



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Tese de Doutorado

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ALFACE
SOB SATURAÇÃO TEMPORAL DO SOLO**

REGINALDO GOMES NOBRE

**Campina Grande
Paraíba**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
DOUTORADO**

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ALFACE SOB
SATURAÇÃO TEMPORAL DO SOLO**

TESE

REGINALDO GOMES NOBRE

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

MAIO - 2008

REGINALDO GOMES NOBRE

ENGENHEIRO AGRÔNOMO

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ALFACE SOB
SATURAÇÃO TEMPORAL DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORES

PEDRO DANTAS FERNANDES – Doutor – UFCG/CTRN/UAEAg

HANS RAJ GHEYI– Doutor – UFCG/CTRN/UAEAg

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

MAIO – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

N754c

2008 Nobre, Reginaldo Gomes.

Crescimento e produção de alface sob saturação temporal do solo /
Reginaldo Gomes Nobre. — Campina Grande, 2008.
149f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores : Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, Prof. Dr. Hans Raj
Gheyi.

1. *Lactuca sativa* L. 2. Deficiência de oxigênio. 3. Fitomassa. 4.
Relação raiz/parte aérea. 5. Estresse abiótico. I. Título.

CDU - 634.773(043)

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DE DOUTORADO

REGINALDO GOMES NOBRE

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ALFACE SOB SATURAÇÃO TEMPORAL DO SOLO

BANCA EXAMINADORA



Dr. Pedro Dantas Fernandes - Orientador



Dr. Hans Raj Gheyi - Orientador



Dr. Albericio Pereira de Andrade - Examinador



Dr. Sergio Nascimento Duarte - Examinador



Dr. José Francismar de Medeiros - Examinador



Dra. Lúcia Helena G. Chaves - Examinadora

PARECER

Aprovado com distinção

Aprovado com distinção

APROVADO COM DISTINÇÃO

APROVADO COM DISTINÇÃO

APROVADO COM DISTINÇÃO

J. Francismar

Aprovado com distinção

MAIO - 2008

Em memória de meu pai 'José Aderson Gomes', exemplo de amor, amizade, paz e pelo incentivo aos estudos dos seus filhos.

MINHA HOMENAGEM

A minha esposa 'Honorina (Ina)', que sempre esteve ao meu lado com amor e carinho me dando força para superar os momentos difíceis transcorridos neste trabalho e à minha filha 'Livia' a quem anseio paz, saúde e dedicação em seus estudos.

DEDICO

A minha mãe 'Luzia' pela dedicação, amor e paz espiritual para com os filhos, a quem devo minha formação moral e intelectual, bem como, a meu irmão 'Giovani' pela amizade e companheirismo.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, fonte de amor e sabedoria, por ter me dado inteligência, saúde e força para realizar este trabalho e alcançar mais um degrau em minha formação educacional.

A minha mãe, meu irmão e todos os meus familiares que me apoiaram na realização deste sonho.

A minha esposa 'Honorina' e filha 'Livia' pelo apoio, compreensão e estímulo.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade concedida à realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao orientador Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, pela valorosa contribuição na minha formação acadêmica, pela consideração e respeito: pessoa que considero como sincero amigo.

Ao co-orientador Dr. Hans Raj Ghevi, pelos ensinamentos ministrados durante o curso e na redação desta Tese, bem como, pela valiosa amizade.

À Coordenação: aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (UFCG), pelos ensinamentos técnico-científicos repassados; aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) devido ao auxílio dispensado.

Ao Amigo e irmão Marcos Eric Barbosa Brito que dedicou boa parte de seu precioso tempo me ajudando a realizar este trabalho.

Aos amigos Radines, Robi Tabolka, Eric, Marcelo, Wasceles, Everton, Elton e Sergio, que no convívio diário incentivaram e apoiaram a realização deste trabalho.

Aos colegas de curso Luis Nery, Mário Luiz, Paulo Torres, Genival Barros, Maria Leide, Sérvulo Mercier, Soahd Arruda, Eliezer da Cunha, Fred, Ivana Cordeiro, Vanda Maria, Betânia e Karina Guedes pelo bom convívio e união na batalha por uma educação de qualidade. E a Luanna, Julia e Ariadne, estagiárias que colaboraram na condução desta pesquisa.

A Assessoria consultoria e capacitação técnica orientada sustentável (ATOS – Caraúbas – RN) pela oportunidade e apoio na aquisição de conhecimentos práticos em hortaliças.

Finalmente, agradeço a todas as pessoas que contribuíram para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. Objetivo Geral.....	22
1.2. Objetivos Específicos.....	22
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1. A cultura da alface.....	23
2.2. Excesso de umidade no solo.....	27
2.2.1. Efeitos sobre o solo.....	27
2.2.2. Efeito sobre as plantas.....	28
2.3. Análise de crescimento.....	38
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1. Localização dos experimentos.....	41
3.2. Clima.....	42
3.3. Características do solo.....	43
3.4. Genótipos.....	44
3.5. Recipientes.....	45
3.6. Adubação.....	46
3.7. Irrigação.....	47
3.8. Experimento I.....	47
3.8.1. Tratamentos e delineamento estatístico.....	47
3.8.2. Semeadura e formação de mudas.....	48
3.8.3. Amostragem.....	49
3.8.4. Variáveis de crescimento.....	49
3.8.4.1. Número de folhas (NF).....	49
3.8.4.2. Diâmetro (DC) e altura do caule (AC).....	50
3.8.4.3. Fitomassa.....	50
3.8.4.4. Área foliar (AF).....	50
3.8.5. Coleta final.....	51
3.8.6. Variáveis fisiológicas.....	51
3.8.6.1. Relação raiz/parte aérea (R/PA).....	51
3.8.6.2. Razão de área foliar (RAF).....	52
3.8.6.3. Taxa de crescimento absoluto (TCA).....	52
3.8.6.4. Taxa de crescimento relativo (TCR).....	52
3.8.7. Análise estatística.....	53
3.9. Experimento II.....	54
3.9.1. Tratamentos e delineamento estatístico.....	54
3.9.2. Instalação e condução do experimento.....	54
3.9.3. Variáveis de crescimento.....	55

3.9.4. Coleta final.....	56
3.9.5. Variáveis fisiológicas.....	56
3.10. Análise estatística	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1. Experimento I	59
4.1.1. Número de folhas (NF).....	59
4.1.2. Diâmetro do caule (DC).....	61
4.1.3. Altura do caule (AC).....	63
4.1.4. Fitomassa fresca (FFPA) e seca (FSPA) da parte aérea	66
4.1.5. Área foliar (AF)	71
4.1.6. Fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC)	74
4.1.7. Fitomassa Seca de Raiz (FSR) e Total (FST).....	78
4.1.8. Relação raiz/parte aérea (R/PA)	82
4.1.9. Razão de área foliar (RAF).....	85
4.1.10. Taxa de crescimento absoluto (TCA).....	87
4.1.11. Taxa de crescimento relativo (TCR).....	89
4.2. Experimento II	92
4.2.1. Variáveis de Crescimento	92
4.2.1.1. Número de folhas (NF).....	92
4.2.1.2. Diâmetro do caule (DC).....	95
4.2.1.3. Altura de caule (AC).....	97
4.2.1.4. Fitomassa fresca (FFPA) e seca da parte aérea (FSPA)	99
4.2.1.5. Fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC)	106
4.2.1.6. Fitomassa seca de raiz (FSR) e total (FST)	111
4.2.1.7. Área foliar (AF)	115
4.2.2. Variáveis Fisiológicas.....	119
4.2.2.1. Relação raiz parte aérea (R/PA).....	119
4.2.2.2. Razão de área foliar (RAF).....	120
4.2.2.3. Taxa de assimilação líquida (TAL)	123
4.2.2.4. Taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR).....	123
5. CONCLUSÕES	128
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas do substrato utilizado na produção de mudas de alface.....	43
Tabela 2 – Características físico-hídricas e químicas do solo. Campina Grande, PB, 2007	44
Tabela 3 – Calendário de adubação utilizado no Experimento I. Campina Grande, PB, 2007	46
Tabela 4 – Calendário de adubação utilizado no Experimento II. Campina Grande, PB, 2007	47
Tabela 5 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento I, para as avaliações realizadas aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT).....	53
Tabela 6 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento II, para as avaliações realizadas aos 5, 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr).....	57
Tabela 7 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento II, para a avaliação realizada aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr)	58
Tabela 8 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para número de folhas (NF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	60
Tabela 9 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para diâmetro do caule (DC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	62
Tabela 10 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para altura do caule (AC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	64
Tabela 11 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007	67
Tabela 12 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca da parte aérea (FSPA) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007	70
Tabela 13 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para área foliar (AF) por planta aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	73

Tabela 14 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de folhas (FSF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	75
Tabela 15 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de caule (FSC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	76
Tabela 16 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de raiz (FSR) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	79
Tabela 17 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca total (FST) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	81
Tabela 18 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para relação raiz / parte aérea (R/PA) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	83
Tabela 19 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para razão de área foliar (RAF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007.....	86
Tabela 20 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para taxa de crescimento absoluto (TCA) entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007 ..	88
Tabela 21 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para taxa de crescimento relativo (TCR) entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007 ..	90
Tabela 22 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para número de folhas (NF) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007.....	93
Tabela 23 – Desdobramento da interação duração do encharcamento e cultivar (DE x C) e médias para número de folhas (NF), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007.....	94
Tabela 24 – Desdobramento do contraste (Tratamento x Test. Elba) e valores médios de número de folhas (NF) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface.....	94

- Tabela 25** – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamento para diâmetro do caule (DC) e altura de caule (AC) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007. 96
- Tabela 26** – Desdobramento da interação (C x NE) e médias para altura de caule (AC), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007..... 98
- Tabela 27** – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de altura de caule (AC) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface..... 99
- Tabela 28** – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e seca (FSPA) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007 101
- Tabela 29** – Desdobramento da interação (DE x C) e médias para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007..... 103
- Tabela 30** – Desdobramento da interação (DE x C x NE) e médias para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007..... 103
- Tabela 31** – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e seca (FSPA) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)..... 104
- Tabela 32** – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina , PB, 2007 107
- Tabela 33** – Desdobramento da interação duração do encharcamento e cultivar (DE x C) e médias para fitomassa seca de folha (FSF), aos 5 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007..... 108
- Tabela 34** – Desdobramento da interação (DE x C x NE) e médias para fitomassa seca de caule (FSC), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007 109
- Tabela 35** – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface..... 110

Tabela 36 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para fitomassa seca de raiz (FSR) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007.....	112
Tabela 37 – Desdobramento da interação ‘DE x C’, ‘DE x NE’ e médias para fitomassa seca de raiz (FSR), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007.....	113
Tabela 38 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba) para FSR, (Tratamento x Test. Irene) para FST e valores médios das variáveis (FSR e FST) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr).....	114
Tabela 39 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e de números de encharcamentos para área foliar (AF) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007.....	117
Tabela 40 – Desdobramento da interação (DE x C x NE) e médias para área foliar (AF), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007.....	118
Tabela 41 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) para área foliar (AF) e valores médios da variável aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr).....	118
Tabela 42 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para relação raiz/parte aérea (R/PA), razão de área foliar (RAF) e taxa de assimilação líquida (TAL) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007.....	121
Tabela 43 – Desdobramento da interação (C x NE) e médias para razão de área foliar (RAF), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007.....	122
Tabela 44 – Desdobramento dos contrastes ‘Tratamento x Test. Elba’ para relação raiz/parte aérea (R/PA) e para razão de área foliar (RAF) e valores médios das variáveis aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr).....	122
Tabela 45 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) entre os períodos (0-5, 5-10 e 10-20 dias após a aplicação do tratamento - DATr). Campina Grande, PB, 2007.....	125

- Tabela 46** – Desdobramento da interação (DE x C) e médias para taxa de crescimento relativo (TCR), entre 0 e 5 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007..... 126
- Tabela 47** – Desdobramento do contraste (Tratamento x Test. Elba) e valores médios de taxa de crescimento absoluto (TCA) no período entre 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)..... 127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área experimental com disposição dos vasos.....	41
Figura 2 - Dados médios mensais de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), radiação global (w m^{-2}), umidade relativa (%) e total de precipitação pluvial mensal (mm) de Campina Grande, PB, durante o período de julho a outubro de 2007.....	42
Figura 3 – Curva característica de retenção de água do solo. Campina Grande, PB, 2007	43
Figura 4 – Cultivares de alface	45
Figura 5 - Disposição das camadas de material usado no preenchimento dos vasos	46
Figura 6 – Número de folhas (NF) de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal do NF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007	61
Figura 7 – Diâmetro do caule (DC) da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal do DC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007	63
Figura 8 – Altura do caule (AC) da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da AC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007	65
Figura 9 – Fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FFPA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007	69
Figura 10 – Fitomassa seca da parte aérea (FSPA) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSPA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007	71
Figura 11 – Área foliar por planta (AF) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da AF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007.....	74
Figura 12 – Fitomassa seca de folhas (FSF) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007	77

- Figura 13** – Fitomassa seca de caule (FSC) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007 78
- Figura 14** – Fitomassa seca de raiz (FSR) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSR para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007..... 80
- Figura 15** – Fitomassa seca total (FST) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A) e variação temporal da FST para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007..... 82
- Figura 16** – Relação raiz / parte aérea (R/PA) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da R/PA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007 84
- Figura 17** – Razão de área foliar (RAF) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da RAF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007..... 87
- Figura 18** – Taxa de crescimento absoluto (TCA) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da TCA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007 89
- Figura 19** – Taxa de crescimento relativo (TCR) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da TCR para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007 91
- Figura 20** – Número de folhas de alface aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A), aos 20 DATr (B) e variação temporal do NF por cultivar (C). Campina Grande, PB, 2007 95
- Figura 21** – Variação temporal do diâmetro de caule de cultivares de alface em. Campina Grande, PB, 2007 97
- Figura 22** – Altura de caule de cultivares de alface em variação temporal (A) e por número de encharcamento (B). Campina Grande, PB..... 99
- Figura 23** – Fitomassa fresca da parte aérea aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr na Cv. Elba (A) e na Cv. Irene (B), aos 20 DATr na Elba

- sob um encharcamento (NE_1) e dois (NE_2) (C) e na Irene (D) e variação temporal por cultivar (E). Campina Grande, PB, 2007 105
- Figura 24** – Fitomassa seca da parte aérea aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal por cultivar de alface (B). Campina Grande, PB, 2007 106
- Figura 25** – Fitomassa seca de folha (FSF) de cultivares de alface aos 5 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal por cultivar (B), fitomassa seca de caule (FSC) aos 20 DATr (C) e variação temporal das cultivares em relação a FSC (D). Campina Grande, PB, 2007 111
- Figura 26** – Fitomassa seca de raiz (FSR) das cultivares de alface aos 20 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A), comportamento das cultivares em relação aos números de encharcamentos (B) e fitomassa seca total aos 20 DATr (C). Campina Grande, PB, 2007 115
- Figura 27** – Área foliar de cultivares de alface aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A), da cv. Elba (B) e Irene (C) aos 20 DATr sob diferentes números de encharcamentos e variação temporal por cultivar (D). Campina Grande, PB, 2007 119
- Figura 28** – Razão de área foliar aos 20 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e comportamento das cultivares em função dos números de encharcamentos – NE (B). Campina Grande, PB, 2007 123
- Figura 29** – Taxa de crescimento absoluto (TCA) de cultivares de alface entre o período 0 – 5 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal das cultivares (B). Campina Grande, PB, 2007 126
- Figura 30** – Taxa de crescimento relativo das cultivares nos períodos 0 - 5 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal das cultivares (B). Campina Grande, PB, 2007 127

RESUMO

Extensas áreas agrícolas, cultivadas com olerícolas no Nordeste brasileiro, estão constantemente expostas a alagamento, no período chuvoso, por se situarem em solos de várzeas ou de baixadas. Considerando-se a inexistência de dados de pesquisas desenvolvidas sobre o tema na região, realizou-se este trabalho com o objetivo de se estudar o crescimento e a produção das cultivares de alface ‘Elba’ e ‘Irene’, submetidas a saturação temporal do solo. Entre julho e outubro de 2007, foram conduzidos dois experimentos, em área da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG. As cultivares foram cultivadas em vasos plásticos (4 plantas/vaso) de aproximadamente 40 L de capacidade, contendo material de solo franco-argilo-arenoso; a adubação de fundação constou de 22,79g de P_2O_5 , 0,72g de K_2O e 2050 g de húmus de minhoca, por vaso. As plantas foram irrigadas, diariamente, com um volume de água que proporcionasse drenagem (aproximadamente 10%). No Experimento I, o início de encharcamento ocorreu aos 17 dias após o transplante das mudas (DAT) e constou de 7 tempos de duração (0, 6, 12, 18, 24, 30 e 36 horas de encharcamento), realizando-se as avaliações aos 22, 28 e 38 DAT, esta última por ocasião da colheita das plantas; fatorialmente combinados às duas cultivares, resultaram em 14 (7 x 2) tratamentos. No experimento II, foram dois encharcamentos, iniciados aos 12 e 22 DAT, resultando em dois procedimentos estatísticos: no primeiro, foram analisados os efeitos deficiência de oxigênio no solo causada com encharcamento aos 12 DAT, com cinco tempos de duração (0, 12, 24, 36 e 48 horas de encharcamento), nas 2 cultivares, resultando em fatorial 5 x 2, realizando-se as avaliações aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento (DATr); no segundo procedimento, procedeu-se avaliação (aos 20 DATr inicial) das plantas submetidas a um encharcamento (12 DAT) e dois (12 e 22 DAT), resultando em um fatorial 4 x 2 x 2, constando de 4 tempos de duração de encharcamento (12, 24, 36 e 48 horas), aplicados às 2 cultivares e a 2 níveis de anoxia (um e dois encharcamento), somando-se ao fatorial mais 2 tratamentos testemunhas, um para cada genótipo (resultando em 18 tratamentos). Os experimentos foram instalados em blocos ao acaso, com três repetições, sendo a parcela constituída de 1 vaso. A duração e a duplicação de encharcamento reduziram o crescimento e a produção de alface, sendo a fitomassa fresca da parte aérea a variável de maior sensibilidade ao estresse anoxítico. Ambas as cultivares são sensíveis à anoxia, mas tenderam a recuperar parte do crescimento com o

tempo pós-estresse. A cv. Elba foi superior à 'Irene' em termos de número de folhas, diâmetro e altura de caule, fitomassa seca da parte aérea e raiz, taxa de crescimento absoluto e relativo, relação raiz/parte aérea e taxa de assimilação líquida; a 'Irene' se destacou em fitomassa fresca da parte aérea.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., deficiência de oxigênio, fitomassa, relação raiz/parte aérea, estresse abiótico

ABSTRACT

GROWTH AND PRODUCTION OF LETTUCE UNDER SATURATION TEMPORAL OF SOIL

Extensive agricultural areas, cultivated in the horticultural crops in northeast Brazil, are exposed constantly to flooding, in the rainy period, because of location in low lands soils or of slopes. Considering the inexistence of research on the theme in the area, this study was undertaken with the objective of studying the growth and the production of the cultivars of lettuce 'Elba' and 'Irene', submitted to saturation temporal of soil. During July and October of 2007, two experiments were conducted, in the experimental area of the Academic Unit of Agricultural Engineering of UFCG. The cultivars were grown in plastic vases (4 plants/vase) of 40 L capacity, containing material of sandy-clay-loam soil; the basal dose of fertilizer consisted of 22,79g of P_2O_5 , 0,72g of K_2O and 2050 g of earth worm, for vase. The plants were irrigated, daily, with a volume of water that provided drainage (approximately 10%). In Experiment I, the beginning of waterlogging occurred 17 days after transplant (DAT) and it consisted of 7 times of duration (0, 6, 12, 18, 24, 30 and 36 hours of waterlogging), evaluating the effects at 22, 28 and 38 DAT, this last one of the occasion of harvest of the plants; combined factorials in the two cultivars, resulted in 14 (7 x 2) treatments. Experiment II, two waterlogging intervals imposed at 12 and 22 DAT, resulting in two statistical procedures: in the first, the effects of the anoxia caused with waterlogging at 12 DAT were analyzed, with five duration of time (0, 12, 24, 36 and 48 hours of waterlogging), in 2 cultivars, resulting in 5 x 2 factorial, with the evaluations at the 5th and 10th day after the application of the treatment (DATr); in the second procedure, evaluation was proceeded to the 20 DATr and the plants were submitted to the single (12 DAT) and double (12 and 22 DAT) waterlogging, resulting in a factorial 4 x 2 x 2, consisting of 4 duration times of waterlogging (12, 24, 36 and 48 hours), applied to 2 cultivars and 2 waterlogging levels (one and two times), being added to the factorial 2 more treatments (control), one for each genotype (resulting in 18 treatments). The experiments were installed in randomized blocks, with three repetitions. The duration and the duple waterlogging reduced the growth and the lettuce production, being the fresh dry matter of the aerial part the variable of larger sensibility to the anoxic stress; both the cultivars were

sensitive to the anoxia, but they tended to recover part of the growth with the time after stress. The cv. Elba was superior the to ' Irene' in terms of number of leaves, diameter and stem height, dry matter of the aerial part and root, rate of absolute and relative growth, root/shoot relationship and rate of liquid assimilation; the ' Irene' stood out in fresh phytomass of the aerial part.

KEY-WORDS: *Lactuca sativa* L.; oxygen deficiency; dry matter; root/shoot relation; abiotic stress.

1. INTRODUÇÃO

Condições de estresse afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas, com destaque para a deficiência de O_2 no solo, decorrente de encharcamento. Problemas de excesso de água no solo são freqüentes, seja por eventos naturais, como solos adensados, chuvas intensas e inundações, ou como consequência de atividades agrícolas, como irrigações excessivas ou compactação de camadas subsuperficiais do solo pelo uso intenso de máquina.

A disponibilidade de oxigênio no solo para as plantas pode variar desde teores normais (normoxia), à deficiência (hipoxia) e até a ausência total de oxigênio (anoxia), afetando grande parte das culturas que exigem condições equilibradas de umidade e aeração do solo para o seu desenvolvimento (Sá, 2005).

Muitas áreas agrícolas com potencial produtivo são afetadas por inundações de duração variável que, reduzem significativamente a produção de alimentos; o conhecimento de práticas agrícola, como manejo do solo e da cultura, do sistema de irrigação e de drenagem e controle de adubação, dentre outras, são importantes para uma possível atenuação dos efeitos adversos ocasionados pelo encharcamento.

