultivo em casa de vegetação ($L^*=40$) da mesma forma, os

maiores valores de C* foram encontrados para os frutos cultivados em casa de vegetação.

Os acessos UENF 2079, UENF 1720, UENF 1732 e UENF 1422 tiveram coloração vermelha intensa, considerada ótima para a produção de páprica. Este processamento agrega valor ao produto, uma vez que é produzido a partir de frutos maduros de pimenta e pimentão de coloração vermelha intensa e brilhante e, portanto, tem maior valor comercial do que os frutos de coloração vermelho-alaranjado (Ribeiro, 2012).

Tabela 9. Médias dos parâmetros de cor e de SST dos frutos de *Capsicum* spp. submetidos a diferentes condições ambientais. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

Acessos	Cor			C*	°Brix
	L*	a*	b*		
SB					
<i>C. chinense</i>					
UENF 1768	42,58 Ac	36,21 Ab	28,69 Ab	46,32 Ab	5,98 Ad
UENF 1791	55,76 Ab	22,17 Ac	40,44 Aa	46,29 Ab	10,66 Ab
UENF 2079	41,67 Ac	40,45 Aa	29,56 Ab	50,16 Aa	7,20 Ad
UENF 1730	25,61 Ae	3,27 Ad	4,76 Ae	5,87 Ae	9,25 Ac
UENF 1715	59,49 Ab	2,35 Ad	23,26 Ac	23,39 Ad	6,74 Ad
UENF 2116	53,43 Ac	31,97 Ab	30,06 Bb	45,76 Ab	6,24 Ad
UENF 1720	43,29 Ac	37,86 Aa	27,60Ab	47,38 Aa	7,19 Ad
UENF 2051	70,88 Aa	1,20 Ad	24,33 Ac	24,60 Ad	7,76 Ad
<i>C. annuum</i>					
UENF 1381	35,15 Ad	34,62 Ab	17,64 Ad	38,92 Ac	13,04 Aa
UENF 1422	43,97Ac	40,45 Aa	31,80 Ab	51,69 Aa	7,27 Ad
<i>C. baccatum</i>					
UENF 1732	43,97 Ac	40,63 Aa	31,80 Ac	51,69 Aa	7,48 Ad
OS					
<i>C. chinense</i>					
UENF 1768	42,11 Ad	34,31 Ab	26,73 Ac	43,59 Ab	5,59 Ac
UENF 1791	52,69 Ab	22,58 Ad	36,98 Aa	43,47 Ab	11,14 Aa
UENF 2079	40,69 Ad	40,12 Aa	28,31 Ac	49,22 Aa	8,44 Ab
UENF 1730	25,71 Af	3,52 Ae	4,76 Ae	5,99 Ae	9,56 Aa
UENF 1715	44,46 Bc	1,86 Ae	24,49 Ac	24,75 Ad	6,48 Ac
UENF 2116	46,47 Bb	23,67 Bd	34,73Aa	45,08 Ab	6,52 Ac
UENF 1720	39,58 Ad	37,70 Aa	24,36 Ac	44,99 Ab	6,82 Ac
UENF 2051	67,72 Aa	4,54 Ae	25,71 Ac	27,34 Ad	6,30 Bc
<i>C. annuum</i>					
UENF 1381	34,41 Ae	30,80 Bc	14,62 Ad	34,14 Bc	10,58 Ba
UENF 1422	34,88 Ad	30,56 Bb	15,49 Bd	34,28 Bc	7,91 Ab
<i>C. baccatum</i>					
UENF 1732	43,97 Ac	39,85 Ac	32,30 Ab	51,38 Aa	7,72 Ab

Letra maiúscula na mesma coluna, compara os ambientes, e letra minúsculas, na mesma coluna, compara os acessos. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de agrupamento de média de Scott-Knott. L*= luminosidade; a*= vermelho; b*= amarelo; C*= croma e °Brix= teor de sólidos solúveis totais. SB (Sombreado); PS (Pleno sol).

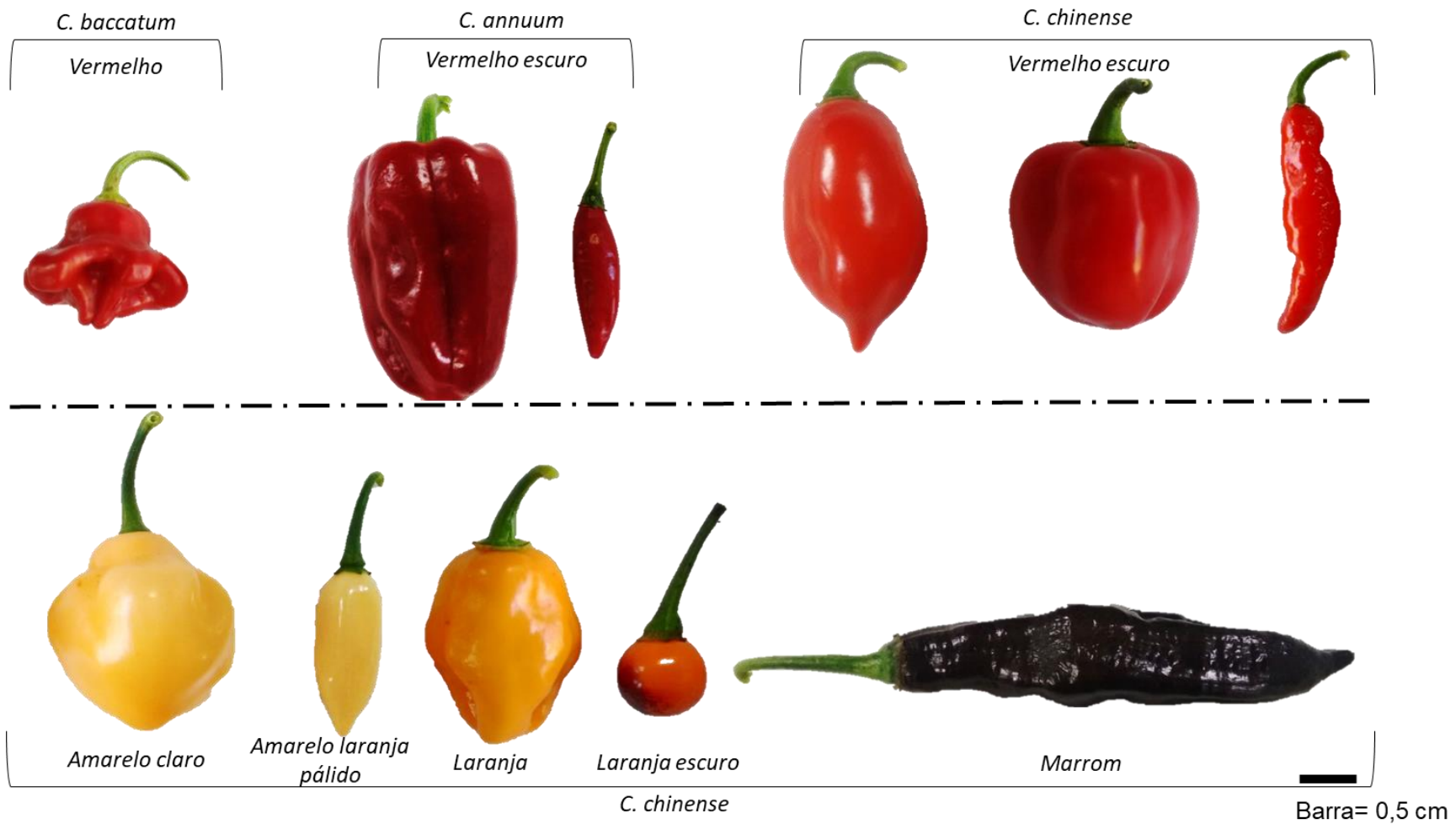


Figura 6. Variabilidade de cor, tonalidade, intensidade e formato de frutos dos acessos de *Capsicum* spp. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

As pimentas são comercializadas tanto no mercado fresco como também no de processamento, de acordo com sua coloração, e outros atributos agrônômicos. Na Tabela 10, estão as respectivas colorações mais encontradas no mercado de pimenta e suas respectivas utilizações nos mais diversos nichos de mercado.

Tabela 10. Principais utilizações das pimentas (*Capsicum* spp.) pelo mercado consumidor de acordo com a coloração dos frutos.

Cor do fruto maduro	Mercado consumidor
Vermelho	Molhos, conserva
Vermelho escuro	páprica, corantes, aromatizantes
Amarelo	Molhos, conserva
Laranja	Molhos, conserva

5.1.2. Sólidos solúveis totais

Houve diferença significativa para as fontes de variação genótipo e na interação genótipo x ambiente com $p \leq 0,05$ (Tabela 8). Observou-se grande variabilidade no teor de sólidos solúveis totais, variando de 5,59 a 13,04 °Brix (Tabela 9). O grau Brix representa a quantidade de sólidos solúveis presente na polpa da fruta, em sua maioria, os sólidos são compostos por açúcares totais, e desta forma pode ser utilizado na sua estimativa (Azevedo et al., 2018).

Os resultados encontrados neste estudo foram superiores a outros trabalhos com frutos de *Capsicum*. Oliveira et al. (2018) encontraram valores de 6,79 °Brix em frutos de pimenta-biquinho (*Capsicum chinense* Jacq.) e Moreira et al. (2017) também obtiveram valores inferiores com o pimentão 'Magali' (3,5 °Brix), em frutos pós-colheita. Os sólidos solúveis totais indicam a quantidade de sólidos que estão presentes na polpa de frutas, e tendem a aumentar com o avanço da maturação (Almeida, 2010). Foi observado nos acessos UENF 1381 e UENF 2051 cultivados em PS menores valores de °Brix, iguais a 10,58 e 6,30, respectivamente. Enquanto em ambiente SB, os valores foram de 13,04 e 7,76, respectivamente. León et al. (2013) obtiveram resultados contrastantes, em cultivo de campo aberto,

os autores encontraram valores de °Brix maiores para duas cultivares de *C. annuum*, em comparação ao cultivo em casa de vegetação.

O mercado consumidor de pimenta tem interesse em frutos com maior teor de sólidos solúveis totais, pois quanto maior o grau °Brix na polpa, menor é o consumo de energia gasto na obtenção da polpa concentrada, já que a cada °Brix de aumento na matéria-prima, há um aumento de 20% no rendimento industrial (Koetz et al., 2010).

De modo geral, os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e C^* obtiveram menores valores nos frutos conduzidos em PS, assim como o °Brix. Esses resultados indicam que os fatores abióticos: alta temperatura, baixa umidade relativa e alta luminosidade influenciaram nas características físico-químicas dos frutos de *Capsicum* spp. Outros atributos de qualidade também podem ser influenciados pelo ambiente, como a concentração de capsaicinoides. Na literatura há relatos em que o sombreamento acima de 50% pode resultar em maior rendimento de capsaicinoides, e níveis específicos de sombreamento pode ser gerenciados para maximizar o rendimento desse alcaloide para cultivares de *C. chinense* (Jeeatid et al., 2017).

5.2. Análise mineral

Houve diferença altamente significativa ($p \leq 0,01$) para todas as fontes de variação, evidenciando a existência de variabilidade genética entre os genótipos, e influência ambiental (Tabela 11).

As plantas absorvem os elementos disponíveis no solo, e assim como outros processos, a absorção iônica também está sob controle genético. O processo de absorção apresenta certa seletividade e existem diferenças intra e interespecífica, nas quais as diferenças são observadas na capacidade e, ou velocidade de absorção (Faquin, 2005).

A diferença significativa na interação genótipo x ambiente aponta que os genótipos se respondem de maneira distintas quando submetidos a diferentes condições ambientais. Portanto, estes genótipos constituem fonte de variabilidade quanto à absorção e acúmulo de minerais no fruto, úteis em programas de melhoramento visando, não somente o acúmulo desses minerais nos frutos, mas

também outras características de interesse agrônomo que podem ser exploradas em diferentes ambientes.

Tabela 11. Resumo da análise de variância em esquema fatorial para os minerais dos 11 acessos de *Capsicum* spp. em dois ambientes, UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

FV	GL	Quadrado Médio			
		Ca (g.kg ⁻¹)	K (g.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)
Genótipo	10	29,35**	9,58**	40,26**	5853,54**
Ambiente	1	4,80 ^{ns}	15,44 ^{ns}	6,47 ^{ns}	35,18**
G x A	10	70,20**	1,51 ^{ns}	12,44**	11,34**
Resíduo	40	2,67	1,33	3,02	111,78
Média		3,18	10,91	12,74	19,76
CV (%)		51,31	10,57	13,64	53,48

FV	GL	Quadrado Médio			
		Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Na (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Genótipo	10	1507096,67**	32656,22**	71072,19**	10270,67**
Ambiente	1	24910,96 ^{ns}	1752,34 ^{ns}	20739,79**	0,02 ^{ns}
G x A	10	49234,41*	8824,65**	11386,02**	625,51**
Resíduo	40	18606,81	1562,20	318,08	79,49
Média		422,82	108,79	60,31	49,75
CV (%)		32,26	36,32	29,56	17,91

^{ns}, não significativo, * e ** significativo a 5% e altamente significativo a 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

Alguns genótipos tiveram médias iguais ou abaixo da concentração do branco no momento da leitura pelo ICP-OES, ou seja, suas médias estavam em concentrações tão baixas que não puderam ser detectadas (ND) (Tabela 12).

Em ambiente SB observou-se que a maior média de Ca foi encontrada em frutos da espécie *C. annuum* (9,07 g.kg⁻¹) e a menor em *C. baccatum* (0,14 g.kg⁻¹). Porém, em ambiente a PS, as médias das espécies *C. annuum* (4,77 g.kg⁻¹) e *C. chinense* (2,25 g.kg⁻¹) foram inferiores as obtidas no ambiente a pleno sol. Já *C. baccatum* (6,72 g.kg⁻¹) foi superior a pleno sol. (Tabela 12). O Ca é um constituinte da parede celular e permanece em sua forma iônica, e possui importante papel como cofator enzimático na regulação de potenciais osmóticos e no controle da permeabilidade de membrana (Taiz et al., 2017). Desta forma, o Ca contribui para a integridade da parede celular impedindo que as células sejam danificadas por fatores externos, assim como, para balancear a concentração de líquido no meio intracelular, sendo capaz de regular a concentração de água na célula.

Tabela 12. Média da concentração dos minerais em frutos secos de *Capsicum* spp. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

Acessos		Ca (g.kg ⁻¹)	K (g.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Na (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
SB	C. chinense								
	UENF 1768	6,89 Ac	11,22 Ab	11,53 Ab	ND	ND	9,00 Ab	ND	ND
	UENF 1791	11,83 Aa	11,67 Ab	13,74 Aa	ND	ND	43,88 Ab	ND	13,10 Af
	UENF 2079	0,65 Ac	11,61 Ab	13,90 Aa	ND	ND	48,96 Ab	ND	3,83 Bf
	UENF 1730	0,27 Ba	11,41 Ab	12,01 Ab	ND	ND	88,62 Ab	40,67 Bb	29,79 Ae
	UENF 1715	8,90 Ab	12,01 Ab	16,64 Aa	1,15 Bc	136,86 Bd	95,82 Bb	35,85 Ab	47,03 Bd
	UENF 2116	0,11 Ab	13,74 Aa	14,45 Aa	23,51 Ab	472,23 Ac	104,67 Ab	48,12 Bb	77,52 Ab
	UENF 1720	0,17Ab	12,17 Ab	14,95 Aa	59,36 Aa	1450,95 Aa	263,74 Aa	ND	113,65 Aa
	UENF 2051	ND	11,29 Ab	10,24 Ac	54,88 Ba	1228,86 Aa	129,00 Aa	ND	115,40 Ba
	Média	4,80	11,89	13,43	34,73	822,23	97,96	41,55	57,19
	C. annuum								
	UENF 1381	ND	10,69 Ac	15,25 Aa	ND	ND	ND	343,82 Aa	ND
	UENF 1422	9,07Ab	9,28 Ac	11,89 Ab	7,45 Ac	608,50 Ac	172,69 Aa	ND	65,02 Ac
Média	9,07	9,99	13,57	7,45	608,50	172,69	343,82	65,02	
C. baccatum									
UENF 1732	0,14 Ba	10,21 Ac	9,03 Ac	18,49 Ab	967,37 Ab	223,81 Aa	ND	81,75 Ab	
Média geral	4,67	10,70	12,01	20,22	799,37	164,82	192,69	67,99	
PS	C. chinense								
	UENF 1768	4,24 Aa	8,34 Bb	11,90 Aa	ND	ND	1,32 Ac	10,07 Ad	ND
	UENF 1791	0,43 Bb	9,53 Bb	12,77 Aa	ND	ND	50,13 Ab	0,68 Ad	ND
	UENF 2079	0,27 Ab	11,08 Aa	14,94 Aa	ND	ND	59,09 Ab	ND	20,93 Ad
	UENF 1730	7,00 Aa	11,16 Aa	11,97 Aa	ND	16,35 Af	82,29 Ab	78,07 Ac	34,63 Ad
	UENF 1715	0,19 Bb	11,69 Aa	14,23 Aa	24,15 Ab	489,46 Ad	184,76 Aa	21,61 A	74,36 Ab
	UENF 2116	0,23 Ab	13,46 Aa	13,74 Aa	15,40 Ab	277,42 Ae	92,99 Ab	81,97 Ac	50,23 Bc
	UENF 1720	ND	10,40 Aa	11,84 Ba	45,14 Ab	1192,51 Ba	199,15 Aa	ND	74,16 Bb
	UENF 2051	3,41 Ab	10,59 Aa	15,47 Aa	147,52 Aa	941,33 Bc	170,94 Aa	293,34 Ab	135,50 Aa
	Média	2,25	10,78	13,36	58,05	583,41	105,08	80,96	64,97
	C. annuum								
	UENF 1381	9,15 Aa	11,15 Aa	14,65 Aa	ND	ND	55,20 Ab	372,69 Aa	14,10 Ad
	UENF 1422	0,39 Bb	8,73 Ab	12,59 Aa	16,08 Ab	455,65 Ad	224,20 Aa	ND	59,94 Ac
Média	4,77	9,94	13,62	16,08	455,65	139,70	372,69	37,02	
C. baccatum									
UENF 1732	6,72 Aa	8,53 Ab	2,64 Bb	21,72 Ab	1064,63 Ab	19,97 Bc	ND	83,68 Ab	
Média geral	4,58	9,75	9,87	31,95	701,23	88,25	226,83	61,89	

Letras minúsculas, na mesma coluna, e maiúsculas na linha pertencem ao mesmo grupo pelo algoritmo de Scott-Knott, em nível de 1 % de probabilidade. ND= Não Detectável; SB= Sombreado; PS= Pleno sol. Ca= Cálcio. Cu= Cobre. Fe= Ferro. K= Potássio. Mg= Magnésio. Mn= Manganês. Na= Sódio. Zn= Zinco

As médias de K e Mg diferiram pouco ($<1,2 \text{ g.kg}^{-1}$) em frutos das espécies *C. chinense* e *C. annuum*, em ambos os ambientes. A média de *C. baccatum* foi próxima as médias das outras espécies, contudo a pleno sol houve uma redução de 17 e 71% de potássio e magnésio, respectivamente (Tabela 12). Entre os três macronutrientes estudados, o Mg foi o que estava em maior concentração nos frutos para a maioria das espécies e ambientes, exceto *C. baccatum* que teve maior acúmulo de potássio. De acordo com Faquin (2005), a taxa de absorção, principalmente do K e do Ca, difere entre as espécies vegetais. Os resultados encontrados demonstram que o acúmulo dos macronutrientes nos frutos diferiu tanto entre as espécies quanto dentro da espécie, sendo que no ambiente sombreado houve maior acúmulo para a maioria desses nutrientes.