Durante a saturação do solo há um rápido desaparecimento do oxigênio e forte limitação à difusão de gases (Armstrong et al., 1994; Kozłowski, 1997; Liao & Lin, 2001); após o período de encharcamento pode ocorrer uma compactação do solo decorrente da quebra e do rearranjo de partículas agregadas (Engelaar et al., 1993). Portanto, o alagamento altera os processos físico-químicos levando a um acúmulo de gases, como CO_2 e CH_4 , alterações do pH e decréscimo no potencial redox (Ponnamperuma, 1984).

Para Liao & Lin (2001), a anoxia ou a hipoxia sofrida pelo sistema radicular altera o metabolismo celular, provocando queda imediata na respiração e absorção de

minerais pelas raízes, tanto em plantas tolerantes como nas intolerantes. Dependendo da espécie, da velocidade de encharcamento do solo, da altura da lâmina d'água e do tempo de submersão, as estruturas adaptativas das plantas podem ser mais evidentes, favorecendo a sua sobrevivência em ambientes sujeitos a inundações súbitas, como em áreas marginais de represas, margens de rios e lagoas em cheias sazonais (Jackson & Armstrong, 1999).

De acordo com Kolb (1988), a habilidade das plantas em viverem sob condições de deficiência ou ausência de O₂, é comum na natureza; algumas plantas morrem rapidamente durante o encharcamento, enquanto outras são capazes de sobreviver em tais condições. Segundo Drew (1997), a capacidade de plantas se mostrarem tolerantes às adversidades ocasionadas pela deficiência de oxigênio no solo, pode ser atribuída a mecanismos de adaptações morfológicas e anatômicas. Dentre as alterações morfológicas pode-se citar o desenvolvimento de aerênquimas, raízes adventícias e espaços intracelulares maiores, entre outros (Santiago & Paoli, 2003).

Por serem, geralmente, cultivadas em áreas de baixadas, as olerícolas são mais sujeitas à situações de acumulação em excesso de água no solo; os prejuízos são maiores considerando-se a maior expressão econômica desses cultivos, em relação a muitas outras espécies. No Brasil, em 2002, o valor de produção das hortaliças atingiu cerca de 2,5 bilhões de dólares, com um volume de 15 milhões de toneladas de alimento, em área de pouco mais de 807 mil hectares (EMBRAPA, 2004). Dentre as hortaliças, a alface (*Lactuca sativa* L.) se destaca como a folhosa mais importante na alimentação dos brasileiros, devido aos seus valores nutricionais (vitaminas e sais minerais), assegurando, com isso, expressiva significância econômica e social (Yuri et al., 2002; Resende et al., 2003; Grangeiro et al., 2006; Marchi, 2006). No Brasil, são aproximadamente 30 mil hectares cultivados com alface, proporcionando uma produção anual de aproximadamente dois milhões de toneladas. A atividade é responsável pela geração de 60 mil empregos diretos constituindo, assim, um agronegócio importante do ponto de vista econômico e social (Teixeira Yañes et al., 2003; Grangeiro et al., 2006).

Conforme dados divulgados pela CEASA (2006), o Estado de São Paulo é o maior produtor de alface do Brasil ocupando uma área de 7.859 hectares, produzindo 137 mil toneladas por ano e gerando mais de 6.000 empregos. O cultivo desta hortaliça é realizado de maneira intensiva e, na grande maioria, por agricultores familiares.

Pelas peculiaridades do clima na região nordeste, cultiva-se alface durante todo o ano, geralmente em solos de várzeas, com irrigações diárias; é comum localizar-se o lençol freático à pequena profundidade, em tais áreas, encharcando o solo por tempo variado no período de chuvas. Apesar desses fatos e da importância econômica e social da cultura da alface para a agricultura familiar de muitos Estados do Nordeste, não se encontrou na literatura disponível nenhum trabalho reportando dados de pesquisa sobre hipoxia ou anoxia, em cultivos dessa espécie na região. O único trabalho encontrado foi realizado em Piracicaba, SP (Flecha, 2004), em que, além das condições ambientais serem diferentes, foi utilizada a cultivar Verônica, do grupo de alface manteiga, mais apropriada para aquela região, segundo Filgueira (2003).

1.1. Objetivo Geral

Avaliar o crescimento e a produção das cultivares de alface ‘Elba’ e ‘Irene’ submetidas à saturação hídrica do solo, em condições de Campina Grande, PB.

1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos da saturação hídrica do solo em dois experimentos, o primeiro com um único encharcamento e o outro com dois encharcamentos, sobre variáveis de crescimento, fisiológicas e de produção das duas cultivares de alface.
- Estudar o comportamento das cultivares de alface ‘Elba’ e ‘Irene’ sob diversas durações de encharcamento em condições de ambiente não protegido.
- Determinar o nível de tolerância das duas cultivares de alface ao estresse por deficiência de oxigênio do solo.
- Avaliar os índices de crescimento das cultivares Elba e Irene, sob condições de encharcamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família das *Asteráceas* (compositae) (Filgueira, 2003) e é originária da região do Mediterrâneo. Esta hipótese se fundamenta na presença da forma primitiva (*Lactuca serriola* L.) cultivada naquela região, sendo registrada sua utilização pelos egípcios a 4500 a.C. para extração de óleos de suas sementes (Ryder, 1999); como hortaliça é registrada a sua utilização desde 2500 a.C; para o Brasil, a planta chegou através dos portugueses, no século XVI. As espécies silvestres ainda podem ser encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (IAC, 1998; Goto & Tivelli, 1998).

Conforme Filgueira (2003), trata-se de uma planta herbácea, muito delicada, com caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas em forma de roseta, podendo ser lisas ou crespas, verdes ou roxas, fechando-se ou não em forma de “cabeça”. As raízes são do tipo pivotante, podendo atingir até 60 cm de profundidade, com ramificações delicadas, finas e curtas, explorando apenas os primeiros 25cm do solo; a fase vegetativa de seu ciclo se encerra quando a planta atinge o maior desenvolvimento de suas folhas, fase, a partir da qual começa a emissão de uma haste floral que pode alcançar 100cm de altura, terminando por uma inflorescência ramificada, com numerosas flores hermafroditas. Temperaturas elevadas e dias longos são necessários para o pendoamento.

Esta hortaliça é conhecida no mundo inteiro por seu elevado teor de vitamina A nas folhas verdes, alcançando até 4000UI 100g⁻¹ (Barbosa et al., 1999; Filgueira, 2003). Segundo Camargo (1992), contém, ainda, as vitaminas B₁, B₂, B₅ e C, além dos minerais Ca, Fe, Mg, P, K, e Na, cujos teores variam de acordo com a cultivar.

Filgueira (2003) cita que, de acordo com a variedade, a alface pode ser classificada nos grupos ou tipos: repolhuda-manteiga, repolhuda-crespa ou americana, solta-lisa, solta-crespa, mimosa e romana. Os diferentes grupos diferem quanto aos fatores: época de colheita, tamanho, compactação e coloração da cabeça, espessura de folhas, resistência a doenças e comportamento fisiológico (Camargo, 1992; CEAGESP, 2001).

Conforme o aspecto das folhas (crespas ou lisas) e o fato delas se reunirem ou não, para formarem 'cabeça' repolhuda, podem-se ter: (a) as do grupo manteiga, com folhas lisas e 'cabeça': Elisa, Regina, Brasil 303, Floresta, Áurea, Aurélia, Babá, Carolina, Monalisa, Minie; (b) as cultivares do grupo de folhas crespas sem formar 'cabeça': Grand Rapids, Verônica, Brisa, Elba (inverno) e Vanessa (verão); (c) as do grupo americana, com folhas grossas e 'cabeça': Great Lakes, Mesa, Salina, Tainá, Lorca, Irene; (d) as do grupo romana, com folhas tipicamente alongadas, duras, com nervuras claras e protuberantes, 'cabeça' fofa e alongada: Corsica, Lente a Monter, Lucy, Brown, Niner, Rider e Trianon (CATI, 1997; IAC, 1998).

A alface é uma cultura anual, é independente de um intervalo de frio para passar da fase vegetativa à reprodutiva. Dias curtos e temperaturas amenas ou baixas, geralmente, favorecem a etapa vegetativa do ciclo da maioria de seus genótipos; a planta resiste, inclusive, a baixas temperaturas e geadas leves. Contrariamente, o florescimento, que se inicia com o pendoamento, é favorecido por dias longos e temperaturas elevadas (CATI, 1997; Filgueira, 2003). A temperatura média mensal ideal para o bom desenvolvimento de plantas de alface varia de 15 a 18 °C, com um máximo 21 a 24 °C e mínimo de 7 °C, sendo as altas temperaturas responsáveis pela emissão do talo floral (Brunini et al., 1976 apud Lopes, 2002); temperaturas noturnas inferiores a 15 °C são mais importantes que as diurnas para um bom rendimento (CATI, 1997). Segundo Rodrigues (2002), o efeito da temperatura sobre o crescimento e a produção da alface é específico para cada cultivar; ele afirma, ainda, que temperaturas diárias mais altas que 21 °C induzem ao pendoamento, o sabor amargo e aumento de distúrbios fisiológicos. Mattos (2000) relata que com o melhoramento genético se obtiveram cultivares mais tolerantes ao calor e, atualmente, é possível seu cultivo no período de temperaturas mais elevadas e fotoperíodos mais longo, sem estimular ou retardar o pendoamento e sem alterar o sabor original, impedindo o acúmulo de lactato, responsável pelo sabor amargo.

Para Cermeño (1990) e Martinez (2006) a umidade relativa do ar mais adequada ao bom desenvolvimento da alface varia de 60 a 80%, mas em determinadas fases de seu ciclo o melhor desempenho é observado em valores inferiores a 60% .

Visto que o ciclo é muito curto, a cultura da alface carece de solo com boa disponibilidade de nutrientes e umidade, devendo-se evitar solos encharcados ou impermeáveis (CATI, 1997). Conforme Filgueira (2003), não tolera acidez do solo, exige pH entre 6,0 e 6,8 para uma boa produção e, devido à delicadeza de seu sistema radicular, produz melhor em solos areno-argilosos, bem soltos, ricos em matéria orgânica e com alta disponibilidade de nutrientes.

O uso de adubos orgânicos na produção de hortaliças é uma prática de comprovada eficiência na produtividade, aumentando o fornecimento de nutrientes essenciais às plantas, beneficiando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Schneider, 1983; Ricci, 1994; Vidigal et al., 1995). Vários estudos demonstram seus efeitos benéficos, tanto na produção quanto na qualidade da cultura da alface como, por exemplo, com esterco de cama de aviário (Nicolaud et al., 1990), com composto de lixo (Costa et al., 1994), o composto orgânico (Santos et al., 1994; Yuri et al., 2004), esterco de curral (Trani et al., 2000) e o vermicomposto (Mantovani et al., 2003). As fontes mais comuns de resíduo orgânico são representadas pelos resíduos de culturas, estercos, compostos e outros. A escolha do resíduo vegetal a ser utilizado é função de sua disponibilidade, variando entre as regiões e com a cultura na qual se fará seu emprego (Heredia Zárate et al., 2004).

Comumente a cultura da alface se inicia com a sua semeadura em bandejas de isopor ou polietileno, com posterior transplante para o canteiro, quando as mudas apresentam quatro folhas definitivas (entre 20 e 30 dias), esta tecnologia é a mais utilizada por olericultores de alto nível, que formam suas mudas em estufas; ressalta-se que as mudas com raízes protegidas por torrão são facilmente transplantadas e o pegamento é rápido. A tradicional sementeira ainda é utilizada, porém o transplante de raiz nua é desfavorável; a semeadura direta é menos utilizada no Brasil e exige ótimo preparo dos canteiros definitivos e das semeadoras apropriadas. Sob calor e chuva intensa ocorrem falhas na germinação e na emergência, inviabilizando tecnicamente (Filgueira, 2000).

No sistema a céu aberto o período de desenvolvimento pode chegar a até 90 dias (Sganzerla, 1997; Filgueira, 2003); no entanto, a colheita deve ser realizada quando

a planta atingir o máximo desenvolvimento porém com as folhas tenras sem indício de florescimento (Filgueira, 2003).

Os canteiros devem ser mantidos limpos de qualquer outra vegetação, seja por meio mecânico ou químico (herbicida), haja vista que qualquer concorrência se faz muito prejudicial ao seu rendimento, principalmente por se tratar de cultura de ciclo curto (CATI, 1997). As capinas devem ser realizadas de forma superficial, manual ou mecanicamente, de modo a se prevenir danos ao sistema radicular.

Deve-se fazer o manejo de irrigação de hortaliças levando-se em conta fatores do solo, do clima e da planta. Para o cultivo em solo, o teor de água deve ser mantido acima de 80% da água disponível (AD) ao longo do ciclo, inclusive durante a colheita (Figueredo, 1998; Filgueira, 2003). O período particularmente antes da colheita é indicado como o mais crítico ao déficit de umidade do solo, conforme Doorenbos & Pruitt (1997). Em função da alface ser uma das hortaliças mais exigentes em água, a irrigação é o trato cultural mais importante, devendo ser efetuado diariamente, quando não houver chuva, independente do método de irrigação utilizado (CATI, 1997).

O controle de pragas e doenças com uso adequado de defensivos, também faz parte dos tratos culturais necessários ao bom rendimento desta cultura (Filgueira, 2003).

O cultivo da alface é praticado de maneira intensiva, em sistema de monocultura colhendo-se, na mesma área, até cinco safras no ano (Teixeira Yañes et al., 2003). Geralmente é explorado pela agricultura familiar, sendo responsável pela geração de cinco empregos diretos por hectare, tendo significativo valor de agregação do homem ao campo (Nakagawa et al., 1993; Costa & Sala, 2005).

Atualmente, a alface lisa vem reduzindo gradativamente seu espaço, correspondendo a menos de 10% do mercado. O segmento de alface predominante no Brasil é a do tipo crespa, com 70% do mercado (Costa & Sala, 2005); esta preferência interna pela alface crespa é um fato único em relação à alficultura mundial. Segundo Filgueira (2003), o melhor tipo comercial tem entre 15 e 17cm de diâmetro transversal e cerca de 10cm, longitudinalmente, pesando 400g, com coloração verde-amarelado, sendo a cabeça repolhuda, bem compacta (Filgueira, 2003).

2.2. Excesso de umidade no solo

Estima-se que 6% da superfície terrestre são ocupados por áreas alagadas ou sujeitas a alagamento temporário (Maltby, 1990), nas quais a difusão de gases da atmosfera até o solo é fortemente afetada (Armstrong et al., 1994).

2.2.1. Efeitos sobre o solo

O solo é um meio poroso no qual se conjugam as fases sólidas (matéria orgânica e mineral), líquidas e gasosas, que fornecem à planta oxigênio e nutrientes necessários para o seu bom desenvolvimento. Para que se cumpra a interação entre esses componentes de forma favorável, os teores de água e oxigênio devem estar em proporções que favoreçam um ambiente ótimo para o crescimento vegetal (Coelho et al., 1988; Reichardt & Timm, 2004).

O oxigênio atmosférico se difunde muito vagarosamente em solos densos, encharcados ou inundados, de forma que sua concentração pode cair a valor muito baixo em termos de porcentagem do volume da atmosfera edáfica ou pode simplesmente desaparecer (Larcher, 2000).

Segundo Sanchez (1984), o excesso hídrico destrói a estrutura do solo e causa desequilíbrio no sistema solo-planta. O rompimento dos agregados do solo é resultado da redução da coesão entre as partículas, devido ao aumento do conteúdo de água, dispersão da argila em função da diluição da solução do solo e destruição dos agentes cimentantes, entre outros.

A composição do ar do solo é semelhante à da atmosfera; no entanto, são observadas algumas diferenças, principalmente, nos teores de O_2 e CO_2 ; no solo, a concentração de CO_2 é maior em virtude dos processos metabólicos; já, a concentração de O_2 é menor que na atmosfera, devido ao consumo de microrganismos e do sistema radicular das plantas; contudo, as concentrações desses elementos não são constantes. Os teores de O_2 e CO_2 podem variar de acordo com a distribuição das chuvas, as atividades biológicas do solo, a espécie cultivada, a profundidade e o tipo de solo e as práticas de manejo e de cultivo (Baver et al., 1973; Larcher, 2000). Para se evitar deficiência de O_2 ou excesso de CO_2 na rizosfera, as trocas gasosas entre a atmosfera e o solo devem ocorrer rapidamente (Reichardt, 1996).

Conforme Raij (1991), as principais mudanças químicas decorrentes do excesso hídrico são: desaparecimento de oxigênio; acúmulo de dióxido de carbono; decomposição mais lenta da matéria orgânica; transformações do nitrogênio; redução do ferro, manganês e sulfato e acúmulo de compostos tóxicos. Nos processos de obtenção de energia pelos organismos surgem reações que resultam na transferência de elétrons de substâncias que, por sua vez, servem como fontes de energia para produtos, frutos da respiração. Metais sujeitos a oxirredução, como manganês e ferro, podem ser reduzidos a formas de menor valência, recebendo, portanto, elétrons, substituindo assim o papel do oxigênio.

Ponnamperuma (1972) destaca que, do ponto de vista químico, a principal diferença entre um solo submerso e um solo bem drenado é que o primeiro está em estado de redução e apresenta coloração cinza ou esverdeada na camada reduzida, tem baixo potencial de oxirredução e contém íons e gases na forma reduzida, como, NH_4^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+} , CH_4 e H_2S ; esta redução no solo é consequência da respiração das bactérias anaeróbias do solo. Durante a respiração a matéria orgânica é oxidada e os componentes do solo são reduzidos.

As alterações físicas, químicas, eletroquímicas e biológicas causadas pelo excesso hídrico, influenciam fortemente a fertilidade do solo (Ponnamperuma, 1984).

2.2.2. Efeito sobre as plantas

Para se desenvolverem, os vegetais necessitam de certo equilíbrio entre a quantidade de água disponível no solo e o espaço ocupado pelo ar no solo.

Segundo Fernandes (2005), as plantas estão continuamente sujeitas às condições adversas constituindo o que, na ecofisiologia vegetal, é denominado de estresse. São múltiplos os fatores causadores de estresse nos vegetais, afetando o crescimento, o desenvolvimento e a produção das culturas; em todas as situações adversas, a planta desvia parte de seu metabolismo para se adaptar ou sobreviver ao fator limitante, das mais variadas formas, em detrimento da produção, pois parte da energia é desviada para este processo. Taiz e Zeiger (2006) definem o estresse como sendo um fator externo que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta. Em condições naturais e agricultáveis, as plantas estão expostas a ambientes desfavoráveis, o que resulta em algum grau de estresse.

A magnitude da injúria ocasionada pela anoxia nas culturas varia conforme a espécie vegetal, o tempo da inundação e a fase de crescimento, além da temperatura prevalente na época da inundação (Costa, 1994).

Muitas culturas utilizadas pelo homem pertencem ao grupo das mesófilas, tipo de planta que se desenvolve com disponibilidade de água intermediária entre as xerófilas, capazes de tolerar a falta de água e as hidrófilas que crescem total ou parcialmente submersas em água. Embora as mesófilas exijam solos com boa disponibilidade de água na medida em que começa o processo de encharcamento, os espaços de ar no solo são preenchidos com água; portanto, parte do oxigênio poderá ficar dissolvida na água ou presa nos pequenos poros onde é rapidamente consumido pelas raízes, induzindo-as a entrar, inicialmente, em um estado de hipoxia e posteriormente de anoxia (Joly, 1994).

Conforme Marschiner (1995), o efeito do encharcamento do solo pode ser rapidamente percebido nas plantas: o crescimento das raízes cessa imediatamente e em pouco tempo surgem sintomas como murchamento, clorose e inibição do crescimento foliar. A principal consequência do alagamento do solo é a diminuição da concentração de oxigênio, o que dificulta a respiração radicular e acarreta a parada do processo ativo de absorção de nutrientes (o qual depende da respiração) e ocorrência de respiração anaeróbica pela planta e pelos microrganismos do solo, resultando em acúmulo de substâncias tóxicas (Pires et al., 2002).

O alagamento elimina os espaços de ar entre as partículas do solo, limitando as trocas gasosas entre este e a atmosfera. Em poucas horas os microrganismos e as raízes das plantas consomem todo o oxigênio presente na água e deixam o solo submerso praticamente destituído desse gás (Ponnamperuma, 1984). A falta de O_2 nas raízes altera o seu metabolismo e a produção de energia, por meio de fosforilação oxidativa, é substituída pela fermentação, que produz somente dois moles de ATP para cada mol de glicose. A baixa produção de energia por esta via pode ser compensada, em parte, por um aumento da taxa de oxidação (Vartapetian & Jackson, 1991; Joly & Brändle, 1995; Crawford & Brandle, 1996).

O estresse causado pela baixa disponibilidade de oxigênio conduz a uma redução na síntese de ATP, proteínas e ácidos nucleicos, e todas essas modificações causam impacto na indução e expressão genética de várias enzimas associadas ao metabolismo fermentativo de carboidratos (Davies, 1980; Mocquot et al., 1981;

Raymond et al., 1985; Ricard et al., 1994; Sousa & Sodek, 2002; Fukao & Bailey-Serres, 2004). O suporte para a importância do aumento das taxas de fermentação alcoólica nas plantas sob anoxia vem de várias observações experimentais (revisadas por Waters et al., 1991): a) enzimas da fermentação alcoólica frequentemente se proliferam na ausência de O₂; b) mutantes sem desidrogenase alcoólica (ADH) morrem mais rapidamente durante a anoxia; c) maior tolerância à anoxia vem de pré-tratamento hipóxico e, presumidamente, da indução de enzimas para a fermentação alcoólica durante este período; d) fornecimento de açúcar aumenta a sobrevivência das plantas, provavelmente em função do aumento das taxas de fermentação alcoólica e e) maiores taxas de fermentação alcoólica são relacionadas à tolerância ao encharcamento em várias espécies.

Conforme Jackson & Drew (1984) em solos bem drenados a respiração aeróbia do sistema radicular das plantas e dos microrganismos consome cerca de 5 a 24g m⁻² dia⁻¹ de O₂. O suprimento do oxigênio utilizado na respiração vegetal em condições normais se difunde do ar do solo até as raízes, fenômeno drasticamente reduzido quando ocorre saturação do meio com água (Cruciane, 1981). Observações de Mukhtar et al., (1996) indicaram que o encharcamento do solo durante 24 horas reduziu a concentração de O₂, a taxa de difusão de oxigênio e o potencial redox a valores abaixo de 20%, 20 x 10⁻⁸g cm⁻² min⁻¹ de O₂ e 600mV, respectivamente, restringindo o oxigênio para as raízes das plantas.