Para os micronutrientes Cu e Na houve um aumento na média dos frutos de todas as espécies com limite detectável. Na média geral, foram acumulados 20,22 e 31,95 mg.kg^{-1} de cobre e 192,69 e 226,83 mg.kg^{-1} , em ambiente SB e PS, respectivamente (Tabela 12). O Na não pode ser determinado apenas para *C. baccatum* em ambos os ambientes.

O acúmulo mais expressivo de Fe foi detectado em *C. baccatum*, seguido por *C. chinense* e por *C. annuum*. Houve aumento da concentração desse elemento nos frutos, a pleno sol, apenas para *C. baccatum* de 10% e redução de 29 e 25% nos frutos de *C. chinense* e *C. annuum*, respectivamente. Quanto ao manganês o maior acúmulo médio foi observado em *C. baccatum* sombreado. Este ambiente também favoreceu o acúmulo deste nutriente em frutos da espécie *C. annuum*, contudo houve redução para *C. chinense* em relação a PS. A redução mais abrupta foi observada quando a *C. baccatum* foi cultivada a pleno sol, com valor médio de 91% de redução (Tabela 12). O Zn variou quanto ao ambiente e genótipo. A maior concentração foi encontrada em *C. baccatum* com valores similares em ambos os ambientes, 81,75 e 83,68 mg.kg^{-1} . Em frutos de *C. chinense* houve aumento no ambiente a pleno sol de 14% e redução no mesmo ambiente em frutos de *C. annuum* de 43% no teor de Zn (Tabela 12).

Nas condições deste experimento, e para esses genótipos especificamente, o ambiente com 52% de sombreamento (SB) favoreceu ao acúmulo de minerais no fruto para a maioria dos nutrientes, exceto cobre e sódio. Frequentemente os elementos minerais estão presentes em maiores concentrações do que as necessidades mínimas dos vegetais (Taiz et al., 2017).

Independentemente do nível de estresse, as mudanças na qualidade da luz podem potencialmente alterar os processos fisiológicos e bioquímicos da colheita, perfis de metabólitos, crescimento, desenvolvimento, rendimento e qualidade (Ilić et al., 2017).

Segundo Sonneveld e Voogt (1990), a absorção de nutrientes e a absorção de água apresentam respostas distintas às mudanças microclimáticas, uma vez que fisiologicamente esses dois processos são totalmente independentes. Grandes mudanças nos parâmetros climáticos podem influenciar diferentemente as taxas de absorção de um ou mais nutrientes em comparação com as da absorção de água, fixando, assim, mudanças proporcionais em sua taxa de absorção (Kläring et al., 1997).

Ogunlade et al. (2012) relataram a ordem geral do conteúdo mineral em algumas cultivares de pimentas das espécies *C. frutescens* (Cayenne pepper e Bird pepper) e *C. annuum* (Sweet pepper e Bell pepper), adquiridas no comércio da Nigéria, na seguinte ordem de abundância: $P > K > Na > Ca > Mg > Mn > Fe > Zn$. Neste estudo, obtivemos ordens diferentes na questão abundância para cada espécie (Tabela 13) com o magnésio mais abundante para *C. chinense* e *C. annuum* e potássio para *C. baccatum*. Outro elemento que variou bastante foi o sódio, que variou do quinto ao oitavo lugar. Esse acúmulo pode refletir na demanda, o que torna visível que as necessidades de cada espécie e genótipo devem ser observadas com atenção. Essa diferença pode ser em decorrência da nutrição mineral fornecida às plantas e do ambiente, assim o acúmulo de nutrientes dos frutos pode ser alterado de acordo com as condições climáticas.

Maior absorção e concentração de Ca é característica desejável nas plantas, uma vez que ele é componente da parede celular, e está envolvido na permeabilidade da membrana celular, além de ser um regulador da membrana celular e da atividade enzimática. O Mg é um dos nutrientes que constituem a molécula de clorofila, também sendo requerido como ativador de diversas enzimas importantes para o processo de transferência de fosfato na planta. O Mn atua em diversas enzimas e está envolvido na evolução fotossintética do O₂ (Raven et al., 2013).

Tabela 13. Ordem de abundância dos nutrientes detectados em 11 genótipos de *Capsicum* spp. UENF – Campos dos Goytacazes, RJ

Ambiente	Espécie	Ordem de abundância
SB	<i>C. chinense</i>	Mg >K>Ca> Fe>Mn>Zn>Na>Cu
	<i>C. annuum</i>	Mg>K>Ca>Fe>Na>Mn>Zn>Cu
	<i>C. baccatum</i>	K>Mg>Ca>Fe>Mn>Zn>Cu>Na
	Média	K>Mg>Ca>Fe>Na>Mn>Zn>Cu
PS	<i>C. chinense</i>	Mg>K>Ca>Fe>Mn>Na>Zn>Cu
	<i>C. annuum</i>	Mg>K>Ca>Fe>Na>Mn>Zn>Cu
	<i>C. baccatum</i>	K>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>Mn>Na
	Média	Mg>K>Ca>Fe>Na>Mn>Zn>Cu

A literatura reporta que a umidade relativa (UR) ao redor da planta ou do fruto pode influenciar no acúmulo de Ca. Adams e Holder (1992) mostraram que a alta umidade da estufa diminuiu o acúmulo de Ca nas folhas do tomate e, promoveu seu acúmulo no fruto. Diferentemente, em pimenta vermelha foi a baixa UR que promoveu o acúmulo de Ca no fruto (Marschner, 1983). Contudo, outros trabalhos não identificaram nenhuma associação da UR com o acúmulo de Ca nos frutos de pimentão. Bakker (1989) não observou nenhum efeito em relação a UR da estufa no acúmulo de Ca nos frutos de pimentão. De acordo Tadesse et al. (2015), baixa UR aumenta a transpiração dos frutos, e pode favorecer o redirecionamento da seiva rica em Ca do xilema para esse órgão.

O Fe, Zn e Cu são nutrientes envolvidos em reações redox. O Fe é constituinte de ferro-proteínas que não estão envolvidas na fotossíntese, também atuam na fixação de N₂ e na respiração. O Zn é componente do álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica dentre outros compostos. Já o Cu está na constituição do ácido ascórbico oxidase, tirosinase, uricase, citocromo oxidase dentre outras enzimas (Taiz et al., 2017).

O K presente nas plantas desempenha um papel importante na regulação do potencial osmótico das células vegetais, além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese. Ele também é requerido como cofator de mais de 40 enzimas. Principal cátion no estabelecimento do turgor celular e na manutenção da eletroneutralidade celular (Taiz et al., 2017).

O Na tem importante papel como cofator enzimático, na regulação de potencial osmóticos e no controle da permeabilidade de membranas, e pode substituir parcialmente os íons de potássio como um soluto osmoticamente ativo. Sob deficiência de sódio, as plantas exibem clorose e necrose ou deixam de florescer (Taiz et al., 2017).

Além da análise mineral também foi quantificado o teor de água (TA%) nos frutos nos dois ambientes, por meio da relação massa fresca/seca. Os acessos UENF 1768, UENF 1791, UENF 1730 (*C. chinense*), UENF 1381, UENF 1422 (*C. annuum*) e UENF 1732 (*C. baccatum*) obtiveram maior TA% nos frutos cultivados em SB (79,08%), demonstrando que o ambiente PS ocasiona a perda de água dos frutos. Em ambiente PS, o teor de água nos frutos obteve média de 73,65%, valor inferior ao ambiente SB, essa diferença pode ser em decorrência da maior taxa de transpiração provocada pela alta temperatura e baixa umidade (Tabela 14). Os demais acessos obtiveram maior TA% no ambiente PS, indicando que estes acessos armazenaram maior conteúdo de água em seus frutos, isso pode indicar um mecanismo de aclimatação a ambiente com maior variação ambiental.

Tabela 14. Média da massa fresca (MF) e massa seca (MS) e a Teor de água (TA) dos frutos dos 11 acessos de *Capsicum* spp. cultivados em ambiente SB e PS. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

MF= Massa fresca; MS= Massa seca; TA= Teor de água.