A concentração de oxigênio sob condições naturais em solução, pode ser de 5 a 10% (v/v em equilíbrio com a fase gasosa) (Erdmann & Wiedenroth, 1988) implicando que, em um sistema radicular extremamente heterogêneo, pode haver células com normoxia, hipoxia e, em zonas apicais onde o consumo de O₂ é alto, possivelmente células em condição de anoxia. As zonas apicais das raízes com rápida taxa de consumo de O₂ e poucos espaços intercelulares para conduzir a difusão gasosa, são susceptíveis a hipoxia, quando as temperaturas são altas (Armstrong & Beckett, 1985).

Após 24 horas de inundação com temperatura ambiente superior a 20 °C, pode haver esgotamento total de O₂ do solo devido ao consumo por microrganismos, fauna e raízes (Armstrong et al., 1994; Drew et al., 2000; Liesack et al., 2000). Cruciani (1985) constatou, em estudos realizados com milho, que 2 horas depois da inundação, a concentração de CO₂ se elevou de 1% para 35,5% e em 216 horas, sua elevação no solo

passou para 64%. De acordo com Silva (1984), as raízes das plantas cultivadas não toleram elevadas concentrações de CO₂; para o algodão e a soja, no entanto, a concentração tolerável é de 20%, embora outras culturas não tolerem este nível.

Conforme Taiz & Zeiger (2006), as plantas sensíveis à inundação são danificadas severamente em 24 horas de anoxia. O crescimento e a sobrevivência de muitas espécies vegetais são bastante prejudicados sob tais condições e a produtividade dos cultivos pode ser severamente reduzida; já em condições de hipoxia, as plantas apresentam maior resistência, mesmo as mais sensíveis ao encharcamento do solo (Benincasa, 1984).

Segundo Millar (1978), as hortaliças só resistem ao excesso d'água por poucas horas, enquanto os cereais e outras culturas de ciclo curto podem resistir a um encharcamento de 24 horas; as pastagens permitem uma condição de inundação de três ou mais dias, podendo chegar a 20, conforme a espécie.

Durante a hipoxia, o oxigênio que permanece dissolvido na água ou em pequenos espaços do solo é rapidamente consumido pela respiração das plantas e por microrganismos (Gastal, 2000). Conforme Luxmoore et al. (1973), nesse processo a temperatura exerce grande influência visto que o aumento de temperatura ocasiona aumento da atividade microbiológica do solo e da velocidade de transformações químicas e, conseqüentemente, aumenta também o consumo de oxigênio.

Segundo Lange (1953) e Nobel (1974), a quantidade de etileno aumenta com a inundação e citam, como exemplo, que em condições anaeróbicas, após 7 dias a concentração de etileno varia de 9,3 a 10,6mg kg⁻¹, enquanto em condições aeróbicas, à profundidade de 15cm, esta concentração é de 0,07mg kg⁻¹ e a uma profundidade de 60cm, de 0,14mg kg⁻¹. A crescente concentração de etileno causa afinamento das hastes, senescência epinástica e queda das folhas (Jackson, 2003).

Para Benincasa (1984), o aumento de substâncias tóxicas, como dióxido de carbono, etileno, ferro reduzido, metano, sulfetos e outros compostos no solo não deve ser atribuído à deficiência de O₂, mas ao acúmulo de água no solo, que impede a liberação dos gases para a atmosfera.

O estresse experimentado pelas raízes sob inundação se intensifica com o tempo, graças à passagem de hipoxia para anoxia e pela ação de toxinas produzidas por bactérias anaeróbicas do solo. Anoxia e toxinas podem matar as raízes, mas algumas das

respostas iniciais à hipoxia e à ação do etileno permitem que as raízes evitem a anoxia e toxificação, se a inundação persistir (Jackson, 1985).

Em solos hidromórficos, freqüentemente, ocorrem inundações e oscilações da profundidade do lençol freático, ocasionadas por problemas de drenagem, precipitações intensas, cheias de rios e lagos e irrigações excessivas, condições em que o espaço poroso do solo é totalmente preenchido pela água, interrompendo o intercâmbio gasoso existente entre a atmosfera e o solo, em virtude das trocas gasosas em solo saturado serem menores que em solos não saturados, haja vista que difusão do oxigênio na água é 10.000 vezes mais lenta que a do ar (Patrick & Mahapatra, 1968; Sanchez, 1976). Como consequência, ocorrem modificações nas propriedades físicas, químicas e bioquímicas do solo que afetam, de várias formas, o desenvolvimento e a produtividade da planta (Voeselek et al., 1992).

As espécies vegetais e, algumas vezes, as várias cultivares de uma mesma espécie respondem, diferentemente, à profundidade do lençol freático, conforme o estágio de desenvolvimento. A distribuição das raízes no perfil do solo tem influência sobre os efeitos das condições de aeração sobre a planta. Espécies de sistema radicular raso e fibroso são mais eficientes na absorção de oxigênio em condições de aeração pobre, que plantas de sistema radicular profundo.

Diferenças genéticas inatas propiciam respostas diferentes das espécies e cultivares à composição gasosa da atmosfera do solo; entretanto, o efeito nocivo do excesso de água no solo está mais correlacionado com ausência de oxigênio que ao excesso do gás carbônico (Williamson & Kriz, 1970).

Conforme Williamson & Kriz, 1970, a idade fisiológica da cultura promove alterações no grau de hidratação dos tecidos e da taxa necessária de oxigênio para respiração celular, acarretando amplas variações na resposta à deficiência de aeração.

Funcionalmente, as raízes adventícias substituem as raízes ocasionalmente mortas durante o alagamento (Vartapetian & Jackson 1997) e promovem o retorno ao metabolismo aeróbio do sistema radicular, impedindo a formação de compostos tóxicos por vias fermentativas e auto-envenenamento (Janiesch, 1991; Lobo & Joly, 1995; Vartapetian & Jackson 1997).

Decréscimos da concentração de oxigênio no solo podem afetar a respiração radicular e acarretar efeitos adversos ao desenvolvimento das plantas (Harris & Van

Bavel, 1957). De acordo com Jacson & Drew (1984), a redução da taxa de crescimento radicular é a primeira resposta ao estresse por excesso de água no solo. O metabolismo das raízes é rapidamente restringido quando a concentração de O_2 no solo diminui a níveis críticos, o que não ocorre na parte aérea das plantas, mas é aqui que a assimilação e o metabolismo respondem lentamente à inundação do solo (Musgrave & Vanhoy, 1989). Para Ashaf & Chishti, (1993) a deficiência de O_2 pode ser mais prejudicial ao crescimento radicular do que ao crescimento da parte aérea da planta.

A insuficiência de oxigênio devido ao alagamento aumenta o processo de óxidorredução, a respiração diminui e ocorrem redução do nível de energia nas células radiculares e diminuição da absorção de substâncias nutritivas (Kozlowski, 1976).

Em condições de alagamento, a respiração anaeróbica das plantas e microrganismos reduz rapidamente a concentração do oxigênio na solução do solo levando à formação de um ambiente hipóxico ou anóxico, culminando com o desaparecimento da vegetação sensível a esta condição (Crawford & Bräendle, 1996). Apesar do estresse, existem espécies de plantas que conseguem sobreviver ao alagamento, por causa de mecanismos de adaptações morfológicos, metabólicos e anatômicos (Vartapetian & Jacson, 1997).

Para Armstrong et al. (1994) e Braendle & Crawford (1999), a anoxia ou a hipoxia é prejudicial para a maioria das espécies vegetais superiores, sendo a germinação e o desenvolvimento inicial pós-germinativo, os períodos de maior vulnerabilidade. Poucas espécies possuem sementes capazes de germinar sob anoxia; a base bioquímica que possibilita a germinação em condições anaeróbicas ainda não é totalmente conhecida, mas a capacidade de manter um metabolismo fermentativo ativo, pelo fornecimento de carboidratos prontamente fermentáveis para a via glicolítica é, provavelmente, importante (Raymond et al., 1985; Perata et al., 1993).

Conforme Joly (1994), a falta de O_2 pode afetar sensivelmente a parte aérea das plantas. Raízes submetidas à hipoxia não conseguem absorver íons nem transportá-los para a parte aérea, resultando em aparecimento de sintomas de deficiência nos tecidos, situação que induz a um processo de remobilização dos principais elementos, tais como nitrogênio, fósforo e potássio das folhas mais velhas para os drenos, dando origem a um processo de senescência prematuro.

O primeiro sintoma a ser notado nas plantas sob estresse anoxítico é o murchamento das folhas, sobretudo se o estresse ocorrer rapidamente e em condições atmosféricas favoráveis à transpiração (Kramer & Jacson, 1954; Levitt, 1980); entretanto, uma série de outros sintomas pode ocorrer quando da deficiência de oxigênio e do aumento da concentração de gases tóxicos no solo, como: epinastia, clorose nas folhas, hipertrofia do caule, formação de raízes adventícias e aerênquimas, diminuição do crescimento da planta e da produtividade, redução da absorção de água e da taxa de fotossíntese, aumento da susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças, morte das raízes e, em alguns casos, morte da planta (Glinski & Stepniewski, 1986; Patwardhan et al., 1988; Rodrigues et al., 1993; Del Rosário & Fajardo, 1991; Baruch, 1994).

A deficiência de O_2 no solo ocasiona uma série de modificações químicas e bioquímicas nas plantas, dentre as quais se destacam: redução na síntese de fitorreguladores como giberelinas, citocininas e aumento de auxinas, como ácido indolilacético (IAA) e do ácido abscísico (ABA) (Reid & Bradford, 1984; Smit et al., 1990); desordens metabólicas nas plantas que diminuem a eficiência na utilização de carbono e aumentam a produção de etanol e lactato (Marschner, 1995); aumento, especialmente nos solos ácidos, da disponibilidade para as plantas de elementos como Fe, S, Ca, Mo, Ni, Zn, Pb e Co, ocasionando toxidez, em especial pelo excesso de Fe e Mn (Grable, 1966; Silva, 1984; Rodrigues et al., 1993).

O restabelecimento da aeração do solo pode ocasionar danos ainda mais severos às plantas que o período de deficiência de oxigênio (Sá, 2005). Biemelt et al. (1998) analisaram os efeitos da re-oxigenação em plantas de trigo e concluíram que a anoxia seguida da re-oxigenação, foi severamente prejudicial às atividades metabólicas das plantas quando comparadas com a hipoxia. Conforme Crawford e Braendle (1996), os efeitos são ocasionados pela formação de radicais ativos e produtos oxidativos tóxicos, como acetaldeído. Para esses autores, a anoxia prolongada sob altas temperaturas esgota a reserva de carboidratos e permite o acúmulo de metabólitos, causando danos ao tecido celular, quando re-oxigenados.

Os tecidos com altas atividades metabólicas estão mais sujeitos a condições de hipoxia quando têm carência de espaços intercelulares, quando contêm células com poucos vacúolos ou estão localizados no centro de órgãos distante de onde o oxigênio penetra na planta (Dongen, 2003). A primeira consequência deste processo é a diminuição ou consequente parada da respiração aeróbica. A cadeia transportadora de

elétrons situada na mitocôndria pára e a síntese de ATP é inibida (Blokhina, 2000); nessas condições, as vias fermentativas, como as fermentações láctica e alcoólica, são promovidas e afetam a carga de energia da célula e a taxa de NADH/NAD⁺ (Chrikova & Belonogova, 1991).

Os vegetais de diferentes espécies variam muito em relação ao grau de tolerância às diferentes concentrações de oxigênio existentes em ambientes sujeitos à inundação. Nas duas últimas décadas, muitos estudos têm sido efetuados com o intuito de elucidar os mecanismos pelos quais as plantas conseguem sobreviver nesses ambientes (Medri & Correa, 1985; Joly, 1991; Crawford, 1992; Pimenta et al., 1996; Kolb et al., 1998; Medri et al., 2002), entre outros. No Brasil, estudos na área de tolerância ao alagamento e deficiência de oxigênio surgiram na década de 80, com o trabalho de Joly & Crawford (1982) enfocando vários aspectos metabólicos de plantas lenhosas tropicais.

O estresse ocasionado pela baixa concentração de O₂ no solo inundado faz com que plantas tolerantes ao excesso de umidade desenvolvam aerênquimas, podendo ocorrer, nas raízes, nódulos, caules e folhas submersas (Pabkhurst & Sprent, 1975; Kawase & Whitmoyer, 1980; Armstrong et al., 1994; Loureiro et al., 1995; Drew, 1997; Jacson & Armstrong, 1999; Drew et al., 2000; Schussler & Longstreth, 2000; Gibberd et al., 2001).

O aerênquima pode reduzir substancialmente a resistência interna ao transporte de O₂, N₂ e vários metabólitos gasosos como CO₂ e etileno, especialmente entre a parte aérea e as raízes. O transporte de O₂ pelo aerênquima diminui o risco de asfixia da planta quando ela está com o sistema radicular inundado ou completamente submerso e, ainda, promove a desintoxicação da rizosfera de substâncias formadas em solos reduzidos (como óxido de ferro e manganês) devido à perda de O₂ pelas raízes (Smith, 1984; Voesenek et al., 1992; Jacson & Armstrong, 1999; Souza et al., 2000). Justin & Armstrong (1987), selecionaram 91 espécies, que apresentavam como forma de resistência a encharcamentos, a extensão do aerênquima e observaram, também, que nos espaços para a condução do ar havia menos células respiratórias, diminuindo a resistência à difusão do oxigênio. As plantas que não desenvolveram aerênquimas pertencem ao grupo mais sensível ao encharcamento.

Estudando o comportamento de plantas sob alagamento, Crawford (1992) descreveu sobre a habilidade das espécies em reduzir o impacto causado pelo estresse,

em função de diferentes estratégias de sobrevivência, por meio de mecanismos de “tolerância”, como modo de “evitar” ou escapar de ambientes anóxicos. Segundo o autor, a tolerância envolve adaptações metabólicas, de acordo com a espécie, plantas e tecidos que consistem na regulação da respiração, no armazenamento de energia, no metabolismo lipídico e atividade mitocondrial, na síntese de etileno e em adaptações fotossintéticas. A consequência dessas adaptações na respiração anaeróbica no metabolismo celular é um dos fatores que mais interferem nos processos fisiológicos.

Conforme Letey et al. (1962) e Cruciani (1987), a tolerância das culturas a deficiência de aeração, em razão do excesso de água, é muito variável, dependendo da duração do excesso, da temperatura predominante no momento da inundação, do estágio de desenvolvimento, da espécie vegetal e dos organismos formados durante o processo.

De acordo com Joly, (1996), Larcher, (2000) e Santiago & Paoli (2003) as respostas de plantas submetidas ao alagamento, denotam que o estado nutricional das plântulas influencia a expressão de caracteres morfológicos, como a formação de aerênquima e raízes adventícias, sendo esta resposta mais efetiva nas plantas nutridas.

As raízes adventícias emergem a partir de partes dos colmos submersos em plantas sob alagamento; este mecanismo de adaptação permite que novas raízes substituam a função do sistema radicular original. O crescimento horizontal dessas raízes próximo à superfície da água e a sua localização no colmo, perto dos locais de formação de aerênquimas, favorecem maior disponibilidade de oxigênio para elas do que para o antigo sistema radicular danificado (Jackson & Drew, 1984).

Descrições de Regehr et al. (1975) citam, também, que o transporte de água, tal como o de ar, é melhorado pelas raízes adventícias em comparação com as raízes originais sob anoxia, promovendo reabertura estomática durante períodos prolongados de alagamento, fato atribuído à transferência de funções do sistema radicular afetado para as raízes recém desenvolvidas.

Para Larcher (2000), muitas plantas germinam, emitem raízes e crescem sobre solos com deficiência de oxigênio, por desenvolverem certas adaptações que lhes conferem a habilidade de superar um ambiente anóxico, em que uma das estratégias é a troca da respiração aeróbica pela anaeróbica; essa mudança afeta, severamente, a disponibilidade de energia, requerendo grande parte da reserva de carboidratos

existentes na planta, gerando, assim, produtos finais potencialmente tóxicos e causando acidose citoplasmática (Crawford, 1992).

A combinação exata de características bioquímicas que permitem a algumas células tolerarem a anoxia por períodos longos, não está totalmente compreendida (Taiz & Zeiger, 2006). Em 1997 Drew citava que a aclimação a uma condição anaeróbica estava associada à expressão de genes que codificam muitas das proteínas de estresse anaeróbico.

Mesmo com excesso de água no solo, a planta pode desempenhar suas funções normalmente, desde que exista uma porcentagem mínima de poros livres de água e que estes permitam a difusão de oxigênio próximo à zona radicular (Sá, 2005).

Em espécies adaptadas a solos inundados não ocorre o fechamento estomático e o metabolismo radicular não é alterado consideravelmente pela anoxia, devido ao eficiente sistema de transporte e difusão de oxigênio nas raízes dessas espécies (Jackson & Drew, 1984); já em algumas espécies, a falta de O_2 nas raízes induz o fechamento dos estômatos sem, entretanto, ocasionar alteração evidente do potencial de água nas células do mesófilo. Zhang & Davies (1987) reportaram uma estimulação na produção e movimento de ABA desde as raízes para a parte aérea, em plantas sob alagamento.

O acúmulo de açúcares solúveis em raízes de plantas sob alagamento do solo, tem sido reportado como forma de tolerância a esse estresse (Liau & Lin, 2001); porém, em alguns estudos se tem constatado grande acúmulo de açúcares em plantas tidas como intolerantes ao alagamento do solo (Castonguay et al., 1993; Su et al., 1998).

Existem mecanismos adaptativos nas plantas para tolerar a deficiência de oxigênio no solo. O arroz, por exemplo, tem a capacidade de transferir o oxigênio da atmosfera para as raízes, através das folhas e do caule; nas raízes este é excretado na rizosfera, formando uma região de oxidação, e assim reduz o efeito ou a disponibilidade de substâncias tóxicas como Fe^{2+} e Mn^{2+} ; da mesma forma, a soja apresenta mecanismos adaptativos à condição de restrição de O_2 (Bacanamwo & Purcell, 1999b). De acordo com Bartlett & James (1993), a habilidade das plantas em tolerar condições com restrição de O_2 está ligada à capacidade das raízes em oxidar a rizosfera por meio da transferência de O_2 da parte aérea para as raízes; são mecanismos que garantem temporariamente a sobrevivência das plantas (Hostner & Leaf, 1962).

A fim de suprir a deficiência de energia promovida pelo alagamento com a paralisação da respiração aeróbica, algumas espécies redirecionam as vias metabólicas para garantir a produção de ATP pelo aumento na taxa de fermentação (Davies, 1980; Lemke-Keyes & Sachs, 1989; Setter & Ella, 1994).

Espécies tolerantes à anaerobiose radicular promovem rápidas mudanças metabólicas, como a ativação da enzima desidrogenase alcoólica (ADH) que converte acetaldeído gerado na respiração anaeróbica, em etanol (Hook, 1984; Drew, 1992).

A sensibilidade das culturas ao excesso de umidade depende do clima e do estágio fenológico em que a inundação acontece e do tempo de exposição ao estresse. No que diz respeito ao segundo aspecto, experimentos realizados no Brasil com as culturas do trigo, feijão, pimentão e milho, revelaram que a floração é o estágio em que o encharcamento causa maior redução de produtividade e que, no estágio final do ciclo, o efeito adverso do encharcamento diminui (Cruciani, 1981; Silva, 1982; Cruciani & Minami, 1982; Cruciani, 1985). Para culturas cujo ciclo comercial não chega a atingir o florescimento, como alface, poucos são os relatos na literatura a respeito do estágio mais sensível.

Flecha (2004) constatou, após estudar os efeitos da inundação do sistema radicular da alface através de três períodos de aplicação de encharcamento (12, 22 e 32 dias após o transplantio) e quatro velocidades de rebaixamento do nível freático (30cm em 24, 48, 72 e 96h), que a cultura foi sensível ao encharcamento e o período mais crítico de aplicação do encharcamento foi o inicial (aplicado do 12º ao 15º dia após o transplantio).

A alface apesar de ser a mais popular das hortaliças folhosas, sendo cultivada em quase todas as regiões do globo terrestre (Gomes, 2001; Resende et al., 2003), poucos são os trabalhos de pesquisa envolvendo estresse anoxítico e esta cultura. Encontrou-se, em nível de Brasil, apenas o de Flecha (2004), onde, além de serem distintas as condições ambientais, foi diferente o grupo da variedade estudada.

2.3. Análise de crescimento

A análise de crescimento de plantas tem sido usada, apropriada e inapropriadamente, por pesquisadores, em especial por aqueles que estudam diferenças

no crescimento, de ordem genética ou oriunda de modificações ambientais (Benincasa, 2003). O crescimento de uma planta pode ser definido de várias maneiras; em alguns casos, a determinação da altura é suficiente, mas, às vezes, maiores informações são necessárias, abrangendo o tamanho de folhas (comprimento, largura e área) e o peso de matéria seca. Através da análise quantitativa do crescimento deve-se observar a ação conjunta de três níveis de controle: o genético, o hormonal e o ambiental.

Conforme Benincasa (2003), a análise do crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo, e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total, podendo, assim, ser muito útil no estudo do comportamento vegetal sob diferentes condições ambientais e de cultivo, auxiliando na seleção cultivares ou espécies que apresentem características funcionais mais apropriadas aos objetivos do pesquisador.

Whale et al. (1985) citam que o crescimento de plantas sob diferentes condições ambientais pode ser medido por diversas maneiras, tais como, tamanho, número ou massa de seus órgãos. Apesar da complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise de crescimento ainda é um meio acessível e preciso para se avaliar o crescimento e os processos fisiológicos do comportamento vegetal.

A análise de crescimento se baseia, fundamentalmente, no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo de seu crescimento, resultam da atividade fotossintética; o restante, da absorção de nutrientes minerais. Embora quantitativamente de menor expressão, os nutrientes minerais são indispensáveis ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Apesar de não se poder quantificar a importância da fotossíntese e dos nutrientes separadamente, nota-se estreita relação entre os dois, de tal forma que deficiência em um prejudica o outro, direta ou indiretamente (Benincasa, 2003).

Métodos para obtenção de dados para fins de análise quantitativa de crescimento de plantas sob condições normais de cultivo são, em geral, simples, constituindo principalmente medições periódicas de matéria seca e área foliar (Radford, 1967). Com os elementos básicos podem-se estimar índices fisiológicos, tais como taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, razão de área foliar, taxa de assimilação líquida e índice de área foliar, dentre outros (Kvet et al., 1971).

Segundo Magalhães (1985), é importante se conhecer a maneira pela qual a matéria orgânica produzida é distribuída pela planta; um exemplo desta relação “alométrica” é dado pelo quociente entre a fitomassa das raízes e da parte aérea (R/PA). Esta relação tem grande significado morfogenético podendo indicar a contribuição das reservas armazenadas no sistema radicular para o crescimento da parte aérea.

Conforme Benincasa (2003), a taxa de crescimento absoluto (TCA) ou taxa de crescimento da cultura, expressa a variação ou incremento de massa da planta entre duas amostragens, por unidade de tempo e expressa a velocidade média de crescimento ao longo do período observado.

Para Magalhães (1985), a taxa de crescimento relativo (TCR) pode ser denominada índice de eficiência, uma vez que representa a capacidade da planta em produzir material novo, ou seja, a sua eficiência na conversão de matéria seca. Hunt (1982) relata que a taxa de crescimento relativo de uma planta, em um tempo t , é definida como o aumento do material da planta por unidade de material presente, por unidade de tempo. Ferri (1985) diz que a TCR é uma medida bastante apropriada para a avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulado.

De acordo com Ferri (1985), a determinação da área foliar (AF) é importante haja vista que as folhas são as principais responsáveis pela captação de energia solar e pela produção de matéria orgânica através da fotossíntese. Conhecendo-se a superfície foliar e as alterações do peso da planta durante certo período de tempo, torna-se possível avaliar, através de cálculos, a eficiência das folhas e sua contribuição para o crescimento da planta, como um todo. Para Benincasa (2003), a razão de área foliar (RAF) relaciona a área foliar com a matéria seca resultante da fotossíntese, ou seja, expressa a área foliar útil para a fotossíntese.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos experimentos

Foram realizados dois experimentos, em instalações não protegidas (sem cobertura e proteção lateral) (Figura 1), pertencentes à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, vinculada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG – PB), Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18" de latitude sul, 35°52'28" de longitude oeste do meridiano de Greenwich e altitude média de 550m; os trabalhos foram conduzidos durante o período compreendido entre julho e outubro de 2007, avaliando-se o crescimento e a produção da alface sob condições de saturação hídrica do solo. No primeiro experimento se avaliou a cultura submetida a um estresse por encharcamento e, no segundo, foram avaliados os efeitos de dois períodos de encharcamento.



Figura 1 – Área experimental com disposição dos vasos

3.2. Clima

Segundo a classificação climática de Köppen, aplicada ao Brasil (Nakata & Coelho 1978; Coelho & Soncin, 1982), o clima de Campina Grande – PB é do tipo CSa, que significa um clima mesotérmico, semi-úmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e chuvas de outono a inverno. A estação chuvosa da região se inicia no mês de fevereiro ou março, prolongando-se até julho ou agosto, sendo os meses de junho e julho os mais chuvosos com média de precipitação anual em torno de 700mm; já a estação seca se inicia em setembro e se estende até fevereiro (Brasil, 1972).

A amplitude térmica da região é muito pequena devido à baixa latitude; as temperaturas oscilam pouco durante o ano e os valores mínimos e máximos se situam entre 19,5 e 26,0 °C, respectivamente, com meses mais quentes entre janeiro e fevereiro e os mais frios entre julho e agosto (Brasil, 1972).

Durante a realização do estudo foram registrados os dados climáticos (temperatura média, umidade relativa do ar e precipitações pluviométricas), obtidos em estação meteorológica situada próxima à área experimental, os quais estão apresentados na Figura 2.

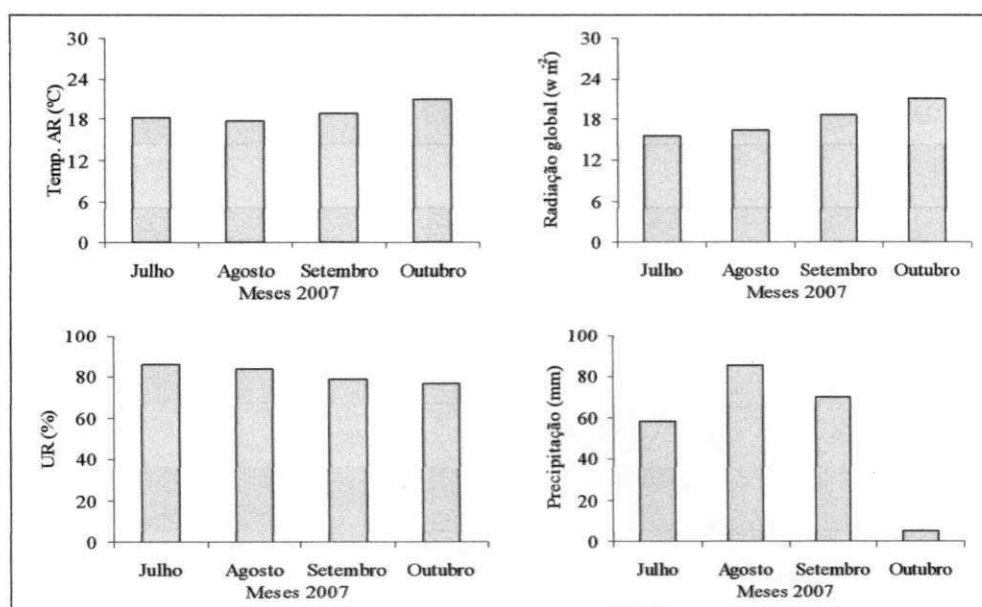


Figura 2 - Dados médios mensais de temperatura do ar (°C), radiação global (w m⁻²), umidade relativa (%) e total de precipitação pluviométrica mensal (mm) de Campina Grande, PB, durante o período de julho a outubro de 2007

3.3. Características do solo

Na produção das mudas de alface de ambos os experimentos, foi utilizado um substrato comercial contendo uma combinação de vermiculita, casca de pinus e casca de arroz carbonizada, na proporção 1:1:1, cujas características químicas, fornecidas pelo Laboratório de Irrigação (LIS) e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN/UFCG), estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas do substrato utilizado na produção de mudas de alface

CE	pH		H ⁺	Al ⁺³	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
Suspensão 1:2			----- cmol _c kg ⁻¹ -----									
5,5 dS m ⁻¹	5,00	Trocável	16,8	0,2	0,197	2,58	35,58	29,07	-	-	-	-
Extrato saturação			----- mmol _c dm ⁻³ -----									
7,4 dS m ⁻¹	5,01	Solúveis	-	-	6,16		39,25	21,25	0	2,4	31,8	P

O material de solo usado para o enchimento dos vasos dos Experimentos I e II foi retirado da camada superficial (horizonte A) de um Argissolo (EMBRAPA, 1999), classificado texturalmente como franco-argilo-arenoso, proveniente de uma área próxima à UFCG, cujas características físico-hídricas e químicas estão na Tabela 2 e a curva característica de retenção de água do solo está apresentada na Figura 3.

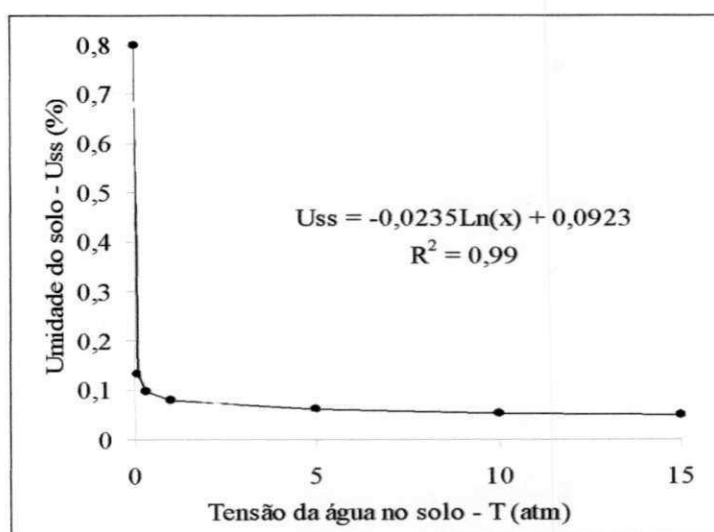


Figura 3 – Curva característica de retenção de água do solo. Campina Grande, PB, 2007

Tabela 2 – Características físico-hídricas e químicas do solo. Campina Grande, PB, 2007

Atributo	Unidade	Valor
Características físico-hídricas		
Areia	g kg ⁻¹	694,4
Silte	g kg ⁻¹	104,4
Argila	g kg ⁻¹	201,2
Classificação textural	-	Franco-argilo-arenoso
Densidade aparente (ds)	g cm ⁻³	1,36
Densidade real (dp)	g cm ⁻³	2,68
Porosidade (ε)	%	49,25
Capacidade de campo (CC) (33,44 kPa)	g kg ⁻¹	64,3
Ponto de murchamento (PM) (1519,87 kPa)	g kg ⁻¹	18,2
Água disponível (AD)	g kg ⁻¹	46,1
Complexo sortivo		
Cálcio (Ca ⁺²)	cmol _c kg ⁻¹	0,76
Magnésio (Mg ⁺²)	cmol _c kg ⁻¹	1,71
Sódio (Na ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	0,02
Potássio (K ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	0,05
Hidrogênio (H ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	1,41
Alumínio (Al ⁺³)	cmol _c kg ⁻¹	1,20
Soma de bases (S)	cmol _c kg ⁻¹	2,54
Carbono orgânico (C-org.)	g kg ⁻¹	0,70
Matéria orgânica (M.O.)	g kg ⁻¹	1,20
Nitrogênio (N-org.)	g kg ⁻¹	0,10
Fósforo Assimilável (P)	g kg ⁻¹	0,20
pH em água (1:2,5)	-	5,80
CE da suspensão do solo – água (1:2,5) (CEsa)	dS m ⁻¹	0,80

Análises realizadas no Laboratório de irrigação e salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN/UFCG)

3.4. Genótipos

Estudaram-se, na pesquisa, duas cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.), denominadas, comercialmente, ‘Elba’ e ‘Irene’ (Figura 4), cujas sementes foram procedentes das Empresas TOPSEED e HORTIVALE, respectivamente. A ‘Elba’ é uma cultivar pertencente ao grupo “crespa”, que produz folhas, caracteristicamente, crespas e consistentes, com bordas franjadas, coloração normalmente verde-claro, de porte alto e compacto, sem formar cabeça; a ‘Irene’ é do grupo “americana”, com folhas crespas e grossas, folhas internas, de cor creme, imbricadas como as do repolho, consistentes e quebradiças, com nervura destacada e forma cabeça; essas cultivares são cultivadas na região Nordeste do Brasil (IAC, 2005).

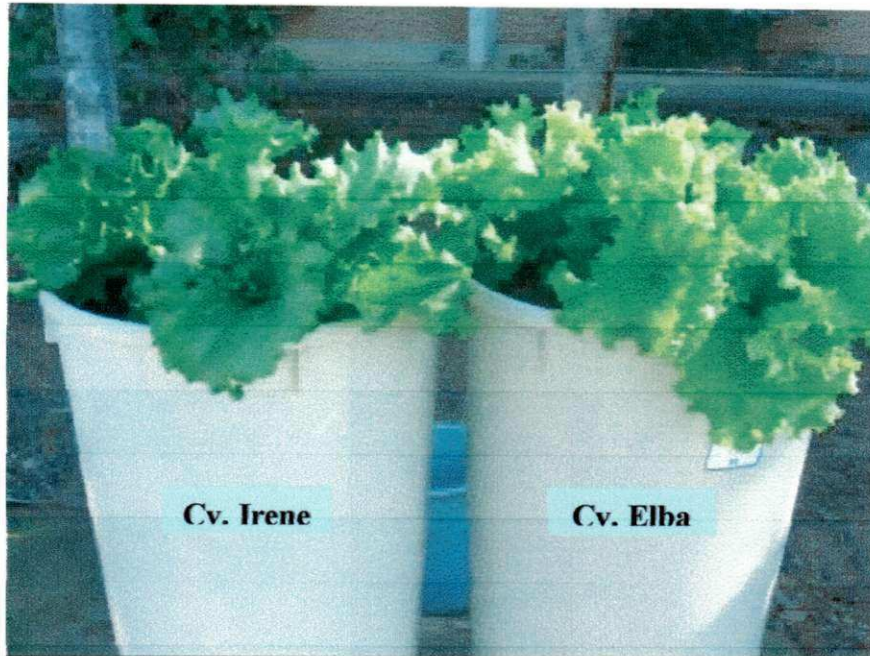


Figura 4 – Cultivares de alface

3.5. Recipientes

Foram utilizados vasos plásticos para cultivo das plantas de aproximadamente 40L de capacidade; cada vaso (altura de 50cm, diâmetro da base inferior de 30cm e abertura superior de 33cm) tinha uma mangueira transparente de 4mm de diâmetro conectada à sua base, para drenagem; quando presa à face externa do vaso, servia para acompanhar a profundidade do lençol freático em seu interior. A extremidade da mangueira que ficava dentro do vaso foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução pelo material de solo.

Os vasos (Figura 5) foram preenchidos, com uma camada de 4kg de brita + 11kg de material de solo (devidamente destorroado) + 41kg do mesmo solo adicionando-se a adubação de fundação. Deixaram-se 5cm livres na superfície do vaso, para facilitar a irrigação.

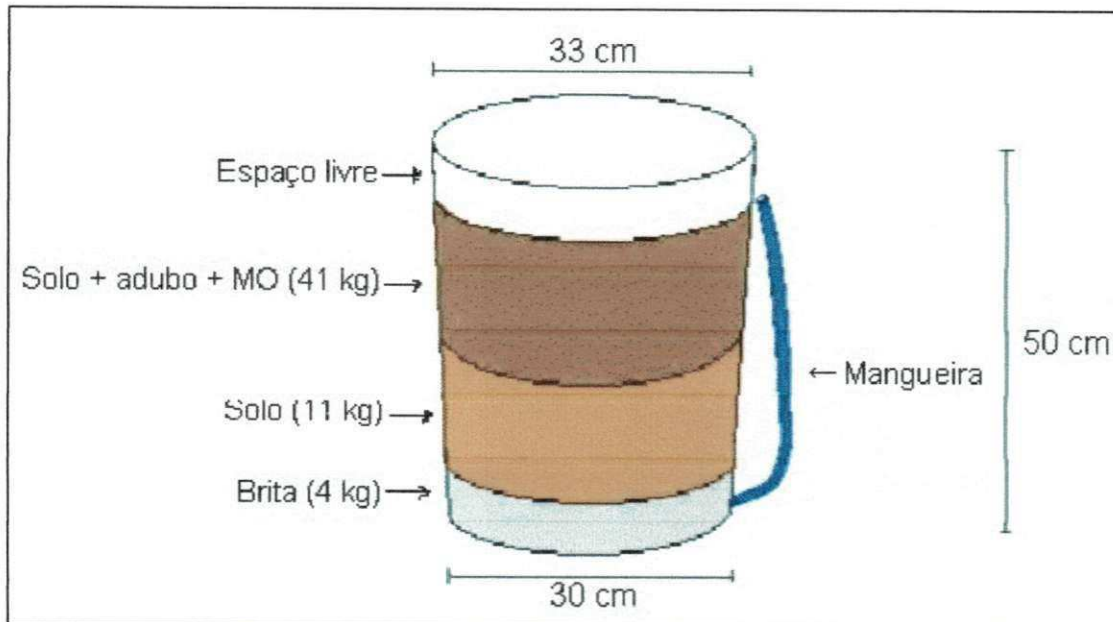


Figura 5 - Disposição das camadas de material usado no preenchimento dos vasos

3.6. Adubação

Realizou-se adubação construtiva de fertilidade do solo (fundação) para fósforo e potássio, baseada em metodologia contida em Viana (2000) que também trabalhou com alface cultivada em vasos (tubos de PVC de 21,21L de capacidade), constando de 22,79g de superfosfato simples e 0,72g de cloreto de potássio, misturados aos 41kg de material de solo da camada superior. Colocou-se, ainda, na mesma camada superior, matéria orgânica, na ordem de 2050g de húmus de minhoca.

Além da adubação de fundação, as plantas receberam, nos dois experimentos, adubação de cobertura à base de uréia e nitrato de potássio, conforme Viana (2000). O calendário de adubação contendo as quantidades de cada produto aplicadas nos Experimentos I e II, se encontra nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Calendário de adubação utilizado no Experimento I. Campina Grande, PB, 2007

03/08	04/08	05/08	06/08	07/08	08/08	09/08	10/08	11/08
U	N	U	N	N	U	*	*	N
12/08	13/08	14/08	15/08	16/08	17/08	18/08	19/08	20/08
N	U	N	N	U	N	N	U	N

U= 50mL de solução de uréia a 2,8g L⁻¹; N= 100mL de solução de nitrato de potássio a 1,6g L⁻¹;
* não foi realizada adubação devido à aplicação dos encharcamentos

Tabela 4 – Calendário de adubação utilizado no Experimento II. Campina Grande, PB, 2007

20/09	21/09	22/09	23/09	24/09	25/09	26/09	27/09	28/09
U	N	N	U	N	*	*	*	N
29/09	30/09	01/10	02/10	03/10	04/10	05/10	06/10	07/10
U	N	N	U	N	N	*	*	*
08/10	09/10	10/10	11/10					
U	N	N	U					

U= 50mL de solução de uréia a 2,8g L⁻¹; N= 100mL de solução de nitrato de potássio a 1,6g L⁻¹;
 * não foi realizada adubação devido à aplicação dos encharcamentos

3.7. Irrigação

As irrigações dos Experimentos I e II foram feitas com água do sistema local de abastecimento, duas vezes ao dia, no início da manhã e no final da tarde, com um volume médio, durante o período experimental, de 1,0L dia⁻¹ por vaso, garantindo-se uma drenagem de aproximadamente 10%. Para se obter esse volume, era realizada, diariamente, a coleta da água drenada através de um recipiente (garrafa), ao qual a mangueira ficava acoplada e o resultado era mensurado com utilização de uma proveta (1000mL); com base no volume drenado no dia anterior determinava-se o volume a ser aplicado em cada recipiente.

Durante a aplicação dos tratamentos, as plantas submetidas a encharcamento não eram irrigadas, voltando a sê-lo no momento em que o nível do lençol freático atingia a base do recipiente.

3.8. Experimento I

3.8.1. Tratamentos e delineamento estatístico

Estudou-se o efeito de duração de encharcamento do solo (DE₀= 0; DE₆= 6; DE₁₂= 12; DE₁₈= 18; DE₂₄= 24; DE₃₀= 30 e DE₃₆= 36 horas) nas duas cultivares de alface (Elba e Irene), formando um arranjo fatorial 7 x 2, no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições; a unidade experimental constou de uma planta na 1^a e 2^a amostragem e duas plantas na última amostragem.

Os tratamentos de encharcamento foram aplicados aos 17 dias após o transplante - DAT (09/08/2007), em virtude de ser esse o período mais crítico ao desenvolvimento da cultura sob inundação, identificado por Flecha (2004). O encharcamento foi realizado colocando-se água com becker graduado, de forma que entre 14:00 e 16:00h se aplicou um volume médio de aproximadamente 5,0L por vaso. Às 16:00h, todos os vasos estavam encharcados, ou seja, com o nível de água na altura da superfície do solo.

A hora considerada para o início do encharcamento foi às 16:00h e, a partir daí, a cada 6h era liberada a mangueira de drenagem do respectivo tratamento. A altura do lençol freático no interior do vaso era acompanhada através da mangueira, utilizada para controle do nível de água e para drenagem.

3.8.2. Semeadura e formação de mudas

Para obtenção de mudas, foi realizado semeio em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato industrializado, cujas características estão apresentadas na Tabela 1. Antes de ser colocado nas bandejas, o substrato foi lavado de forma a se reduzir a condutividade elétrica da água de drenagem a valores inferiores a $1,0\text{dS m}^{-1}$.

O semeio foi realizado em 2 de julho de 2007, às 16h, com duas sementes por célula, na profundidade de aproximadamente 0,5cm (Viana, 2000); as bandejas foram irrigadas duas vezes ao dia, até o transplante, com um volume de água que proporcionasse drenagem.

Três dias após o semeio iniciou-se a germinação, estendendo-se até o dia 15 de julho. O percentual de emergência variou entre as cultivares, da ordem de 89,5% para 'ELBA' e 84,5% para 'Irene'.

Realizou-se adubação foliar aos 18, 36, 46 e 56 dias após o semeio com o produto comercial "Albatrós"¹, na proporção de $1,8\text{g L}^{-1}$ (Viana, 2000), com uso de um pulverizador costal.

¹ Adubo foliar comercial "Albatrós" – Composição: N-7%; P_2O_5 -17%; K_2O -35%; MgO-3%; Ca-0,10%; B-0,02%; Cu-0,02%; Fe-0,15%; Mn-0,10%; Zn-0,02%; Mo-0,0005%. Quantidade suficiente para molhar totalmente as folhas até escorrer.

O desbaste foi realizado aos 18 dias após o semeio (20/07/2007), deixando-se uma plântula por célula, isto é, a que representava a média das plântulas da respectiva cultivar.

O controle das ervas daninha foi manual, tão logo surgiam.

Fez-se uma pulverização com o inseticida '(2-dimethylaminotrimethylene)-bis-(thiocarbamate)-hydrochloride' (nome comercial - CARTAP BR 500), ao final da tarde do dia 22/08/07, molhando-se a folhagem das plantas, visando ao controle de lagarta, na dose 1,2g L⁻¹.

O transplântio foi efetuado aos 21 dias após a sementeira (23/07/2007), data em que as plantas estavam com 4 a 5 folhas definitivas. Em cada vaso foram transplântadas quatro mudas, entre as de aspecto uniforme de cada cultivar.

3.8.3. Amostragem

Durante o Experimento I foram realizadas três avaliações (aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio – DAT) onde se determinou variáveis de crescimento e fisiológicas da alface. Aos 22 e 28 DAT foram coletadas uma planta por parcela e aos 38 DAT coletou-se duas plantas.

3.8.4. Variáveis de crescimento

As variáveis de crescimento analisadas foram número de folhas, diâmetro e altura de caule, fitomassas e área foliar.