Acessos	MF	MS	SB	MF	MS	PS
	Média		TA (%)	Média		TA(%)
<i>C. chinense</i>						
UENF 1768	65,00	6,00	90,76	44,33	5,13	88,42
UENF 1791	35,33	7,00	80,18	34,33	12,00	65,04
UENF 2079	65,33	10,20	84,38	54,33	6,70	87,66
UENF 1730	53,66	4,34	91,91	52,33	17,56	66,44
UENF 1715	38,66	13,06	66,21	74,66	13,54	81,86
UENF 2116	14,66	5,00	65,89	99,00	22,75	77,02
UENF 1720	25,33	7,65	69,79	69,66	11,33	83,73
UENF 2051	25,50	3,67	85,60	51,88	6,64	87,20
Média	40,43	7,11	79,34	60,06	11,95	79,67
<i>C. annuum</i>						
UENF 1381	48,66	11,85	75,64	18	9,26	48,55
UENF 1422	33,66	7,69	77,15	42	23,44	44,19
Média	41,16	9,77	76,39	30	16,35	46,37
<i>C. baccatum</i>						
UENF 1732	27,66	4,86	82,42	131,66	26,61	80,09
Média geral	65	6	79,08	53	12	73,65

O Ca está envolvido na regulação de potenciais osmóticos e no controle da permeabilidade de membrana. Foi encontrado em maiores concentrações nos frutos cultivados em ambiente SB, podemos associar ao maior TA% nos frutos cultivados neste ambiente em virtude da maior concentração de Ca, pois o potencial osmótico trabalha para atingir o equilíbrio ganhando ou perdendo água para o meio externo, desta forma, o meio mais concentrado ganha água.

Entender os mecanismos de perda de água do fruto é muito importante, principalmente para os frutos não climatéricos. A perda de água dos frutos de *Capsicum* no pós-colheita exerce impacto negativo durante o transporte, armazenamento e comercialização (Rêgo et al., 2011), provocando prejuízos financeiros devido à redução da massa. Além de ser responsável por grandes mudanças na composição e metabolismo de frutos quando, provoca o amolecimento, a redução do brilho, mudanças na coloração e a perda da qualidade nutricional (Rêgo et al., 2011). A perda de água pela transpiração e perda de matéria seca, devido ao aumento da atividade respiratória, reflete em perda de massa fresca total pós-colheita (Abud et al., 2018).

5.3. Análise dos Índices de Reflectância Foliar

Entre os quinze índices foliares analisados sete não apresentaram diferença significativa para as fontes de variação (Tabela 15).

Não foi observada diferença significativa entre os genótipos para os índices de reflectância testados, entretanto, houve diferença significativa entre os ambientes e os dias, indicando que as plantas reagem da mesma forma quando cultivadas no mesmo ambiente, porém de maneira diferente quando submetidas a diferentes condições ambientais ao longo do tempo.

Os CVs foram de baixa magnitude para as variáveis WBI, G, SIPI, NDVI e SRPI. Entretanto, para as demais características, os CVs foram de alta magnitude, mesmo após a transformação dos dados. Segundo Gerhardt (2018), em se tratando de estudos de melhoramento vegetal para estresses abióticos é aceitável a obtenção de CVs de maiores magnitudes, pois de acordo com o autor, ao se comparar as médias das características elas são geralmente menores no ambiente com estresse abiótico o que gera quadrados médios dos resíduos maiores. Desta forma, os altos valores dos CVs encontrados neste estudo podem estar associados

a menores médias e quadrados médios dos resíduos maiores no ambiente com alta luminosidade e temperatura mais elevada (PS).

Tabela 15. Resumo da análise de variância das variáveis de índice de reflectância foliar em três acessos de *Capsicum*. UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

Quadrado Médio						
FV	GL	ARI1	ARI2	CRI1	CRI2	FRI
(B/A)/D	16	2274887,26	668,96	92588,91	2086,26	25,47
Genótipo(G)	2	348606,92 ^{ns}	0,02 ^{ns}	459023,65 ^{ns}	671,40*	3,72 ^{ns}
Dia(D)	3	1568481,21 ^{ns}	651,31 ^{ns}	423036,11*	13453,39**	131,66*
Ambiente(A)	1	3258624,12 ^{ns}	1377,33 ^{ns}	327643,56 ^{ns}	11237,10*	123,74 ^{ns}
G x D	2	774662,47 ^{ns}	383,77 ^{ns}	454106,44*	1332,60**	9,76 ^{ns}
G x A	6	2076211,55 ^{ns}	417,86 ^{ns}	480410,96*	19,97 ^{ns}	14,42 ^{ns}
D x A	3	580181,59 ^{ns}	224,99 ^{ns}	396452,01*	4205,67 ^{ns}	55,03 ^{ns}
G x D x A	6	717733,22 ^{ns}	313,09 ^{ns}	490368,93*	858,11**	10,70 ^{ns}
Resíduo	32	1562099,40	477,67	144894,77	188,85	23,38
Média		495,58	6,96	142,38	52,64	1,99
CV (%)		252,19	313,72	267,34	26,10	242,21

Quadrado Médio						
FV	GL	CNDVI	PRI	WBI	G	SIPI
(B/A)/D	16	6,77	47126,74	0,032	0,003	0,101
Genótipo(G)	2	0,02 ^{ns}	43654,53 ^{ns}	0,030 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Dia (D)	3	68,41**	148096,57 ^{ns}	0,572**	0,057**	0,981**
Ambiente(A)	1	3,97 ^{ns}	93274,70 ^{ns}	0,598**	0,010 ^{ns}	0,433 ^{ns}
G x D	2	4,70 ^{ns}	36676,44 ^{ns}	0,029**	0,003 ^{ns}	0,045*
G x A	6	2,62 ^{ns}	61917,71 ^{ns}	0,020 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,025 ^{ns}
D x A	3	5,23 ^{ns}	51354,89 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,026**	0,845**
G x D x A	6	8,74 ^{ns}	54123,57 ^{ns}	0,016*	0,004*	0,039*
Resíduo	32	4,40	60271,45	0,007	0,001	0,015
Média		6,31	76,17	1,21	0,47	6,96
CV (%)		33,23	322,29	6,67	8,12	313,72

Quadrado Médio						
FV	GL	NDVI	PSRI	NPCI	NPQI	SRPI
(B/A)/D	16	0,009	13835,39	14821181,47	1458687,89	0,029
Genótipo(G)	2	0,017 ^{ns}	25437,45 ^{ns}	15983591,63 ^{ns}	1742357,73 ^{ns}	0,014 ^{ns}
Dia(D)	3	0,346**	1120,30 ^{ns}	14952121,77 ^{ns}	760712,05 ^{ns}	0,184**
Ambiente(A)	1	0,212**	14987,85 ^{ns}	14834813,32 ^{ns}	538646,97 ^{ns}	0,079 ^{ns}
G x D	2	0,003 ^{ns}	24640,34 ^{ns}	15991614,05 ^{ns}	794623,19 ^{ns}	0,063 ^{ns}
G x A	6	0,030 ^{ns}	7031,29 ^{ns}	15947246,59 ^{ns}	451651,17 ^{ns}	0,031 ^{ns}
D x A	3	0,035*	29757,58 ^{ns}	14968776,40 ^{ns}	1413887,88 ^{ns}	0,233**
G x D x A	6	0,013 ^{ns}	5208,89 ^{ns}	15996422,65 ^{ns}	1337441,27 ^{ns}	0,052 ^{ns}
Resíduo	32	0,013	13925,15	15568802,29	947963,81 ^{ns}	0,027
Média		1,71	-25,94	466,69	-146,26	1,27
CV (%)		7,07	-454,83	845,45	-665,68	12,93

^{ns}, não significativo, *e** significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F. Coeficiente e variação negativo em decorrência da média resultar de valor negativo. Dados transformados (1/x).

A não-significância para a interação genótipo nos ambientes (G x A) para a maioria das variáveis revela que as espécies respondem de forma similar quando submetidas às mesmas condições ambientais. Em contrapartida, a variável CRI1 revelou diferença significativa na interação, isso evidencia que para essa variável os genótipos respondem de maneira distinta quando altera o ambiente. De acordo com Saraiva et al. (2014), cada espécie de planta pode expressar respostas distintas na captação e no uso da luz.

Foi observada uma redução na média geral dos índices de reflectância foliar CRI2, WBI e NDVI no ambiente PS (Tabela 15). A redução de CRI2 pode ser devido a uma menor absorção de luz pela clorofila. Valores de WBI próximos a 1 indicam que o conteúdo de água na folha é alto, entretanto os genótipos UENF 1732 e UENF 2079 apresentaram menores médias (0,7 e 0,8) em PS, evidenciando que a planta perde mais água para o ambiente com maior temperatura e maior luminosidade, uma vez que em casa de vegetação esses acessos obtiveram maiores médias 0,8 e 0,9, respectivamente. O menor valor de NDVI foi observado no genótipo UENF 2079 cultivado PS, comprovando assim, que os efeitos abióticos aceleram o grau de amarelecimento das folhas (Tabela 16). Valores mais altos de NDVI indica maior densidade de área verde. Na medida que as folhas se tornam amareladas há uma redução deste índice. De acordo com Jeeatid et al. (2017), o excesso de luminosidade é um dos fatores que pode afetar características morfoagronômicas e qualitativas de forma positiva ou negativa, dependendo do genótipo e demais fatores climáticos.

A redução nos índices pode ter ocorrido devido ao aumento da taxa de transpiração que a alta temperatura e a baixa umidade do ar causam nas plantas. As plantas quando expostas a alta condição de luminosidade podem sofrer danos nocivos ao seu aparato fotossintético, pois as membranas fotossintéticas podem ser facilmente danificadas pelas grandes quantidades de energia absorvida pelos pigmentos se essa energia não puder ser armazenada pela fotoquímica. O ciclo das xantofilas, que compreende os três carotenoides (violaxantina, anteraxantina e zeaxantina), demonstra uma capacidade de dissipar o excesso de energia luminosa na folha. Sob luminosidade alta, a violaxantina é convertida em anteraxantina e depois em zeaxantina, evitando, assim, o dano à maquinaria fotossintética do cloroplasto (Taiz et al., 2017).