3.8.4.1. Número de folhas (NF)

Na contagem de NF consideraram-se apenas as que estivessem expandidas, com comprimento mínimo de 5cm, cor verde típica da cultivar, desprezando-se as folhas secas rente ao solo (Viana, 2000) e aquelas cujo limbo foliar estava danificado em mais de 50%, por injúrias diversas.

3.8.4.2. Diâmetro (DC) e altura do caule (AC)

O diâmetro caulinar foi medido na região do colo da planta, após retirada de todas as folhas, utilizando-se de paquímetro analógico, com as leituras em mm.

A altura caulinar foi definida após a retirada das folhas, mensurando-se a distância entre o colo da planta e a inserção da bainha da primeira folha (mais nova), com leituras em mm.

3.8.4.3. Fitomassa

Avaliou-se a fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), através de pesagem em balança digital, instalada próxima ao experimento, tão logo a planta era colhida. Utilizou-se de balança com sensibilidade de 0,0001g, para a primeira análise e de 0,01g para as coletas finais, em razão do tamanho da planta dificultar o uso da balança com quatro casas decimais. Avaliaram-se, ainda, a fitomassa seca de folha (FSF), caule (FSC), parte aérea (FSPA), raiz (FSR) e total (FST) após secagem em estufa de ventilação forçada de ar, a 65 °C, até peso constante.

A fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) determinada aos 38 DAT corresponde à produção da alface, expressa em gramas.

3.8.4.4. Área foliar (AF)

Estimou-se a área foliar a partir de amostras de discos retirados de várias partes da folha, com ajuda de um vazador de área conhecida (0,20cm²); os discos e as demais partes das folhas foram colocados, separadamente, em sacos de papel e postos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante, conforme modelo a seguir, proposto por Fernandes (2002):

$$AF = \frac{FSF \cdot AD \cdot ND}{FSD} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: FSF – fitomassa seca das folhas (discos + restante do material) (g)

AD – área do disco (cm²)

ND – número de discos

FSD – fitomassa seca dos discos (g)

3.8.5. Coleta final

Foi realizada às 7:00 h do dia 30/08/2007, isto é, 38 dias após o transplântio das mudas, quando 2/3 das plantas estavam no “ponto de colheita”, segundo as características de cada cultivar. A haste de cada planta foi cortada rente ao solo, com auxílio de um estilete, e imediatamente se colocava a planta em saco plástico, fechando-se a abertura, conduzindo-a, em seguida, para pesagem da parte aérea, através de balança com precisão de 0,01g; após a pesagem realizaram-se as demais avaliações.

Na avaliação final, com utilização de jato d’água de uma mangueira, o sistema radicular foi cuidadosamente separado do solo e, posteriormente, lavado para retirada de todo o substrato. Esta operação foi feita sobre peneira, com malha fina, visando evitar a perda de massa radicular. Enfim, as plantas foram acondicionadas, individualmente, em sacos de papel, devidamente identificados, e postos para secar em estufa a 65 °C, até massa constante. O sistema radicular nas duas avaliações iniciais foi retirado minuciosamente do solo, evitando afetar as raízes das plantas que continuavam no vaso, e foi submetida ao processo de limpeza e secagem descrito para a última avaliação.

3.8.6. Variáveis fisiológicas

A relação raiz/parte aérea e razão de área foliar foram determinadas aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT); as taxas de crescimento relativo e absoluto foram avaliadas nos períodos compreendidos entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 DAT.

As plantas usadas para a avaliação aos 17 DAT (dia de aplicação dos tratamentos) eram provenientes de vasos reservas existentes na área experimental, recebendo os mesmos cuidados das demais plantas.

3.8.6.1. Relação raiz/parte aérea (R/PA)

Obteve-se R/PA pelo quociente entre a fitomassa seca das raízes (FSR) e a fitomassa seca da parte aérea da planta (FSPA), segundo a equação extraída de Magalhães (1985):

$$R/PA = \frac{FSR}{FSPA} \quad (\text{Eq. 2})$$

3.8.6.2. Razão de área foliar (RAF)

Através dos dados de área foliar (AF) e fitomassa seca total (FST), determinou-se a RAF, conforme equação contida em Ferri (1985):

$$RAF = \frac{AF}{FST} \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)} \quad (\text{Eq. 3})$$

3.8.6.3. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

Foi determinada com base na fitomassa seca da parte aérea, avaliada em duas datas. De acordo com Benincasa (2003), a TCA é a variação ou o incremento entre duas amostragens, em dois períodos de tempo, ao longo do ciclo da cultura, conforme o modelo a seguir:

$$TCA = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \text{ (g dia}^{-1}\text{)} \quad (\text{Eq. 4})$$

sendo:

P_1 – fitomassa seca no tempo T_1

P_2 – fitomassa seca no tempo T_2

3.8.6.4. Taxa de crescimento relativo (TCR)

É a medida mais apropriada para se avaliar o crescimento vegetal, em razão de ser dependente do material que está sendo acumulado. Segundo Benincasa (2003), a TCR de uma planta ou órgão da planta, depende do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas, no caso de matéria seca, está relacionado ao peso da matéria seca no instante em que se inicia o período de observação; foi determinada utilizando-se da seguinte equação:

$$TCR = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{T_2 - T_1} \text{ (g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}\text{)} \quad (\text{Eq. 5})$$

3.8.7. Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste ‘F’. Nos casos de significância, foram realizadas análise de regressão polinomial e/ou segmentada (modelo platô) (linear e quadrática) para o fator “duração do encharcamento”, e o teste de comparação de médias (Tukey ao nível de $p < 0,05$) para o fator cultivar (Ferreira, 2000). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL (Lavras, MG).

Na Tabela 5 tem-se o modelo de análise de variância (ANAVA) utilizado no Experimento I.

Tabela 5 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento I, para as avaliações realizadas aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT)

Função de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	
Cultivar (C)	1	
Duração do encharcamento (DE)	6	
Reg. Pol. Linear	1	
Reg. Pol. Quadr.	1	
Desvio	4	
C x DE	6	
Resíduo	26	
CV (%)		
Médias		
Cultivar		
Elba		
Irene		
Duração do encharcamento		
0		
6		
12		
18		
24		
30		
36		

3.9. Experimento II

3.9.1. Tratamentos e delineamento estatístico

No Experimento II foram realizadas 3 avaliações; as duas primeiras ocorreram aos 5 e 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr) de anoxia e a avaliação final foi aos 20 DATr; portanto foi diferente do realizado no Experimento I cujas avaliações aconteceram em datas (dias) após transplântio. Esta mudança foi feita para que as plantas tivessem no ato da análise o mesmo número de dias de recuperação pós-estresse.

Aos 5 e 10 DATr estudaram-se o efeito de cinco duração do encharcamento do solo ($DE_0=0$; $DE_{12}=12$; $DE_{24}=24$; $DE_{36}=36$ e $DE_{48}=48$ horas) combinados a duas cultivares de alface (Elba e Irene), formando um arranjo fatorial 5×2 ; na avaliação aos 20 DATr analisaram-se quatro durações do encharcamento do solo ($DE_{12}=12$; $DE_{24}=24$; $DE_{36}=36$ e $DE_{48}=48$ horas), duas cultivares (Elba e Irene) e duas variações de encharcamento (um – NE_1 e dois encharcamentos – NE_2), formando um esquema fatorial $(4 \times 2 \times 2) + 2$ testemunhas. O Experimento II constou de delineamento estatístico de blocos casualizados com três repetições, onde cada unidade experimental se compunha de quatro plantas distribuídas no vaso de forma equidistante.

Os tratamentos ‘número de encharcamento’ (NE_1 e NE_2) foram realizados aos 12 e 22 dias após o transplântio; estes ocorreram a partir do dia 25/09/2007, de maneira que entre 05:00 e 08:00h se aplicou um volume médio de aproximadamente 5,0L por vaso; às 08:00h todos os vasos estavam encharcados, isto é, com um nível de água na altura da superfície do solo. A partir desse horário, a cada 12h era liberada a mangueira de drenagem do respectivo vaso. A forma de aplicação da água e o acompanhamento à altura do lençol freático foram semelhante ao Experimento I.

3.9.2. Instalação e condução do experimento

Instalou-se o trabalho na mesma área em que se conduziu o Experimento I; a semeadura foi feita em tubetes plásticos, com capacidade de 288mL, dispostos em bandejas, contendo 54 unidades (células). No enchimento dos tubetes se usaram 3/4 de

substrato comercial e 1/4 do material de solo, cujas características se encontram nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Realizou-se a semeadura no dia 23/08/2007, às 16h, com três sementes por tubete, a uma profundidade de 0,5cm (Viana, 2000); foram semeadas 03 bandejas por cultivar; as irrigações, nesta fase, foram semelhantes às do Experimento I.

Diferente do primeiro experimento, a germinação se iniciou 2 dias após o semeio, prolongando-se até o dia 30/08/2007, atingindo 91,6% na cv. Elba e 90,7% na Irene.

O desbaste das plântulas foi realizado aos oito dias após o semeio – DAS (31/08/2007), deixando-se uma plântula por tubete, justamente a que representava a média de cada cultivar.

O transplântio foi efetuado no dia 13/09/2007 (21 DAS) data em que as plantas estavam com 5 folhas definitivas, em média; em cada vaso se transplantaram quatro plântulas, as de tamanho uniforme, com distribuição equidistante das mudas na superfície do vaso.

A adubação foliar e os tratos culturais foram realizados da mesma forma que no Experimento I.

3.9.3. Variáveis de crescimento

As variáveis de crescimento número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), altura de caule (AC), fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), fitomassa seca de folha (FSPA), fitomassa seca de caule (FSC), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e área foliar (AF) foram avaliadas aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr); já as variáveis fitomassa seca de raiz (FSR) e total (FST) foram avaliadas apenas aos 20 DATr. Nas primeira e segunda avaliações, os dados foram oriundos de uma planta por parcela e, na última análise, de duas plantas por parcela.

A metodologia para determinação dessas variáveis foi a mesma do Experimento I.

3.9.4. Coleta final

Iniciou-se no dia 15/10/2007, ou seja, 32 dias após o transplântio (DAT) das mudas. A metodologia empregada para a realização da colheita assim como para a coleta das raízes, foi a mesma do primeiro Experimento; no entanto, neste experimento só se realizou a avaliação de raízes na coleta de plantas, ao final do experimento, onde coletou-se duas plantas e a partir das médias fez-se as análises estatísticas. Não foi observado na avaliação final, restos de raízes provenientes das plantas coletadas para as duas avaliações iniciais.

3.9.5. Variáveis fisiológicas

A relação raiz/parte aérea (R/PA) e razão de área foliar (RAF) foram estudadas aos 20 dias após a aplicação do encharcamento (DATr). As taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) foram avaliadas entre os períodos de 0 (data de aplicação do tratamento) a 5, 5 a 10 e 10 a 20 DATr; a metodologia para determinação dessas variáveis foi a mesma usada para o Experimento I.

As plantas usadas para a avaliação na data de aplicação dos tratamentos eram provenientes de vasos reservas existentes na área experimental, onde estas plantas receberam os mesmo cuidados das demais.

Determinou-se, ainda, a taxa de assimilação líquida - TAL (matéria seca por unidade de área foliar, e por unidade de tempo) aos 20 DATr, pela seguinte equação:

$$TAL = \frac{TCR}{RAF} \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1} \quad (\text{Eg. 6})$$

em que: TCR – taxa de crescimento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)

RAF – razão de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)

3.10. Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados através da análise de variância (ANAVA) pelo teste “F”, tanto para o fatorial quanto para o fatorial versus testemunha; nos casos de significância para a ANAVA do fatorial, realizou-se análise de regressão polinomial (linear e quadrática) e/ou segmentada (modelo platô) para o fator “duração do

encharcamento”, e o teste de comparação de médias (Tukey) para o fator cultivar e tipo de encharcamento; havendo significância para a ANAVA entre fatorial e a testemunha, realizou-se contraste ortogonal (Ferreira, 2000).

Em função de se ter no segundo experimento dois arranjos fatoriais distintos, a ANAVA para as avaliações realizadas aos 5, 10 DATr seguiram o seguinte modelo apresentado na Tabela 6 e aos 20 DATr na Tabela 7. Pode-se observar que os graus de liberdade variaram de acordo com as avaliações.

Tabela 6 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento II, para as avaliações realizadas aos 5, 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr)

Função de Variação	GL	Quadrado médio	
		5 DATr	10 DATr
Bloco	2		
Cultivar (C)	1		
Duração do encharcamento (DE)	4		
Reg. Pol. Linear	1		
Reg. Pol. Quadr.	1		
Desvio	2		
C x DE	4		
Tratamento	(14)		
Resíduo	18		
CV (%)			
		Valores médios	
Cultivar			
Elba			
Irene			

Tabela 7 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento II, para a avaliação realizada aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr)

Função de Variação	GL	Quadrado médio 20 DATr
Bloco	2	
Cultivar (C)	1	
Duração do encharcamento (DE)	3	
Reg. Pol. Linear	1	
Reg. Pol. Quadr.	1	
Reg. Pol. Cúbica	1	
C x DE	3	
Número e encharcamento (NE)	1	
C x NE	1	
DE x NE	3	
DE x NE x C	3	
Trat x Test. Elba	1	
Trat x Test. Irene	1	
Tratamento	(17)	
Resíduo	28	
CV (%)		
		Valores médios
Cultivar		
Elba		
Irene		
Número de encharcamento		
Um (NE ₁)		
Dois (NE ₂)		

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I

4.1.1. Número de folhas (NF)

Constatou-se efeito significativo ($p < 0,01$) da duração do encharcamento (DE) sobre o número de folhas, apenas na última época de avaliação, coincidindo com o período de colheita; isto é, só no final do ciclo foram identificados os efeitos da anoxia sobre o número de folhas da alface. Como não foi significativa a interação (C x DE), esse efeito foi comum às duas cultivares (Tabela 8). Nota-se que nas duas primeiras avaliações foi muito pequena a variação de NF entre tratamentos, mas, no período entre 28 e 38 dias após o transplante das mudas (DAT), surgiram os efeitos do estresse da falta de oxigênio, reduzindo a emissão foliar (Figura 6C); vale ressaltar que neste experimento o menor número de folhas, aos 38 DAT, não resultou de abscisão ou de secamento foliar, como se refere Baruch (1994), como um dos sintomas que surgem em plantas sob condições de deficiência de oxigênio do solo, iniciando-se com epinastia foliar. Analisando-se os dados obtidos nas três avaliações, constata-se que aos 22 e 28 DAT as reduções em NF, entre o tratamento testemunha (DE₀) e o de maior estresse (DE₃₆), foram 8,33% e 8,74%, respectivamente, aumentando para 13,71% por ocasião da colheita (38 DAT).

De acordo com as análises de regressão, o modelo a que melhor se ajustaram os dados, aos 38 DAT, foi o de regressão segmentada, também denominado ‘modelo platô’ (Figura 6A). Pelo modelo de regressão segmentada a deficiência de O₂ começou a afetar NF, a partir de 7,87 horas de duração do encharcamento, com decréscimo de 0,097 folhas por cada hora de encharcamento (incremento unitário em DE). Segundo Reid & Bradford (1984), em plantas em condições de estresse anoxítico ocorre diminuição da síntese e da translocação de fitorreguladores de crescimento, como

giberelinas e citocininas, do sistema radicular para a parte aérea, alterando os mecanismos naturais de emissão e de manutenção de folhas.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para número de folhas (NF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	NF 22	NF 28	NF 38
Bloco	0,500000 ^{ns}	2,000000 ^{ns}	1,500000 ^{ns}
Cultivar (C)	1,523810 ^{ns}	2,380952 ^{ns}	52,595238 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,650794 ^{ns}	1,301587 ^{ns}	9,436508 ^{**}
Reg. Pol. Linear	-	-	35,2917 ^{**}
Reg. Pol. Quadr.	-	-	13,6687 ^{**}
Desvio	-	-	1,9147 ^{ns}
C x DE	1,079365 ^{ns}	0,269841 ^{ns}	0,484127 ^{ns}
Resíduo	0,525641	0,897436	0,830128
CV (%)	11,53	9,61	4,60
	Médias (mm)		
Cultivar			
Elba	6,09	10,10	19,05a
Irene	6,47	9,62	16,81b
Duração do encharcamento			
0	6,50	10,33	18,00
6	6,50	10,50	19,67
12	6,17	9,17	19,00
18	6,83	10,00	18,00
24	6,00	9,83	18,00
30	6,00	9,67	17,00
36	6,00	9,50	15,83

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Verifica-se, através do teste de comparação de médias (Tabela 8 e Figura 6B) que a cultivar Elba formou um número de folhas significativamente maior que a ‘Irene’ aos 38 DAT, o que pode ser uma característica própria da cultivar. Não foram significativas as diferenças entre cultivares até 28 DAT, diferenciando-se apenas nos últimos 10 dias do ciclo, independente do fator encharcamento.

Não se encontraram na literatura, resultados de pesquisa abordando, diretamente, os efeitos de anoxia sobre número de folhas, mesmo de outras espécies. Severino et al. (2004), trabalhando com a mamoneira submetida a encharcamento de solo, por períodos variando entre 0 e 10 dias, constataram, em função do aumento do

tempo de exposição ao encharcamento, que as folhas das plantas murcharam, secaram por inteiro e, finalmente, caíram.

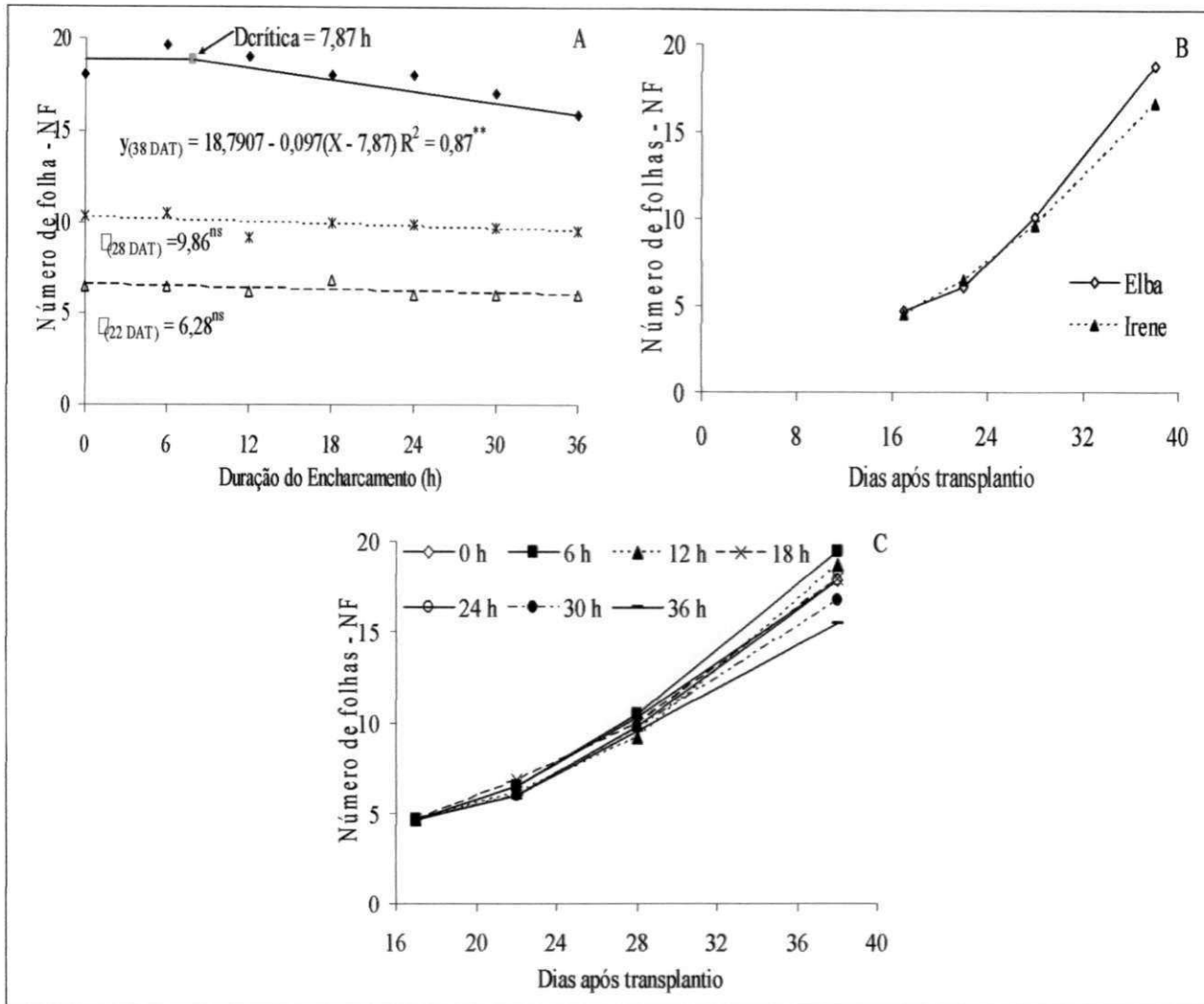


Figura 6 – Número de folhas (NF) de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal do NF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.2. Diâmetro do caule (DC)

De acordo com a análise de variância dos dados (Tabela 9), o diâmetro do caule foi afetado significativamente ($p < 0,01$) pelo encharcamento, nas três avaliações. Conforme os estudos de regressão para DC, o efeito aos 22 DAT foi quadrático, havendo decréscimo entre DE_0 e DE_{36} de 9,73%; já aos 28 e 38 DAT os dados se ajustaram melhor ao modelo linear, havendo redução do DC por aumento unitário da duração do encharcamento de 0,64% e 0,39%, respectivamente (Figura 7A). Flecha (2004), estudando o efeito de três períodos de encharcamento (12, 22 e 32 dias após o transplântio - DAT) e velocidades de rebaixamento do lençol freático (30cm em 24, 48,

72 e 96 horas) também verificou redução do 'DC' das plantas submetidas à encharcamento, sendo a época inicial (12 DAT) combinado à velocidade de rebaixamento (30cm em 96 horas) a mais crítica.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para diâmetro do caule (DC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	DC 22	DC 28	DC 38
Bloco	0,926667 ^{ns}	1,030714 ^{ns}	0,728988 ^{ns}
Cultivar (C)	2,986667 ^{ns}	0,571667 ^{ns}	10,400238 ^{**}
Duração de encharcamento (DE)	3,018810 ^{**}	4,927222 ^{**}	4,134980 ^{**}
Reg. Pol. Linear	2,625000 ^{ns}	26,164821 ^{**}	23,587515 ^{**}
Reg. Pol. Quadr.	14,00000 ^{**}	0,244464 ^{ns}	0,162505 ^{ns}
Desvio	0,371964 ^{ns}	0,788512 ^{ns}	0,264965 ^{ns}
C x DE	0,440556 ^{ns}	0,685000 ^{ns}	0,332599 ^{ns}
Resíduo	3,088082	1,256099	0,758091
CV (%)	11,91	12,38	5,92
	Médias (mm)		
Cultivar			
Elba	7,82	8,93	15,21a
Irene	8,36	9,17	14,21b
Duração do encharcamento			
0	7,43	10,25	15,81
6	8,72	9,80	15,29
12	8,57	9,15	15,18
18	8,85	9,18	14,94
24	8,30	9,25	14,48
30	7,80	7,95	13,66
36	6,97	7,77	13,63

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

As médias contendo a variação espacial do DC para cada cultivar e duração de encharcamento estão na Tabela 9 e Figura 7B e 7C, respectivamente. Entre as cultivares, não se notou diferença significativa no diâmetro do caule, nas duas avaliações iniciais; no entanto, através do teste de média na última data (38 DAT), a Elba apresentou aumento significativo no diâmetro caulinar em relação à Irene. Não houve interação significativa entre os fatores (DE e cultivares), o que é um indicativo de que o estresse anoxítico sobre o DC independe da cultivar.