Tabela 16. Média das variáveis CRI2, WBI e NDVI para os três genótipos de *Capsicum* spp. cultivados em SB (Sombra) e PS (Pleno Sol), UENF, Campos dos Goytacazes, 2020

Genótipos	CRI2		WBI		NDVI	
	SB	PS	SB	PS	SB	PS
UENF 1382	0,0835 Aa	0,0260 Ba	0,8663 Aa	0,8503 Aa	0,5757 Aa	0,5761 Aa
UENF 1732	0,0597 Aa	0,0211 Ba	0,9366 Aa	0,7979 Ba	0,5957 Aa	0,5721 Aa
UENF 2079	0,0386 Aa	0,0175 Ba	0,9333 Aa	0,8024 Ba	0,6161 Aa	0,5547 Ba

Letras maiúsculas refere-se aos ambientes e letras minúsculas aos genótipos. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não diferem entre si, e médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve diferença significativa para as fontes de variação dia (D) na interação G x D e D x A para alguns índices foliares. Os índices de reflectância foliares CRI1, CRI2, WBI e SIPI, apresentaram diferença na interação G X D evidenciando que os genótipos respondem de maneira distintas ao longo dos dias, também houve diferença na interação D x A para as variáveis CRI1 e SIPI, evidenciando que ao longo dos dias os genótipos respondem de maneira distintas em cada ambiente (Tabela 15).

Foi possível observar que o CRI1 e o CRI2 tiveram uma diminuição ao longo dos dias de avaliação nos dois ambientes, e os menores valores foram observados nos acessos cultivados em PS (Figura 7a e 7b). A diminuição desses índices deve-se a uma menor proporção na taxa de carotenoide e clorofila ao longo dos dias. O SIPI, também relacionado a taxa de carotenoide e clorofila, decaiu ao longo dos dias de avaliação, no ambiente de PS o decréscimo foi mais acentuado nos períodos de 52 e 59 dias após a frutificação, já em ambiente SB a diferença foi observada aos 66 dias após a frutificação (Figura 7d e 7h).

As variações na intensidade da luz em condições de campo aberto podem influenciar a atividade fotossintética. Portanto, qualquer modificação na estrutura fotossintética devido a variações nas condições de luz também afetará outros processos metabólicos, como crescimento e rendimento (Murchie et al., 2005). Vários estudos indicam que a altura da planta, a área foliar e o teor de clorofila foliar aumentam sob o sombreamento (Rylski e Spigelman, 1982; Díaz-Pérez, 2013), e isso resulta em aumento na produção de frutos. Um estudo usando plantas de pimentão em Tifton, Geórgia, EUA, indicou que reduzir a intensidade da luz solar

de 30% a 47% resultou em maiores rendimentos e maior número de frutos em comparação com plantas cultivadas a plena luz (apud Jeeati et al., 2017).

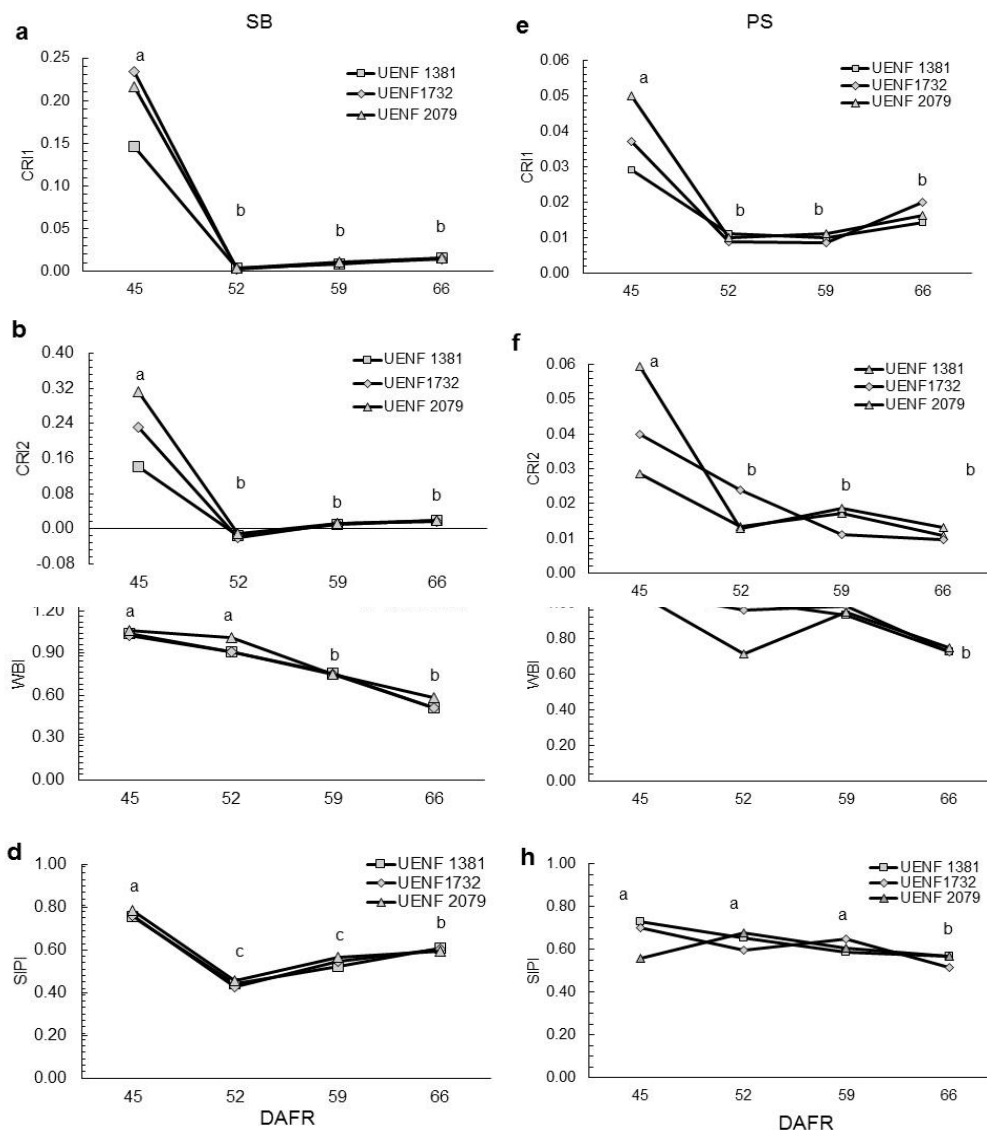


Figura 7- Índices de reflectância foliar. **a)** CRI1; **b)** CRI2; **c)** WBI e **d)** SIPI em ambiente Pleno Sol (PS); **e)** CRI1; **f)** CRI2; **g)** WBI e **h)** SIPI em ambiente Sombreado (SB). DAFR= Dias após a frutificação, UENF, Campos dos Goytacazes, 2020.

Na fotossíntese, os carotenoides ajudam a capturar luz, mas também têm um papel importante em eliminar o excesso de energia luminosa. Quando uma folha está exposta a pleno sol, ela recebe uma quantidade enorme de energia; se essa energia não é manipulada adequadamente, ela pode danificar a maquinaria

fotossintética. Os carotenoides nos cloroplastos ajudam a absorver o excesso de energia e dissipá-la como calor.

O Índice de Banda de Água (WBI) também decaiu ao longo dos dias, evidenciando a perda de água da folha para a atmosfera ao longo dos estádios de frutificação sendo a perda de água mais acentuada no ambiente PS (Figura 7c e 7g). Estudos anteriores indicam que este índice é um bom indicador do conteúdo de água na folha (Sims e Gamon, 2003), e pode ser um indicador de área foliar (Roberts et al., 1998). Desta forma, o WBI pode ser utilizado como um indicador do *status* hídrico da planta, uma vez que a fenologia e a produtividade estão correlacionadas ao *status* de água (Baker et al., 1982). Como evidenciado, o WBI é dinâmico ao longo do tempo e no espaço e varia de acordo com o ambiente.

Jaimez e Rada (2011) estudaram o metabolismo fotossintético de *C. chinense* na Venezuela em condições de sombreamento (40% e 60%) e campo aberto submetidas a altas radiações, típicas de regiões tropicais, onde as plantas geralmente experimentam temperaturas foliares elevadas e diferenças acentuadas na pressão de vapor de água na folha. Os autores observaram que plantas cultivadas em sombra parcial com temperatura média de 32 °C criaram um ambiente caracterizado com menor pressão de vapor de água na folha. Sob essas condições as plantas apresentaram mecanismos de aclimação fisiológicos (diminuição de chl a/b), uma vez que a sombra parcial induz a menor abertura dos estômatos, que é regulada pela intensidade da luz (Jaimez e Rada, 2011).

É evidente que as condições climáticas locais exerceram influências nos processos fotossintéticos, e no mecanismo de transpiração das plantas de *Capsicum*. A alta temperatura, intensidade luminosa e baixa umidade afetaram alguns aspectos fisiológicos das plantas cultivadas em plena luz, que culminaram com a aclimação das plantas, verificado, com a redução dos valores do CRI1 e CRI2, ambos relacionados a absorção de luz pela clorofila.

Esses resultados são promissores para futuros estudos de melhoramento genético que almejam rastrear as características agronômicas por meio de características fisiológicas em grandes populações. Um estudo com a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) no México correlacionou os índices de reflectância foliar com características agronômicas (aumento da produtividade de grãos), em ambiente com alto potencial de rendimento e em ambiente de estresse por seca. O PRI e o NDVI apresentaram alta correlação e foram eficientes na diferenciação nos

estádios iniciais de desenvolvimento da espiga no ambiente com déficit hídrico, outros índices também apresentaram alta estimativa de herdabilidade com vários marcadores fenotípicos identificados para trigo (Liu et al., 2019).

Alsina et al. (2016), obtiveram excelentes resultados na determinação do teor de clorofila nas culturas de alface, mostarda, rabanete e couve, nas quais os índices que melhor se correlacionaram foram o NDVI e SIPI. Os autores concluíram que o espectrômetro CI-710 pode substituir completamente as análises bioquímicas.

Outros pesquisadores também obtiveram resultados satisfatórios utilizando o mesmo equipamento. Oliveira et al. (2017), na estimativa da concentração de nitrogênio nas folhas de *Eucalyptus* obtiveram bons resultados de correlação com os índices NDVI e PRI. Janeczko et al. (2018) detectaram distúrbios metabólicos antes do aparecimento de sintomas visíveis de infecção por vírus em *Capsicum* spp. utilizando os índices WBI, SIPI e PRI. Santos et al. (2019), na caracterização de diferentes genótipos de café por meio da análise de variáveis canônicas entre os índices espectrais foliares e potencial hídrico, observaram que em ambiente irrigado os acessos apresentaram maior valor de potencial hídrico e menores valores de PSRI e FRI. São inúmeros os trabalhos utilizando o CI-710, contudo inexitem estudos que reportem o efeito do estresse abiótico nos pigmentos foliares de plantas de *Capsicum* spp.

O conjunto de dados embora pequeno nos permitiu obter algumas conclusões sobre a interação G x A nos microambientes de estudo. Futuros estudos incluindo mais ambientes serão de grande importância para um melhor entendimento da natureza da interação G x A, e suas relações com características comercialmente relevantes para o melhoramento de *Capsicum*.

6. CONCLUSÕES

A diversidade de cores e do teor de sólidos solúveis totais (SST) observada nas três espécies de *Capsicum* atende a diversos nichos de mercado. Os acessos UENF 2079, UENF 1720, UENF 1732 e UENF 1422, por atenderem os padrões de cor (vermelho intenso) exigidos pela maioria das indústrias alimentícias de frutos secos, são os acessos mais promissores para subsidiar programas de melhoramento genético de *Capsicum*, visando o mercado de páprica. Para o SST, o acesso UENF 1381 destacou-se por ter a maior média nos dois ambientes, e o UENF 1791 e UENF 1730 no ambiente a pleno sol.

Houve interação genótipo x ambiente para os parâmetros de cor e o teor de sólidos solúveis. Detectou-se uma diminuição na intensidade das cores dos frutos coletados a pleno sol. Os acessos UENF 1381 e UENF 2051 reduziram significativamente os valores de SST em frutos de plantas cultivadas a pleno sol.

O ambiente e o genótipo influenciaram a composição e o acúmulo de minerais nos frutos de diferentes acessos de *Capsicum*.

Os acessos das três espécies de *Capsicum* obtiveram redução nos índices CRI1, CRI2, WBI, NDVI em ambiente a pleno sol. Os índices foliares CRI1, CRI2, WBI, NDVI podem ser utilizados como marcadores fenotípicos para detectar estresse abiótico em plantas de *Capsicum*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abud, H.F., Araujo, R.F., Pinto, C.M.F., Fontes, E., Araujo, A.V.A., Dos Santos, J.A. (2018) Caracterização morfológica dos frutos de pimentas malagueta e biquinho. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, 8(2), 29-39.
- Adams, P., Holder, R. (1992) Effects of humidity, Ca and salinity on the accumulation of dry matter and Ca by the leaves and fruit of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Horticultural Science*, 67, 137, 42.
- Alsina, I., Dūma, M., Dubova, L., Šenberga, A., & Daģis, S. (2016) Comparison of different chlorophylls determination methods for leafy vegetables. *Agronomy Research*, 14(2), 309-316.
- Almeida, D.M. (2010) Biofilme de blenda de fécula de batata e celulose bacteriana na conservação de fruta minimamente processada. 2010. 284p. Tese (Doutorado em Processos Biotecnológicos Agroindustriais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Aloni, B., Karni, L., Zaidman, Z., Riov, Y., Huberman, M., Goren, R. (1994) The susceptibility of pepper *Capsicum annuum* to heat induced flower abscission: possible involvement of ethylene. *Journal of Horticultural Science*, 69: 923-928.

- Aloni, B., Karni, L., Zaidman, Z., Riov, Y., Schaffer, A. (1996) Changes of carbohydrates in pepper *Capsicum annuum* L. flowers in relation to their abscission under different shading regimes. *Annals of Botany*, 78: 163-168.
- Andrews, J. (1984) *Peppers: the domesticated Capsicum*, Austin: University of Texas Press, 170p.
- Arimboor, R., Natarajan, R. B., Menon, K.R., Chandrasekhar, L.P., Moorkoth, V. (2015) Red pepper (*Capsicum annuum*) carotenoids as a source of natural food colors: analysis and stability—a review, *Journal of Food Science and Technology* 52: 1258-1271.
- Azevedo, L.M.F., Lucena, E.M.P.D., Bonilla, O.H., Silveira, M.R.S.D., Silva Júnior, A. (2018) Physical, chemical, microbiological and sensory characterization of Manipuça jellies for municipal school meals of Fortaleza-CE. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(1).
- Bakker, J. C. (1989) The effect of air humidity on flowering fruit set and fruit growth of glasshouse sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 40, 1,8.
- Baker, G.A., Rundel, P.W., Parsons, D.J. (1982). Comparative phenology and growth in three chaparral shrubs. *Botanical Gazette*, 143 (1), 94–100.
- Barboza, G. E., Garcia, C. C., Gonzalez, S. L., Scaldaferrro, M., & Reyes, X. (2019). Four new species of *Capsicum* (Solanaceae) from the tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. *PloS one*, 14(1).
- Bento, C.S., Souza, A.G., Sudré, C.P., Pimenta, S. Rodrigues, R. (2017) Multiple genetic resistances in *Capsicum* spp. *Genetics and Molecular Research* 16 (3) gmr16039789.
- Bianchi, P.A. (2017) Variabilidade intraespecífica para caracteres morfológicos, agronômicos e moleculares entre acessos de *Capsicum chinense* L, Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 92p.

- Bianchi, P.A, Silva, L.R.A, Alencar, A.A.S., Santos, P.H.A.D., Pimenta, S., Sudré, C.P., ... & Rodrigues, R. (2020). Biomorphological Characterization of Brazilian *Capsicum chinense* Jacq. *Germplasm. Agronomy*, 10(3), 447.
- Borém, A., Miranda, G.V., Fritsche-neto. (2017) *Melhoramento de Plantas*. 7 ed. Viçosa (MG): Ed. UFV, 543p.
- Bosland, P.W., Votava, E.J. (2012) *Peppers: vegetable and spice Capsicums*, Wallingford: CABI Publishing (Crops Production Science in Horticulture, 22), 224 p.
- Cabral, N. S. S., Medeiros, A. M., Neves, L. G., Sudré, C. P., Pimenta, S., Coelho, V. J., Rodrigues, R (2017). Genotype x environment interaction on experimental hybrids of chili pepper. *Genetics and Molecular Research*, 16(2).
- Canavesi, V.; Kirchner, F.F. (2005) Quantificação de macronutrientes em floresta ombrófila mista montana utilizando dados de campo e dados obtidos a partir de imagens do satélite IKONOS II. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 35, n. 3.
- Carriello, F.; Miranda, F.G.; Ponzoni, F.J.; Cardoso, P.A.; Martins, S.P. (2003) Uso da transmitância na caracterização espectral de folhas verdes. *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 2451 - 2457.
- Carmo, M.G.F.; Kimura, O.; Maffia, L.A.; Carvalho, A.O. (1996) Progresso da pústula bacteriana do pimentão, causada por *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, em condições de viveiro. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 1, p. 66-70.
- Carvalho, S.I.C., Bianchetti, L.B. (2004) *Sistema de Produção de Pimentas (Capsicum spp.): botânica, Embrapa Hortaliças, sistemas de produção*.
- Chapa-Oliver, A. M., Mejía-Teniente, L. (2016) Capsaicin: from plants to a cancer-suppressing agent. *Molecules*, 21(8), 931.
- Clark, R., Lee, S.H. (2016) Anticancer properties of capsaicin against human cancer, *Anticancer research*, 36(3), 837-843.

- CID Bio-Science. (2020) Disponível em: <<https://cid-inc.com/plant-science-tools/leaf-spectroscopy/ci-710-miniature-leaf-spectrometer/>> Acesso em 02/02/2020.
- Cruz, C.D. (2013) Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics, *Acta Scientiarum, Agronomy*. 35(3), 271-276.
- Dechant, B., Cuntz, M., Vohland, M., Schulz, E., Doktor, D. (2017). Estimation of photosynthesis traits from leaf reflectance spectra: Correlation to nitrogen concentration as the dominant mechanism. *Remote Sensing of Environment*, v. 196, p.279-292.
- DeWitt, D., Bosland, P.W. (1996) *Peppers of the world: an identification guide*, Berkeley: Ten Speed, 219 p.
- Díaz-Pérez J.C. (2014) Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of phytophthora blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon). *HortScience* 49:891-900.
- Díaz-Pérez, J.C. (2013) Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: Microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortScience* 48:175-182.
- El-Kott, A.F., Bin-Meferij., M.M. (2018) Suppressive effects of capsaicin against N-nitrosomethylurea-induced mammary tumorigenesis in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 98, 673-679.
- Ergünes, G., Tarhan, S. (2006) Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. *Journal of Food Engineering*, 76(3), 446-452.
- Ferreira, M. D., Spricigo, P. C. (2017) Análise não destrutiva: Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura. Disponível em ><https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1084379/colorimetria---principios-e-aplicacoes-na-agricultura>. Acesso em janeiro de 2020.