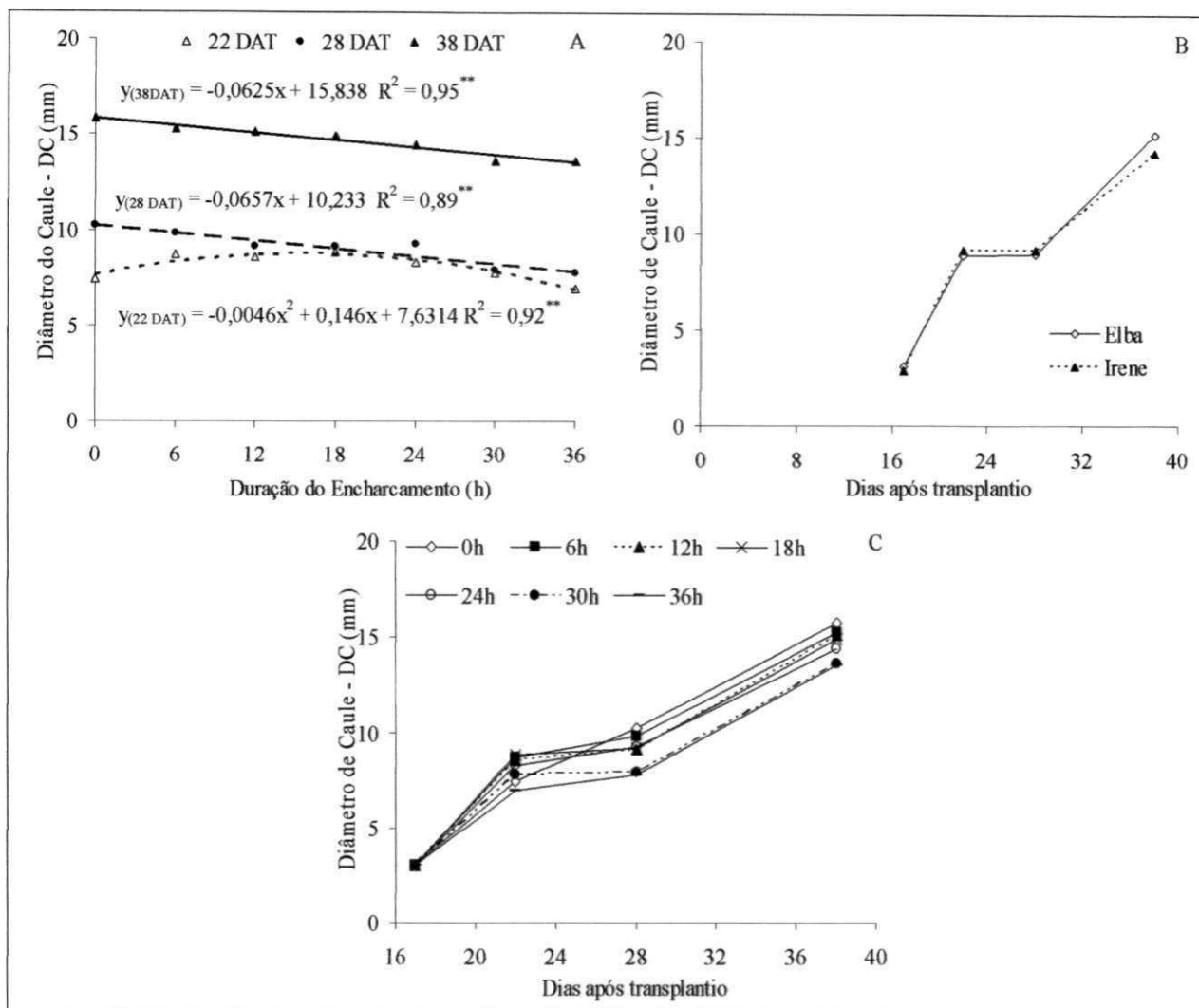


Figura 7 – Diâmetro do caule (DC) da alfaca em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal do DC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.3. Altura do caule (AC)

Apresenta-se, na Tabela 10 o resumo da análise de variância referente a altura do caule, constatando-se efeito significativo ($p < 0,01$) da duração do encharcamento (DE) somente na avaliação final (38 DAT). Verifica-se a partir da equação de regressão (Figura 8A) que embora tenha se detectado efeito significativo para o modelo linear, não se deve considerar este resultado devido ao baixo valor do coeficiente de determinação. Portanto, a altura do caule não foi afetada significativamente pelo encharcamento, em todas as avaliações. Este resultado foi diferente do encontrado por Flecha (2004) que constatou haver decréscimos significativos na altura de plantas de alfaca quando expostas ao encharcamento do solo; sendo os decréscimos em relação à testemunha, superiores aos 12 dias após o

transplântio. Trabalhando com algodão herbáceo sob encharcamento do solo (0, 3, 5, 8 e 11 dias de exposição ao estresse), Queiroz et al. (2005) verificaram que o crescimento das plantas foi bastante afetado pela aplicação do estresse, o que também discorda do encontrado nesta pesquisa.

Observa-se, pelo teste de comparação de médias (Tabela 10), que houve diferença significativa da altura caulinar entre as cultivares apenas aos 38 DAT, onde a Elba foi maior que a Irene; no entanto, as médias das demais datas estudadas também expressam ser a Elba superior em relação a AC. Na Figura 8B tem-se uma visualização melhor do comportamento das cultivares com o tempo. Verifica-se que a diferença entre as duas cultivares em relação AC aos 38 DAT foi bem mais expressiva que em relação as variáveis NF e DC, isso pode ter ocorrido devido a 'Elba' ter como característica própria o porte alto enquanto a 'Irene' tende a formar cabeça.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para altura do caule (AC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	AC 22	AC 28	AC 38
Bloco	0,025417 ^{ns}	10,978988*	34,253036**
Cultivar (C)	0,004821 ^{ns}	9,957202 ^{ns}	978,268810**
Duração do encharcamento (DE)	0,016448 ^{ns}	6,013472 ^{ns}	10,680060**
Reg. Pol. Linear	-	-	31,590015**
Reg. Pol. Quadr.	-	-	2,000124 ^{ns}
Desvio	-	-	7,622555*
C x DE	0,010099 ^{ns}	2,453313 ^{ns}	5,111726 ^{ns}
Resíduo	0,018750	2,888988	2,594125
CV (%)	22,25	17,69	7,19
	Médias (mm)		
Cultivar			
Elba	6,260	10,095	27,233a
Irene	6,050	9,121	17,581b
Duração do encharcamento			
0	0,700	11,650	23,258
6	0,650	10,092	23,992
12	0,558	8,750	23,375
18	0,600	9,350	22,692
24	0,633	9,233	20,133
30	0,550	9,350	21,342
36	0,617	8,833	22,058

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

A ausência de interação significativa, também para AC, denota que o efeito de 'DE' sobre 'C' ocorre de modo semelhante (Tabela 10).

Reid & Bradford (1984), citam que o menor crescimento das plantas submetidas a alagamento está relacionado a alterações no metabolismo e transporte de hormônios, pois nas plantas os hormônios promotores de crescimento se apresentam diminuídos, enquanto os hormônios inibidores de crescimento têm seus níveis aumentados. Para as cultivares Elba e Irene nas condições em que foi desenvolvido esse trabalho, o efeito da DE sobre as mesmas quanto a AC não foi constatado.

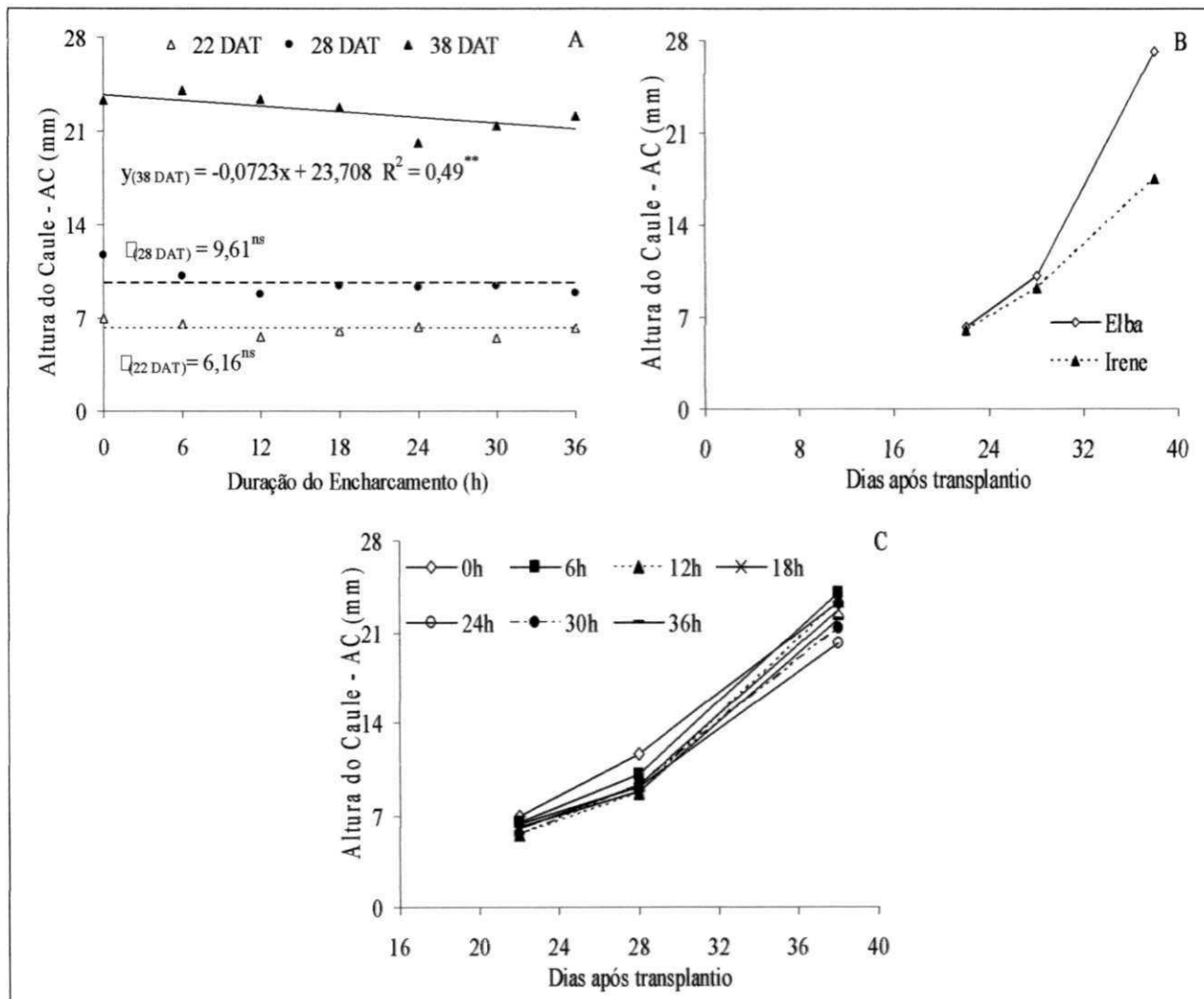


Figura 8 – Altura do caule (AC) da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da AC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.4. Fitomassa fresca (FFPA) e seca (FSPA) da parte aérea

O fator duração do encharcamento 'DE' afetou a fitomassa fresca e seca da parte aérea, a nível de 1% de probabilidade (Tabelas 11 e 12, respectivamente) com reduções lineares nas três épocas de avaliação (22, 28 e 38 DAT), exceto para FSPA aos 38 DAT, cujos resultados não foram significativos. Conforme análise de regressão, o encharcamento do solo afetou a FFPA, provocando decréscimos de 1,31%, 1,15% e 0,64% aos 22, 28 e 38 DAT, respectivamente, por aumento unitário (hora) da duração do encharcamento (Figura 9A); observa-se que no momento da colheita (38 DAT) houve um decréscimo de 23,09% na massa fresca das plantas que foram submetidas a 36 horas de encharcamento, o que do ponto de vista econômico é um valor bastante elevado devido esta hortaliça ser comercializada com base no peso fresco. A FSPA das plantas teve decréscimos por aumento unitário do tempo de encharcamento de 1,53% e 1,09% aos 22 e 28 DAT, respectivamente (Figura 10A), no entanto, verifica-se que no momento da colheita as plantas tinham se recuperado de forma a não haver diferença significativa em função da DE.

Baseado nos decréscimos citados para FFPA e FSPA, verifica-se que a tolerância da alface cv. Elba e Irene, frente ao aumento do período de sua exposição ao encharcamento, foi crescente com o tempo. Flecha (2004) observou quando da avaliação da cultivar Verônica sob deficiência de O₂ do solo, que o encharcamento realizado período inicial (12 DAT), proporcionaram os maiores decréscimos da fitomassa; este verificou ainda em encharcamentos realizados aos 22 e 32 DAT, que as plantas denotaram maior tolerância ao estresse, no entanto, os resultados de fitomassa das plantas sob encharcamento foram inferiores ao da testemunha.

O efeito da anoxia sobre as culturas é variável durante seu ciclo vegetativo (Bresler et al, 1982); neste experimento, nota-se que isto ocorreu uma vez que, com o passar do tempo, as cultivares continuaram seu crescimento e reduziram a diferença em relação a quantidade de massa fresca em comparação com a testemunha. Apesar das plantas denotarem certa tolerância pós anoxia observa-se, pelos resultados aos 38 DAT, redução de 61,13g da massa fresca em plantas submetidas a DE₃₆ em relação a DE₀.

Conforme médias observadas na Tabela 11 para FFPA aos 38 DAT, verifica-se que as plantas com o aumento do tempo de exposição ao encharcamento foram reduzindo a produção; analisando os dados da FFPA deste experimento e comparando com classificação da alface sugerida pela CEAGESP (2001), verifica-se que as plantas

submetidas a duração de encharcamento de até 12 horas estão inseridas na Classe 25 (250 a 300g) enquanto que as submetidas aos demais tratamentos insere-se na Classe 20 (200 a 250g); quanto maior a Classe, melhor o preço adquirido.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FFPA 22	FFPA 28	FFPA 38
Bloco	17,176250*	212,195952**	1523,147005 ^{ns}
Cultivar (C)	0,482143 ^{ns}	292,300952**	363304,03645**
Duração do encharcamento (DE)	34,403730**	286,250060**	3053,228623**
Reg. Pol. Linear	188,807202**	1612,930372**	17439,421115**
Reg. Pol. Quadr.	0,194464 ^{ns}	6,988934 ^{ns}	35,689492 ^{ns}
Desvio	4,355179 ^{ns}	24,395263 ^{ns}	211,065282 ^{ns}
C x DE	1,456587 ^{ns}	34,088869 ^{ns}	705,449668 ^{ns}
Resíduo	4,475160	26,827106	527,493082
CV (%)	20,58	14,46	9,81
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	10,171	33,171b	141,222b
Irene	10,386	38,448a	327,234a
Duração do encharcamento			
0	13,550	44,550	262,838
6	13,100	42,700	252,187
12	10,200	37,550	253,230
18	9,812	36,333	232,571
24	9,883	35,733	218,468
30	8,717	27,292	218,533
36	6,683	26,508	201,768

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Viana (2000) conduzindo experimento com alface (cv. Elba) submetida a estresse salino, constatou decréscimo linear na FFPA quando da exposição das plantas a níveis de salinidade variando de 0,3 a 3,8dS.m⁻¹, obtendo uma redução de 9,25% na FFPA aos 30 DAT, para as plantas irrigadas com água de 1,7dS.m⁻¹, condutividade esta considerada alta para a sobrevivência da maioria das plantas. Os dados apresentados por Viana indicam que, sob estresse salino, as plantas também tiveram tolerância crescente com o passar do tempo. Comparando esses resultados com o presente trabalho, verifica-se que as plantas submetidas a estresse anoxítico (exposição por 18 e 36 horas), apresentaram reduções significativas da FFPA de 11,54% e 23,09%, respectivamente

indicando, com isto, que as plantas foram bem mais sensíveis ao estresse por deficiência de O₂ do solo que ao salino.

Diferente dos resultados apresentados para as outras variáveis, a cv. Irene produziu significativamente mais FFPA que a Elba, nas duas últimas épocas de avaliação (Tabela 11 e Figura 9B); na primeira data não houve efeito significativo; no entanto, as médias de Irene foram superiores, o que mostra que esta cultivar possui um maior teor de umidade nas folhas. Este fato é bastante importante já que a alface é comercializada com base no peso fresco. Conforme IAC (2005) as cultivares do grupo americana, onde entre elas temos a Irene, possuem folhas grossas e nervuras protuberantes, o que favorece uma maior fitomassa, o que pode a priori justificar a superioridade da mesma em relação a Elba. Analisando-se as cultivares em relação às variáveis estudadas no momento da colheita, constata-se ocorrer a maior diferença entre as mesmas para a variável FFPA.

Pode-se verificar na Tabela 11 e Figura 9C o grande incremento da fitomassa fresca das cultivares nos dez últimos dias que antecederam a colheita, ocorrendo em Irene um aumento médio diário de 28,88g e em Elba 10,81g, estas informações são bastante importantes quando dos cuidados com relação ao manejo da cultura neste período.

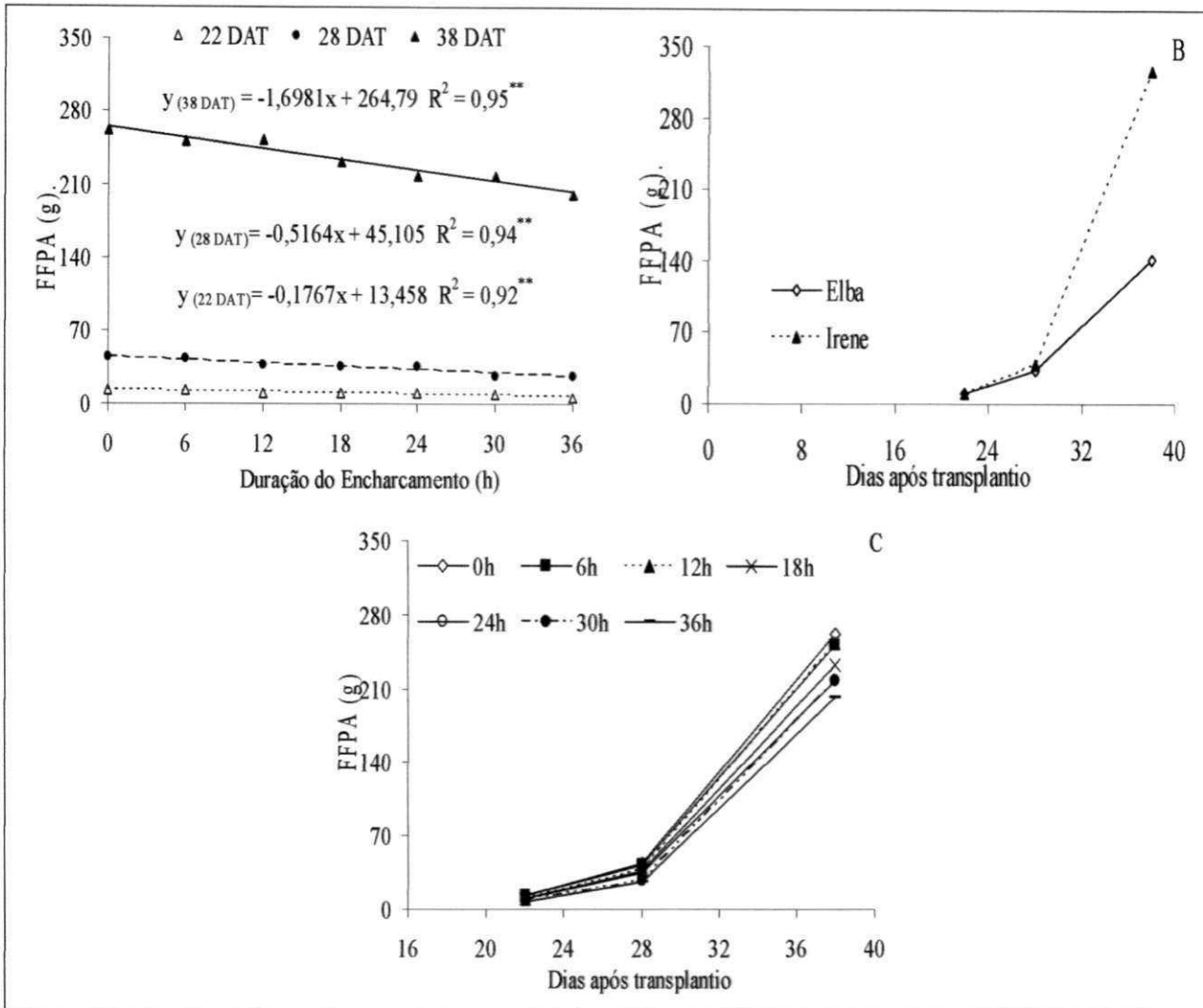


Figura 9 – Fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FFPA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

Em relação à FSPA, os dados médios apresentados (Tabela 12 e Figura 10B) dão conta que a cv. Elba foi significativamente superior à Irene, aos 38 DAT; nas demais datas não houve diferença estatística. Analisando-se os dados referente a FFPA e FSPA, denota-se que no ato da colheita a parte aérea da Elba apresenta menor teor de umidade e maior massa seca nas folhas, que a Irene.

O efeito do fator 'DE' sobre as cultivares Elba e Irene, ocorreu de modo independente, tanto para FFPA como para FSPA, fato verificado através do resultado da interação, que apontou ausência de significância (Tabelas 11 e 12, respectivamente).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca da parte aérea (FSPA) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSPA 22	FSPA 28	FSPA 38
Bloco	0,057156*	0,568371**	3,095545 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000978 ^{ns}	0,163382 ^{ns}	20,749959**
Duração do encharcamento (DE)	0,126612**	0,726583**	2,124548 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,694196**	4,258138**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,013998 ^{ns}	0,000427 ^{ns}	-
Desvio	0,012869 ^{ns}	0,025234 ^{ns}	-
C x DE	0,002975 ^{ns}	0,093687 ^{ns}	0,446408 ^{ns}
Resíduo	0,012691	0,064703	0,935411
CV (%)	22,15	13,05	14,20
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,504	1,887	7,513a
Irene	0,513	2,011	6,107b
Duração do encharcamento			
0	0,653	2,416	7,341
6	0,696	2,341	7,495
12	0,568	2,033	7,038
18	0,479	1,906	6,944
24	0,483	1,843	6,748
30	0,409	1,655	6,328
36	0,273	1,450	5,778

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

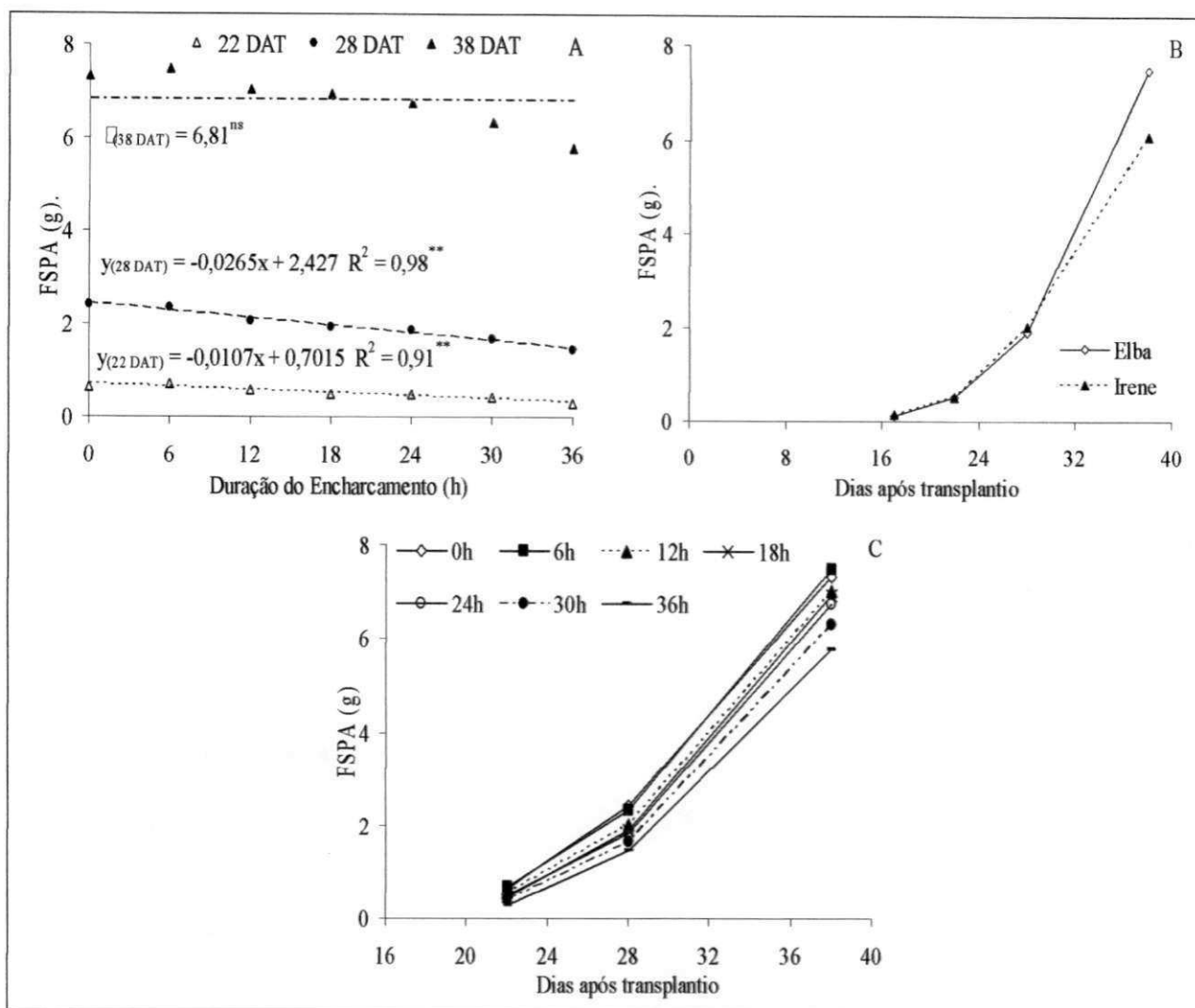


Figura 10 – Fitomassa seca da parte aérea (FSPA) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSPA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.5. Área foliar (AF)

A área foliar por planta foi afetada linearmente ($p < 0,01$) quando as plantas foram submetidas a encharcamento nas duas últimas avaliações (Tabela 13); na primeira avaliação o efeito foi quadrático ($p < 0,05$) onde conforme modelo de regressão segmentada (Figura 11A) o estresse anoxítico começou a afetar a AF, a partir das 7,59 horas de encharcamento, promovendo decréscimo $3,099 \text{ cm}^2$ da área foliar por aumento unitário (hora) da 'DE'. Conforme modelos matemáticos observados na Figura 10A, os decréscimos da área foliar das plantas submetidas ao estresse durante 36 horas (DE_{36}) em relação as testemunhas foram de 27,96% (28 DAT) e 16,67% (38 DAT), ou seja, $9,15$ e $17,12 \text{ cm}^2$, respectivamente, por cada hora de encharcamento (Figuras 11A e 11C).

Kozlowski (1984) cita que a inibição da expansão foliar é uma resposta comum das plantas à deficiência de oxigênio, ocasionada pelo excesso de umidade no solo. Para esse autor, o efeito se reflete na redução do tamanho e do número de folhas e aumento da abscisão foliar.

Sá (2005) também encontrou redução significativa (20%) da área foliar de trigo submetido ao encharcamento do solo em relação ao tratamento controle; conforme o autor, se observaram, ainda em experimentos realizados com soja e lentilha, reduções da área foliar de 15% e 30%, respectivamente, quando da exposição das plantas ao encharcamento. Trabalhando com algodão herbáceo por até oito dias de saturação hídrica do solo, Beltrão et al. (1997) verificaram sensível redução da área foliar das plantas.

Em se tratando deste trabalho, ou seja, exposição de plantas ao estresse hídrico (excesso de água no solo) nota-se, que as cultivares sob estresse conseguiram se recuperar, em parte, no período pós-estresse, denotando certa tolerância.

Nas épocas em que se avaliou esta variável (22, 28 e 38 DAT), a AF da cultivar Elba foi significativamente ($p < 0,05$ aos 22 DAT e $p < 0,01$ em 28 e 38 DAT) maior que a da Irene, com acréscimos de 20,10%, 22,46% e 52,75%, respectivamente; a diferença foi aumentando ao longo do tempo, o que denota ter a 'Elba' característica de crescimento da AF maior que a de 'Irene' (Tabela 13 e Figura 11B).

A interação entre os fatores duração do encharcamento e cultivares, assim como nas variáveis já estudadas, não foi significativa, mostrando que o efeito de 'DE' independe das cultivares utilizadas na pesquisa (Tabela 13).

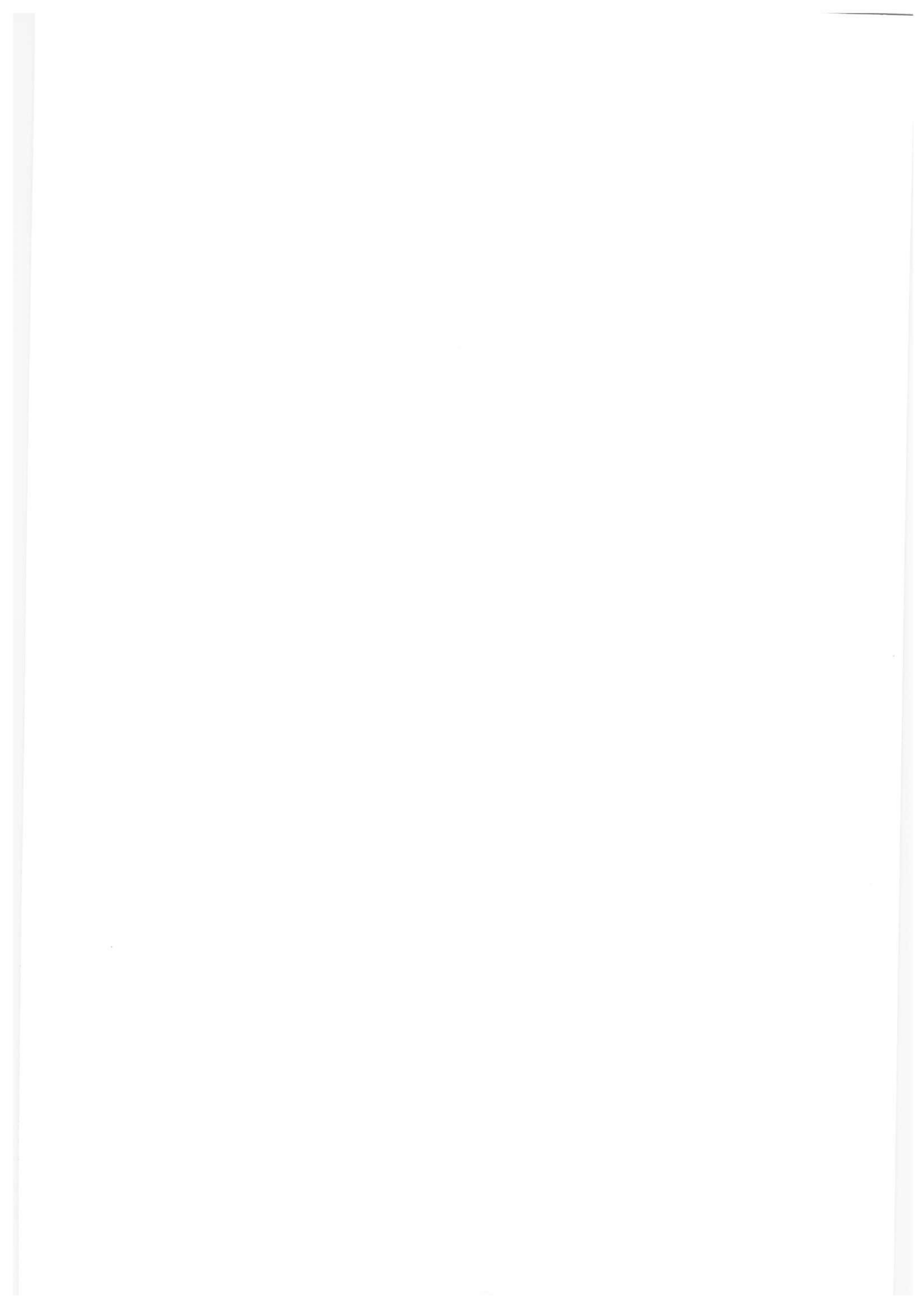


Tabela 13 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para área foliar (AF) por planta aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	AF 22	AF 28	AF 38
Bloco	22234,478**	190774,027**	27340,254 ^{ns}
Cultivar (C)	20507,810*	439146,290**	21003884,615**
Duração do encharcamento (DE)	10056,793**	106842,032**	511029,665*
Reg. Pol. Linear	40766,037**	506014,247**	1772329,168**
Reg. Pol. Quadr.	16347,965*	25240,045 ^{ns}	558863,431 ^{ns}
Desvio	806,6897 ^{ns}	27449,475 ^{ns}	183746,348 ^{ns}
C x DE	2491,707 ^{ns}	9235,410 ^{ns}	131992,957 ^{ns}
Resíduo	2692,032	20402,710	151281,107
CV (%)	21,44	14,10	11,48
	Médias (cm ²)		
Cultivar			
Elba	264,053a	1115,198a	4095,703a
Irene	219,859b	910,690b	2681,359b
Duração do encharcamento			
0	255,645	1158,773	3374,924
6	287,354	1148,748	3769,549
12	262,419	1009,446	3755,711
18	266,181	1012,189	3433,017
24	238,405	1035,213	3237,121
30	221,575	967,355	3141,639
36	162,114	758,885	3007,757

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

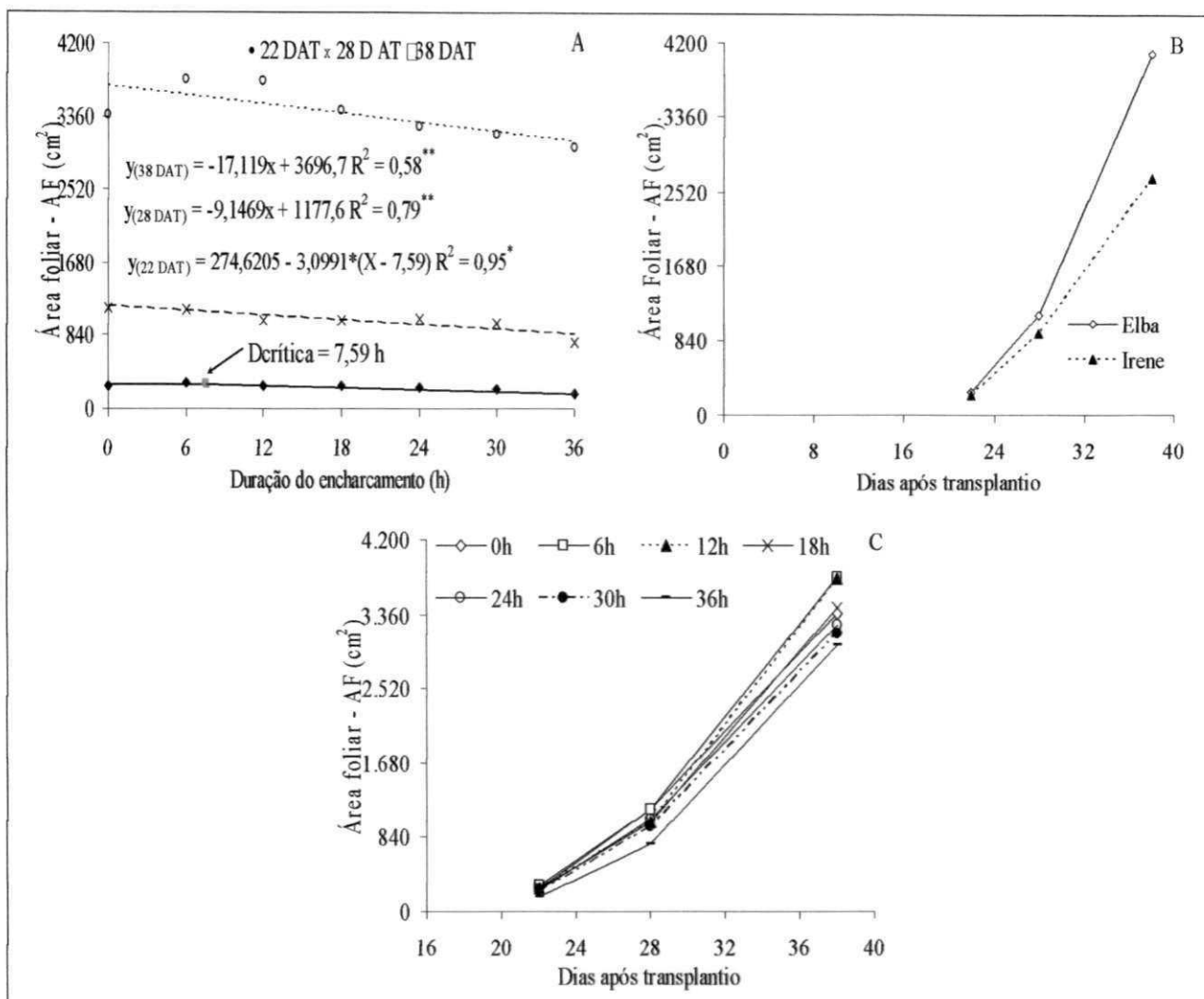


Figura 11 – Área foliar por planta (AF) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da AF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.6. Fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC)

A fitomassa seca das folhas e do caule foi afetada significativamente ($p < 0,01$), pela duração do encharcamento, verificando-se, para FSF, que os dados se ajustaram melhor ao modelo quadrático na primeira avaliação e linear na segunda (Figura 12A); já em relação à FSC, o modelo de regressão a que melhor se ajustaram os dados aos 22 DAT, foi o quadrático (Figura 13A). Verifica-se que na avaliação final não ocorreu efeito significativo do fator duração do encharcamento sobre as variáveis FSF e FSC, corroborando com o obtido para FSPA, ou seja, denota que as plantas tendem a se recuperar pós-estresse (Tabela 14 e 15). Segundo Macleod et al. (1997), a habilidade das plantas em sobreviver e de se recuperar após o encharcamento do solo, depende da

duração da inundação e do estágio de desenvolvimento da cultura e, em geral decresce durante a fase reprodutiva.

A baixa disponibilidade de oxigênio no solo afetou severamente a FSF nas duas épocas iniciais (22 e 28 DAT), provocando decréscimos na massa seca das folhas por aumento unitário (hora) da duração do encharcamento de 1,58% e 1,01%, respectivamente.

Em relação à FSC aos 22 DAT, apesar do efeito significativo da equação de regressão quadrática, o baixo valor obtido do coeficiente de determinação induz a não se considerar este resultado, denotando que em nenhuma das avaliações realizadas verificou efeito significativo do DE sobre a FSC.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de folhas (FSF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplante (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSF 22	FSF 28	FSF 38
Bloco	0,059194*	0,532451**	2,800431*
Cultivar (C)	0,000013 ^{ns}	0,129509 ^{ns}	14,756630**
Duração do encharcamento (DE)	0,125263**	0,696132**	1,792976 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,690069**	4,087184**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,009435 ^{ns}	0,000115 ^{ns}	-
Desvio	0,013019 ^{ns}	0,022373 ^{ns}	-
C x DE	0,002753 ^{ns}	0,100250 ^{ns}	0,367416 ^{ns}
Resíduo	0,012663	0,057884	0,791606
CV (%)	23,19	12,82	13,93
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,485	1,822	6,980a
Irene	0,486	1,933	5,745b
Duração do encharcamento			
0	0,636	2,328	6,865
6	0,670	2,266	7,003
12	0,541	1,964	6,601
18	0,450	1,842	6,533
24	0,463	1,766	6,341
30	0,384	1,584	5,938
36	0,254	1,392	5,431

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Com base nas médias da avaliação final (38 DAT) para FSF e FSC presente na Tabela 14 e 15, respectivamente, constata-se que a cv. Elba foi significativamente ($p < 0,01$) maior que a Irene; analisando as medias FSF e FSC das cultivares verifica-se que a Irene inicialmente após o encharcamento possui maior habilidade em produzir massa seca que a Elba, no entanto, no momento da colheita a capacidade da Elba de produzir massa seca supera a Irene (Figura 12B e 13B).