- Faquin, V. (2005) Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA / FAEPE, 186p.
- Fukumoto, Y., Nishimura, Y., Inthichack, P. (2007) Effects of altering diurnal fluctuations of day and night temperatures on early growth and K, Ca, Mg absorption. Hort. Res. (Japan) 6(Suppl.1):446.
- Gamon, J.A., Peñuelas, J., Field, C.B. (1992) A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. Remote Sensing of environment, 41(1), 35-44.
- Gerhardt, I.F.S. (2018) Melhoria do milho-pipoca: eficiência da adaptação a solos pobres em fósforo. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 113p.
- Gitelson, A.A., Zur, Y., Chivkunova, O.B., Merzlyak, M.N. (2002) Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves with Reflectance Spectroscopy. Photochemistry and photobiology, 75(3), 272-281.
- Gross, J. (1991) Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids, 1 ed, New York: AVI 351p.
- Guerra, N.A. (2001) Estudios cromosómicos de cuatro selecciones de *Capsicum chinense* Jacq. Revista UDO Agrícola, v. 1, n. 1, 34-41p.
- Guzmán, I., Bosland, P.W. (2017) Sensory properties of chile pepper heat e and its importance to food quality and cultural preference. Appetite. 117. 186-190.
- Huh, J. H., Kang, B. C., Nahm, S. H., Kim, S., Ha, K. S., Lee, M. H., & Kim, B. D. (2001) A candidate gene approach identified phytoene synthase as the locus for mature fruit color in red pepper (*Capsicum* spp.). Theoretical and Applied Genetics, 102(4), 524-530.
- Hurtado-Hernandez, H. and P.G. Smith (1985) Inheritance of mature fruit color in *Capsicum annuum* L. J. Hered. 76: 211-213.
- IBGE, Censo agropecuário de 2017, disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017.pdf>, Acessado em novembro de 2018.

- Ilić, Z.S., Milenković, L., Šunić, L., Barać, S., Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Fallik, E. (2017) Effect of shading by coloured nets on yield and fruit quality of sweet pepper. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1).
- Inthichack, P., Nishimura, Y., Fukumoto, Y., Shimasaki, K. (2010). The effects of altering diurnal fluctuations of day and night temperatures on early growth and nutrient absorption of some cucurbitaceae plants. *Hort. Res. (Japan)* 9(Suppl. 1):373.
- Jaimez, R. E., Rada, F. (2011) Gas exchange in sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under different light conditions. *Journal of Agricultural Science*, 3(3), 134.
- Janeczko, A., Dziurka, M., Gullner, G., Kocurek, M., Rys, M., Saja, D., Barna, B. (2018) Comparative studies of compatible and incompatible pepper–Tobamovirus interactions and the evaluation of effects of 24-epibrassinolide. *Photosynthetica*, 56(3), 763-775.
- Jeeatid, N., Techawongstien, S., Suriharn, B., Bosland, P.W., Techawongstien, S. (2017) Light intensity affects capsaicinoid accumulation in hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivars. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 58(2), 103-110.
- Jones, J.B., R.E. Stall and H. Bouzar. (1998) Diversity among xanthomonads pathogenic on pepper and tomato. *Annual Review of Phytopathology*, v.36. p.41-58.
- Justino, E.V. (2013) Maturação fisiológica e taxa de cruzamento natural na produção de sementes de *Capsicum* sp. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Brasília – DF - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 142p.
- Justino, E.V., Fonseca, M.N., Ferreira, M.E., Boiteux, L.S., Silva, P.P., Nascimento, W.M. (2018) Estimate of natural cross-pollination rate of *Capsicum annuum* using a codominant molecular marker associated with fruit pungency, *Genetics and Molecular Research*, 17(1).

- Kläring, H.P., Schwarz, D., Heissner, A. (1997) Control of nutrient solution concentration in tomato using models of photosynthesis and transpiration: A simulation study. *Acta Hortic.* 450, 329–334.
- Koetz, M., Masca, M.G.C.C., Carneiro, L.C., Ragagnin, V.A., de Sena Júnior, D. G., Gomes Filho, R.R. (2010) Caracterização agronômica e Brix em frutos de tomate industrial sob irrigação por gotejamento no Sudoeste de Goiás. *Revista brasileira de agricultura irrigada*, v.4, n.1, p.14–22.
- Lang, Y. Q., Yanagawa, S., Sasanuma, T., Sasakuma, T. (2004) Orange fruit color in *Capsicum* due to deletion of capsanthin-capsorubin synthesis gene. *Breeding Science*, 54(1), 33-39.
- Lee, S. B., Kim, J. E., Kim, H. T., Lee, G. M., Kim, B. S., Lee, J. M. (2020) Genetic mapping of the *c1* locus by GBS-based BSA-seq revealed Pseudo-Response Regulator 2 as a candidate gene controlling pepper fruit color. *Theoretical and Applied Genetics*, 1-14.
- Lefebvre, V., Kuntz, M., Camara, B., Palloix, A. (1998) The capsanthin-capsorubin synthase gene; a candidate gene for the *y* locus controlling the red fruit colour in pepper. *Plant Mol. Biol.* 36: 785-789.
- Leite, P. S. S., Rodrigues, R., Silva, R. N. O., Pimenta, S., Medeiros, A. M., Bento, C. S., Gonçalves, L. S. A. (2016) Molecular and agronomic analysis of intraspecific variability in *Capsicum baccatum* var. *pendulum* accessions. *Genet Mol Res*, 15(4), 1-16.
- León, J.J., Elías, J.L., López, M.A.H., López, A.M.G., Ortiz, R.S., García, L.F.E. (2013) Postharvest quality and shelf life of green pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under open-field and greenhouse conditions. *IDESIA (Chile)*, 31(4), 35-41.
- Lightbourn, G.J., Griesbach, R.J., Novotny, J.A., Clevidence, B.A., Rao, D.D., Stommel, J.R. (2008) Effects of anthocyanin and carotenoid combinations on foliage and immature fruit color of *Capsicum annuum*. *Journal of Heredity*, v.99, n.2, p.105-11.

- Liu, C., Pinto Espinosa, F., Cossani, C.M., Sukumaran, S., Reynolds, M.P. (2019) Spectral reflectance indices as proxies for yield potential and heat stress tolerance in spring wheat: heritability estimates and marker-trait associations. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 6(3), 296-308.
- Marschner, H. (1983) General introduction to the mineral nutrition of plants. In: *Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology*. Springer-Verlag, Berlin, 15, 5, 60.
- Merzlyak, M.N., A.A. Gitelson, O.B. Chivkunova., Rakitin, V.Y. (1999) Non-destructive optical detection of leaf senescence and fruit ripening. *Physiol. Plant.* 106, 135–141.
- Merzlyak, M.N., Gitelson, A.A. (1995) Why and what for the leaves are yellow in autumn? On the interpretation of optical spectra of senescing leaves (*Acer platanoides* L.). *J. Plant Physiol.* 145, 315–320.
- Merzlyak, M.N., Solovchenko, A.E., Smagin, A.I., Gitelson, A.A. (2005) Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique for non-destructive assessment. *Journal of plant physiology*, 162(2), 151-160.
- Monteverde, E., Gutierrez, L., Blanco, P., de Vida, F. P., Rosas, J. E., Bonnacarrère, V., McCouch, S (2019). Integrating Molecular Markers and Environmental Covariates to Interpret Genotype by Environment Interaction in Rice (*Oryza sativa* L.) Grown in Subtropical Areas. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 9(5), 1519-1531.
- Moreira, M.A. (2011) *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. 4ª edição Atualizada e Ampliada, Viçosa - MG, Editora UFV, 422p.
- Moreira, E.G. S., Sanches, A.G., Silva, M., Costa, J., Cosme, S., Cordeiro, C.A. M. (2017) Utilização de filme comestível na conservação pós-colheita do pimentão 'Magali'. *Scientia Agraria Paranaensis*, 16(1), 120-126.
- Moscone, E.A., Scaldaferrò, M.A., Grabièle, M., Cecchini, N.M., García, Y.S., Jarret, R., Daviña, J.R., Ducasse, D.A., Barboza, G.E., Ehrendorfer, F. (2007) The

evolution of chili peppers (*Capsicum* – Solanaceae): a cytogenetic perspective. *Acta Horticulturae* 745: 137-169.

Murchie, E. H., Hubbart, S., Peng, S., Horton, P. (2005) Acclimation of photosynthesis to high irradiance in rice: gene expression and interactions with leaf development. *Journal of Experimental Botany*, 56(411), 449-460.

Nuez, F.V., Ortega, R, G., Garcia, J.C. (1996) *El cultivo de pimientos, chiles y ajies*, Barcelona: Mundi-Prensa, 607 p.

Ogunlade, I., Alebiosu, A.A., Osasona, A.I. (2012) Proximate, mineral composition, antioxidant activity, and total phenolic content of some pepper varieties (*Capsicum* species). *International journal of biological and chemical sciences*, 6(5), 2221-2227.

Oliveira, G.H.H., Corrêa, P.C., Baptestini, F.M., Freitas, R.L., Vasconcellos, D. (2010) Controle do amadurecimento de goiabas 'Pedro Sato' tratadas por frio. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia*, 6(9).

Oliveira, L.F.R. (2015) *Avaliação de métodos não destrutivos para monitoramento nutricional de povoamentos de eucalipto. (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Diamantina. 60p.*

Oliveira, L. F. R. D., Oliveira, M. L. R. D., Gomes, F. S., & Santana, R. C. (2017). Estimating foliar nitrogen in Eucalyptus using vegetation indexes. *Scientia Agricola*, 74(2), 142-147.

Oliveira, G.S., de Almeida Costa, N., Pinto, C.M.F., de Oliveira Pinto, C.L., Donzeles, S.M. L., Martins, E.M.F. (2018). Avaliação de coberturas comestíveis para conservação de pimenta-biquinho (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 8(4).

Oliver, J., Palou, A., Pons, A. (1998) Semi-quantification of carotenoids by highperformance liquid chromatography: saponification-induced losses in fatty foods, *Journal Chromatography*. v, 829, n.1, p. 393-399.

- Popovsky, S., Paran, I. (2000) Molecular genetics of the *y* locus in pepper; its relation to capsanthin-capsorubin synthase and to fruit color. *Theor. Appl. Genet.* 101: 86-89.
- Peñuelas, J., F. Baret., Filella I. (1995a) Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica* 31, 221–230.
- Peñuelas, J., Filell, I., Lloret, P., Mun, Oz. F., Vilajeliu, M. (1995b) Reflectance assessment of mite effects on apple trees. *International Journal of Remote Sensing.* 16(14): 2727–2733.
- Peñuelas, J., Gamon, J. A., Fredeen, A.L., Merino, J., Field, C.B. (1994) Physiological Changes in Nitrogen-and. *Remote Sens Environ*, 48, 135-146.
- Peñuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., Filella, I. (1997). Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International journal of remote sensing*, 18(13), 2869-2875.
- Pereira, T.N.S. (2010) *Germoplasma: Conservação, manejo e uso no melhoramento de Plantas*. Viçosa (MG). Ed. Arca, 250p.
- Pickersgill, B. (1997) Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica* 96:129-133.
- Pimenta, S. (2015) UENF Carioca e UENF Carioquinha: Novas cultivares de pimenta (*Capsicum annuum* var. *annuum*) resistentes à mancha bacteriana. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 80p.
- Ping, E.Y. S., Uthairatanakij, A., Laohakunjit, N., Jitareerat, P., Vongsawasd, P., Aiamla-or, S. (2019) Effects of Drying Temperature and Time on Color, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity in ‘Hua Ruea’Chili Fruit (*Capsicum annuum*). *Food and Applied Bioscience Journal*, 7(3), 1-15.
- Randall, W.C., Lopez, R.G. (2014) Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light emitting-diodes during bedding plant seedling production. *HortScience* 49, 589–595.

- Raven, P.H., Evert, R.F., Eichhorn, S.E. (2013) *Biologia Celular*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 830.
- Reddy, U.K., Almeida, A., Abburi, V.L., Alaparthy, S.B., Unselt, D., Hankins, G., Nimmakayala, P. (2014) Identification of gene-specific polymorphisms and association with capsaicin pathway metabolites in *Capsicum annuum* L. collections. *PLoS One*. 9(1), e86393.
- Rêgo, E.R., Finger, F.L., Rêgo, M. (2011) *Produção, genética e melhoramento de pimentas (Capsicum spp.)*. Recife: Imprima, 223p.
- Ribeiro, C.S.C. (2012) Qualidade de páprica. *Hortic Bras*. 30 (2): S8405-9.
- Roberts, D.A., Brown, K., Green, R.O., Ustin, S.L., Hinckley, T. (1998) Investigating the relationships between liquid water and leaf area in clonal *Populus*. Summaries of the 7th annual JPL Earth Science Workshop. Pasadena, CA.
- Rodushkin, I., Ruth, T., & Huhtasaari, Å. (1999). Comparison of two digestion methods for elemental determinations in plant material by ICP techniques. *Analytica Chimica Acta*, 378(1), 191-200.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deerin, D. (1974) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symposium, College Station. Washington: NASA, 309–317.
- Russo, V.M. (2012) *Peppers: Botany, Production and Uses*, Oklahoma, CABI, 220p.
- Rylski, I., Spigelman M. (1982) Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. *Sci Hortic* 17:101-106.
- Saha, S., R, Hossain M.M., Rahman, M.M., Kuo, C. G., Abdullah, S. (2010) Effect of high temperature stress on the performance of twelve sweet pepper genotypes. *Bangladesh J Agric Res* 35:525-534.
- Santos, M.O., Coelho, L.S., da Gama, T.C.P., Carvalho, G.R., Silva, L.C. D., de Oliveira, M.M., Silva, V.A. (2019) Análises canônicas revelam as diferenças entre cultivares quanto a índices espectrais foliares e potencial hídrico. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil.

- Santos, M.S., Feijó, N.S.A., Secco, T.M., Mielke, M.S., Gomes, F.P., Costa, L.C.B., Silva, D.C. (2014) Revista Brasileira de Plantas Mediciniais. Campinas, v.16, n.1, p.89-96.
- Saraiva G.R.F, Souza, G.M. Rodrigues, J.D (2014) Aclimação e fisiologia de mudas de Guanandi cultivadas em telas de sombreamento foto-protetoras Colloquium Agrariae 10(2):01-10.
- Schröder, T., Pereira, R.S., Zimmermann, A.P.L., Redin, C.G., Machado, L.M., Felck, M.D., Rocha, N.S. (2015) Influência de métodos de coleta de dados espectrorradiométricos sob índices de vegetação em eucalipto. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v.19, n. 3, p. 690-701.
- Shaner, G., & Finney, R. E. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, 67(8), 1051-1056.
- Silvar, C., García-González, C.A. (2017) Screening old peppers (*Capsicum* spp.) for disease resistance and pungency-related traits. *Sci. Hortic.* 218, 249–257.
- Sims, D.A., Gamon, J.A. (2003) Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment*, 84, 526–537.
- Smith, R.C.G., Adams, J., Stephens, D.J., Hick, P.T. (1995) Forecasting wheat yield in a Mediterranean type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46,113–125.
- Solanaceae In The Plant List, Disponível em: [http://www,theplantlist,org/1,1/browse/A/Solanaceae](http://www.theplantlist.org/1,1/browse/A/Solanaceae), acessado em fevereiro de 2020.
- Sonneveld, C., Voogt, W. (1990) Response of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) to an unequal distribution of nutrients in the root environment. *Plant Soil*. 124, 251–256.

- Souza, V.S.F.S. (2009) Caracterização morfológica e determinação da pungência em pimentos picantes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica – Produção Agrícola Tropical), Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 114p.
- Sudré, C. P., Rodrigues, R., Riva, E. M., Karasawa, M., Amaral Júnior, A. T. D. (2005) Divergência genética entre acessos de pimenta e pimentão utilizando técnicas multivariadas. *Horticultura brasileira*, 23(1), 22-27.
- Sun, H., Li, M., Zheng, L., Zhang, Y., Yang, W. (2011) Evaluation of maize growth by ground based multi-spectral image. In 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 207-211.
- Tadesse, T., Nichols, M.A., Hewett, E.W., Fisher, K.J. (2001) Relative humidity around the fruit influences the mineral composition and incidence of blossom end rot in weat pepper fruit, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76:1, 9-16.
- Tadesse, T., Nichols, M.A., Hewett, E.W., Fisher, K.J. (2001) Relative humidity around the fruit influences the mineral composition and incidence of blossom end rot in weat pepper fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76:1, 9-16.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. – Porto Alegre: Artmed.
- Tanksley S.D. (1984) High rates of cross-pollination in chile pepper, *HortScience* 19: 580-582, 1984.
- Tewksbury, J.J., Nabhan, G.P. (2001) Seed dispersal: directed deterrence by capsaicin in chillies. *Nature*, 412(6845), 403-404.
- Thorup, T. A., Tanyolac, B., Livingstone, K. D., Popovsky, S., Paran, I., Jahn, M. (2000) Candidate gene analysis of organ pigmentation loci in the Solanaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(21), 11192-11197.
- Tripodi, P., Cardi, T., Bianchi, G., Migliori, C. A., Schiavi, M., Rotino, G. L., Scalzo, R. L. (2018). Genetic and environmental factors underlying variation in yield

performance and bioactive compound content of hot pepper varieties (*Capsicum annuum*) cultivated in two contrasting Italian locations. *European Food Research and Technology*, 244(9), 1555-1567.

Topuz, A., Ozdemir, F (2007) Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal Food Composition and Analysis*. v. 20, n.7, p. 596-602.

Valiente-Banuet, J. I., Gutiérrez-Ochoa, A. (2016) Effect of irrigation frequency and shade levels on vegetative growth, yield, and fruit quality of piquin pepper (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *HortScience*, 51(5), 573-579.

Wahyuni, Y., Ballester, A-R., Sudarmonowati, E., Bino, R.J., Bovy, A.G. (2011) Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding, *Phytochemistry*, v, 72. n,11. p, 1358-1370.

Yang, J., Luo, B., Xu, G., Li, T., Chen, Y., Zhang, T. (2013) Low-concentration capsaicin promotes colorectal cancer metastasis by triggering ROS production and modulating Akt/mTOR and STAT-3 pathways, *Neoplasma*, 60: 364–372.

Zimmer, A.R., Leonardi, B., Miron, D., Schapoval, E., Oliveira, J.R., Gosmann, G. (2012) Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: from traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*. 139: 228- 2.