Nas Figura 12C e 13C pode-se melhor visualizar o comportamento da fitomassa seca de folha e de caule, respectivamente, em relação aos níveis de encharcamento.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de caule (FSC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplantio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSC 22	FSC 28	FSC 38
Bloco	0,000044 ^{ns}	0,001390 ^{ns}	0,014253 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000767 ^{**}	0,001965 ^{ns}	0,509477 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,000129 ^{**}	0,000557 ^{ns}	0,015193 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,000006 ^{ns}	-	-
Reg. Pol. Quadr.	0,000449 ^{**}	-	-
Desvio	0,000080 ^{ns}	-	-
C x DE	0,000084 ^{ns}	0,000374 ^{ns}	0,004782 ^{ns}
Resíduo	0,000029	0,000499	0,010430
CV (%)	23,16	31,21	24,17
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,019b	0,065	0,532a
Irene	0,028a	0,078	0,312b
Duração do encharcamento			
0	0,017	0,088	0,476
6	0,026	0,075	0,492
12	0,026	0,069	0,437
18	0,030	0,064	0,411
24	0,020	0,077	0,406
30	0,025	0,071	0,390
36	0,019	0,058	0,346

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

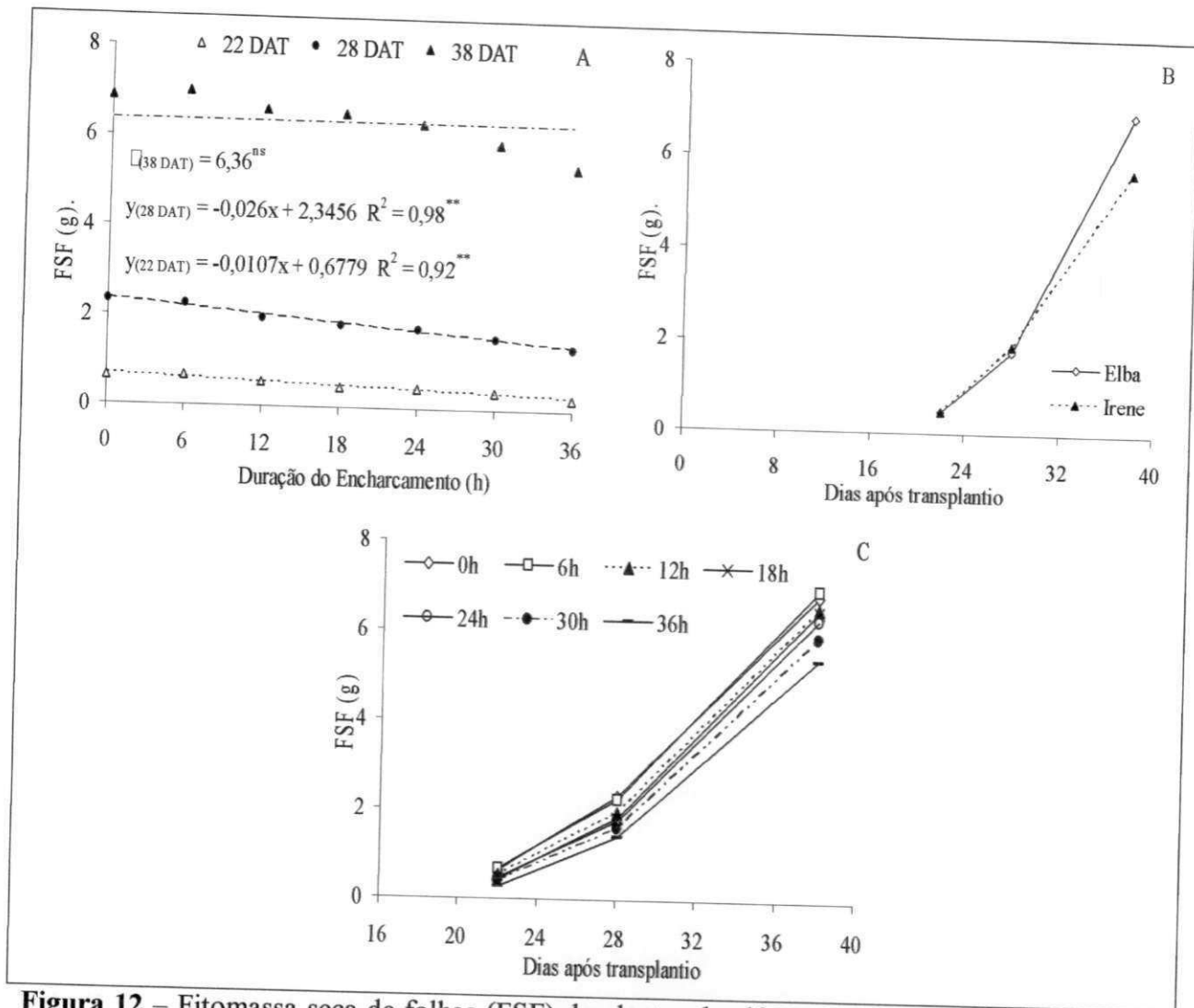


Figura 12 – Fitomassa seca de folhas (FSF) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

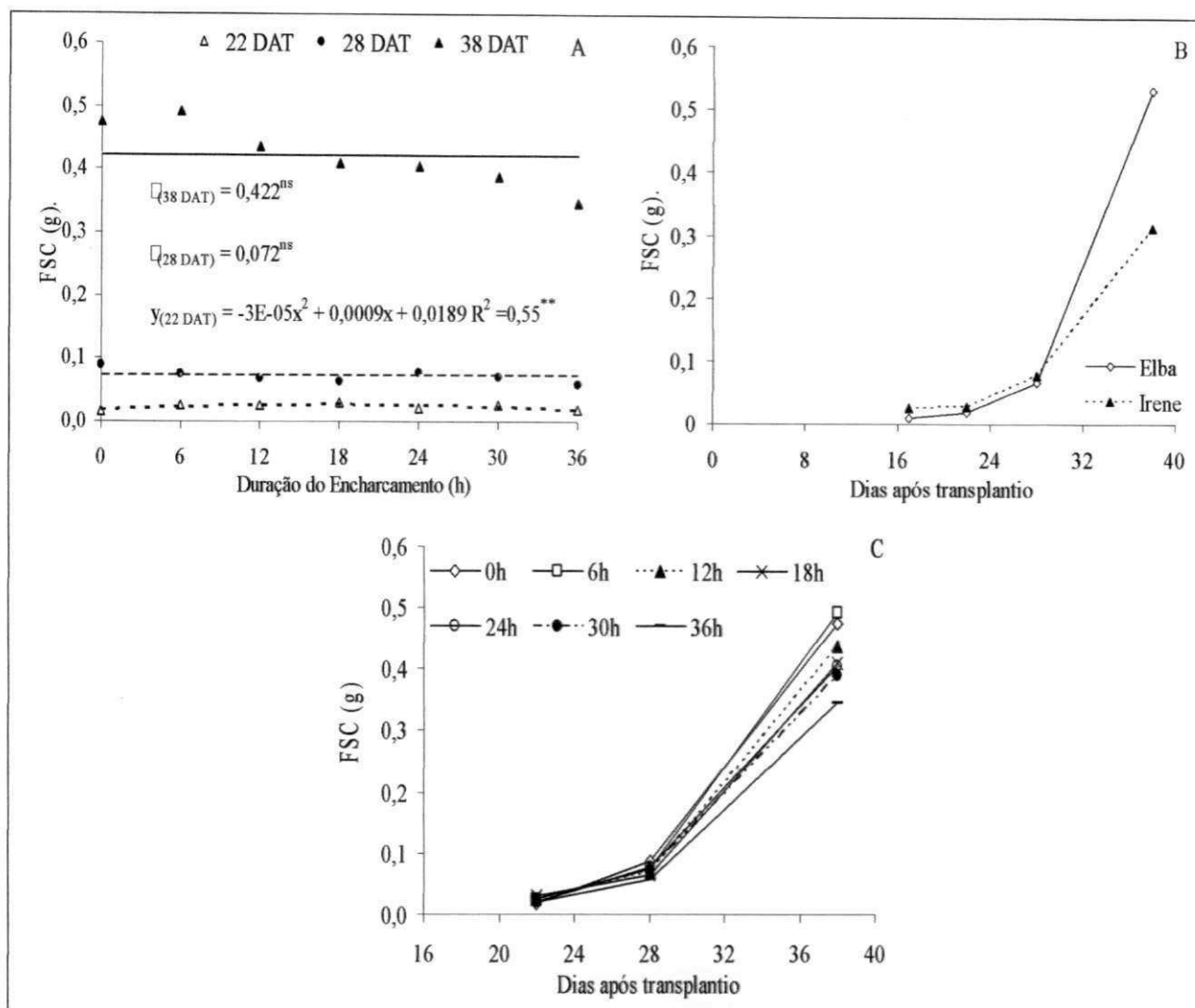


Figura 13 – Fitomassa seca de caule (FSC) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.7. Fitomassa Seca de Raiz (FSR) e Total (FST)

Apresentam-se, nas Tabelas 16 e 17, os resumos da análise de variância para as variáveis FSR e FST, respectivamente, nas quais é possível se observar que assim como ocorrido para FSPA não houve efeito significativo do fator duração do encharcamento sobre as fitomassas seca de raiz e total na avaliação realizada por ocasião da colheita (38 DAT). Analisando os dados obtidos no estudo final referente as fitomassas seca das cultivares de alface, verifica-se que esta hortaliça após passar por estresse anoxítico, reduz momentaneamente a produção de massa vegetal da parte aérea e do sistema radicular, no entanto, após o período de deficiência de oxigênio as plantas retomam seu crescimento de forma a não se verificar diferença estatística significativa entre as mesmas no momento da colheita. Estes resultados fortalecem a discussão sobre

o aumento da tolerância destas cultivares com o passar do tempo de ocorrência do estresse anoxítico. Não foi verificado efeito interativo dos fatores duração de encharcamento e cultivares, denotando que os efeitos ocasionados por 'DE' independem das cultivares.

Constata-se, através do teste de comparação de médias, que a cultivar Elba teve a fitomassa seca de raiz e total significativamente ($p < 0,01$) maior que a Irene, na última avaliação; nas demais épocas de estudo não se notaram efeito significativo. Conforme resultados, a Elba foi superior em 87,3% e 33,75% para FSR e FST, respectivamente, em relação à Irene (Figuras 14B - FSR e 15B - FST).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de raiz (FSR) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSR 22	FSR 28	FSR 38
Bloco	0,000535**	0,001708 ^{ns}	0,440112 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000281 ^{ns}	0,000563 ^{ns}	11,989745**
Duração do encharcamento (DE)	0,000157 ^{ns}	0,001859*	0,431154 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	-	0,009007**	-
Reg. Pol. Quadr.	-	0,000005 ^{ns}	-
Desvio	-	0,000536 ^{ns}	-
C x DE	0,000036 ^{ns}	0,000528 ^{ns}	0,073775 ^{ns}
Resíduo	0,000083	0,000598	0,462170
CV (%)	26,54	22,83	38,67
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,037	0,111	2,293a
Irene	0,032	0,103	1,224b
Duração do encharcamento			
0	0,031	0,125	1,793
6	0,039	0,136	2,224
12	0,043	0,104	1,949
18	0,034	0,103	1,776
24	0,035	0,102	1,642
30	0,032	0,096	1,459
36	0,028	0,083	1,479

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

De acordo com as equações de regressão referente à FSR, verifica-se efeito significativo ($p < 0,05$) do 'DE' em relação às cultivares apenas na avaliação aos 28 DAT na qual o modelo que melhor ajustou os dados foi o linear (Figura 14A) havendo

decrécimo por aumento unitário do tempo de exposição das plantas ao encharcamento de 0,93%.

Pires et al. (2002), estudando as adaptações morfológicas da soja em solo inundado, verificaram que os principais efeitos da inundação foram nas raízes, com alterações anatômicas e morfológicas, formas de adaptarem ao ambiente, como: morte da raiz principal, crescimento de raízes laterais, surgimento de raízes adventícias, etc. Neste trabalho com alface não se constataram, visualmente, modificações adaptativas do sistema radicular ao estresse; aos 38 DAT (Tabela 16), as cultivares submetidas a estresse não diferiram estatisticamente em relação ao peso das raízes das plantas testemunhas, o que mostra certa recuperação delas com o passar do tempo.

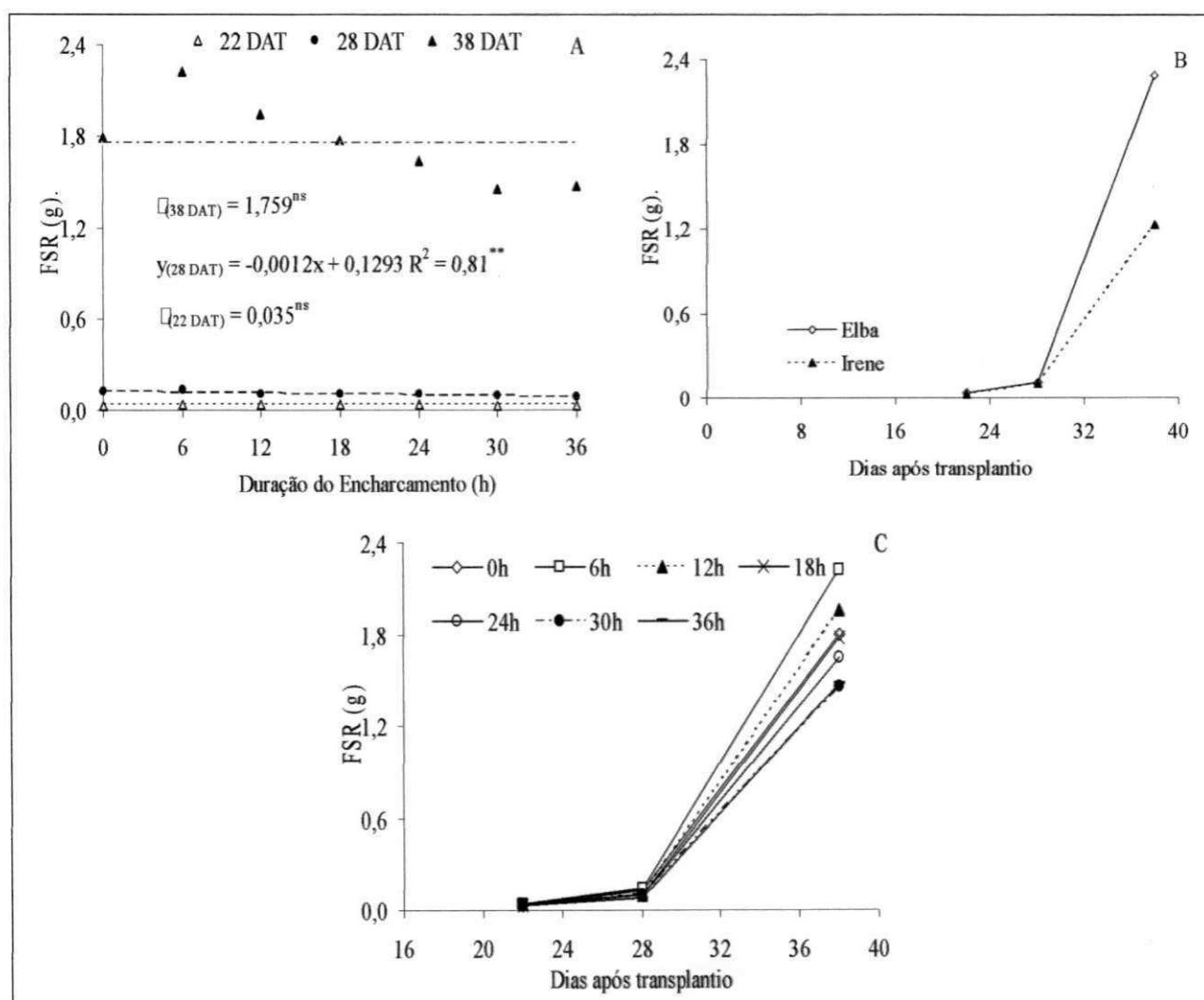


Figura 14 – Fitomassa seca de raiz (FSR) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSR para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

Tabela 17 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca total (FST) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FST 22	FST 28	FST 38
Bloco	0,067812*	0,103541**	4,365094 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000210 ^{ns}	0,144760 ^{ns}	64,285654**
Duração do encharcamento (DE)	0,132023**	0,798199**	4,196192 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,718441**	4,658820**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,019014 ^{ns}	0,000528 ^{ns}	-
Desvio	0,013670 ^{ns}	0,032462 ^{ns}	-
C x DE	0,003234 ^{ns}	0,103541 ^{ns}	0,800532 ^{ns}
Resíduo	0,012939	0,068488	1,889959
CV (%)	20,95	12,73	16,04
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,541	1,998	9,805a
Irene	0,542	2,115	7,331b
Duração do encharcamento			
0	0,684	2,540	9,134
6	0,735	2,476	9,719
12	0,611	2,137	8,973
18	0,513	2,009	8,720
24	0,518	1,945	8,389
30	0,440	1,751	7,787
36	0,301	1,534	7,256

(*) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Conforme as equações de regressão de FST, foram significativos os efeitos ($p < 0,01$) da duração do encharcamento sobre as cultivares para as avaliações realizadas aos 22 e 28 dias após o transplântio; com base nessas equações (Figura 15A) conclui-se que o modelo a que melhor os dados se ajustaram para as duas épocas, foi o linear, onde verifica-se mediante equações de regressão haver redução da FST de 53,07% e 39,02% aos 22 e 28 DAT, respectivamente, entre as plantas testemunha (DE₀) e as submetidas a duração de encharcamento de 36h (DE₃₆). Avaliando o resultado da análise aos 38 DAT e observando esses decréscimos citados, denota-se que a alfaca tende a apresentar tolerância ao estresse anoxítico com o incremento de tempo, após ocorrência do encharcamento. Diferentemente, Sá (2005) observou, durante estudo do encharcamento do solo sobre a cultura da lentilha, que com o aumento do tempo após exposição ao estresse a matéria seca total das plantas ia sendo reduzida. Esta diferença de comportamento das culturas em relação ao estresse anoxítico, pode estar relacionada

à espécie, à cultivar, ao estágio de desenvolvimento da cultura, ao tipo de solo, à temperatura ambiente, ao tempo de exposição e à inundação, entre outros (Pang et al., 2004).

Nas Figuras 14C e 15C têm-se o comportamento das variáveis (FSR e FST respectivamente) ao longo do tempo, em função das diferentes durações do encharcamento.

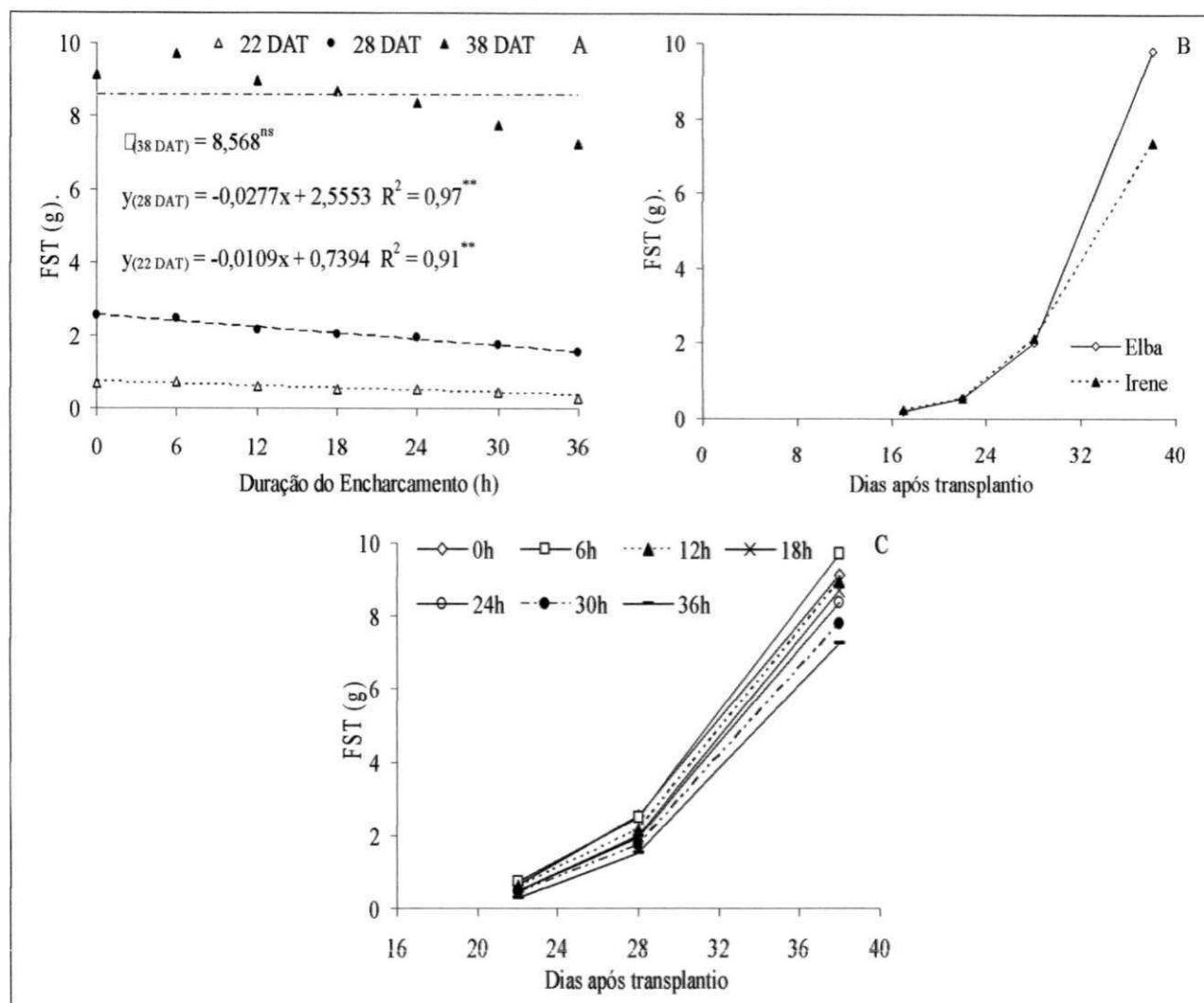


Figura 15 – Fitomassa seca total (FST) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A) e variação temporal da FST para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.8. Relação raiz/parte aérea (R/PA)

Constatou-se com base no resumo da análise de variância, disposto na Tabela 18, não haver efeito significativo da duração do encharcamento sobre a R/PA na

ocasião da colheita (38 DAT); fato este ocorrido devido as avaliações relativas a FSR e FSPA também não terem apresentado efeito significativo do encharcamento.

Com base no resultado da interação para R/PA, pode-se dizer que o efeito da duração do encharcamento sobre as cultivares, nas três épocas de avaliação (22, 28 e 38 DAT) ocorre de foram semelhante.

Nota-se através do teste de comparação de médias (Tukey), que a relação raiz / parte aérea da cultivar Elba foi significativamente ($p < 0,01$) maior que a da Irene, aos 38 DAT (Tabela 18 e Figura 16B). O comportamento espacial da R/PA em função das diferentes durações de encharcamento está exposto na Figura 16C.

Tabela 18 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para relação raiz / parte aérea (R/PA) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	R/PA 22	R/PA 28	R/PA 38
Bloco	0,000571 ^{ns}	0,000259 ^{ns}	0,008547 ^{ns}
Cultivar (C)	0,001074 ^{ns}	0,000606 ^{ns}	0,098471 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,001831 ^{**}	0,000072 ^{ns}	0,002757 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,008575 ^{**}	-	-
Reg. Pol. Quadr.	0,000033 ^{ns}	-	-
Desvio	0,000595 ^{ns}	-	-
C x DE	0,000143 ^{ns}	0,000137 ^{ns}	0,000721 ^{ns}
Resíduo	0,000467	0,000162	0,008026
CV (%)	29,84	22,77	35,39
	Médias (g g ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	0,078	0,060	0,302a
Irene	0,067	0,052	0,205b
Duração do encharcamento			
0	0,048	0,051	0,241
6	0,058	0,059	0,291
12	0,076	0,051	0,263
18	0,073	0,055	0,255
24	0,071	0,056	0,240
30	0,077	0,059	0,224
36	0,104	0,059	0,258

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Conforme os estudos de regressão aos 22 DAT, o efeito foi linear e crescente como pode ser visto na Figura 16A; ocorreram acréscimos em R/PA de 54,09% para as

plantas encharcadas durante 36 horas, em relação às plantas que não sofreram estresse; o fato pode ser explicado nesta avaliação, devido a FSR das plantas não ter apresentado diferença significativa, já a FSPA apresentou decréscimo sempre que as durações de encharcamento foram aumentados; denota-se, para esta época, que a parte aérea foi mais afetada pelo estresse anoxítico que o sistema radicular, o que pode ser um indicativo de adaptação morfofisiológica da cultura à condição de deficiência de oxigênio no solo. Algumas culturas sob condições de estresse podem desenvolver mecanismos adaptativos, sendo o sistema radicular menos afetado pelo estresse que a parte aérea, o que foi constatado por Soares em 2001, avaliando o comportamento do maracujazeiro amarelo sob condições de estresse salino.

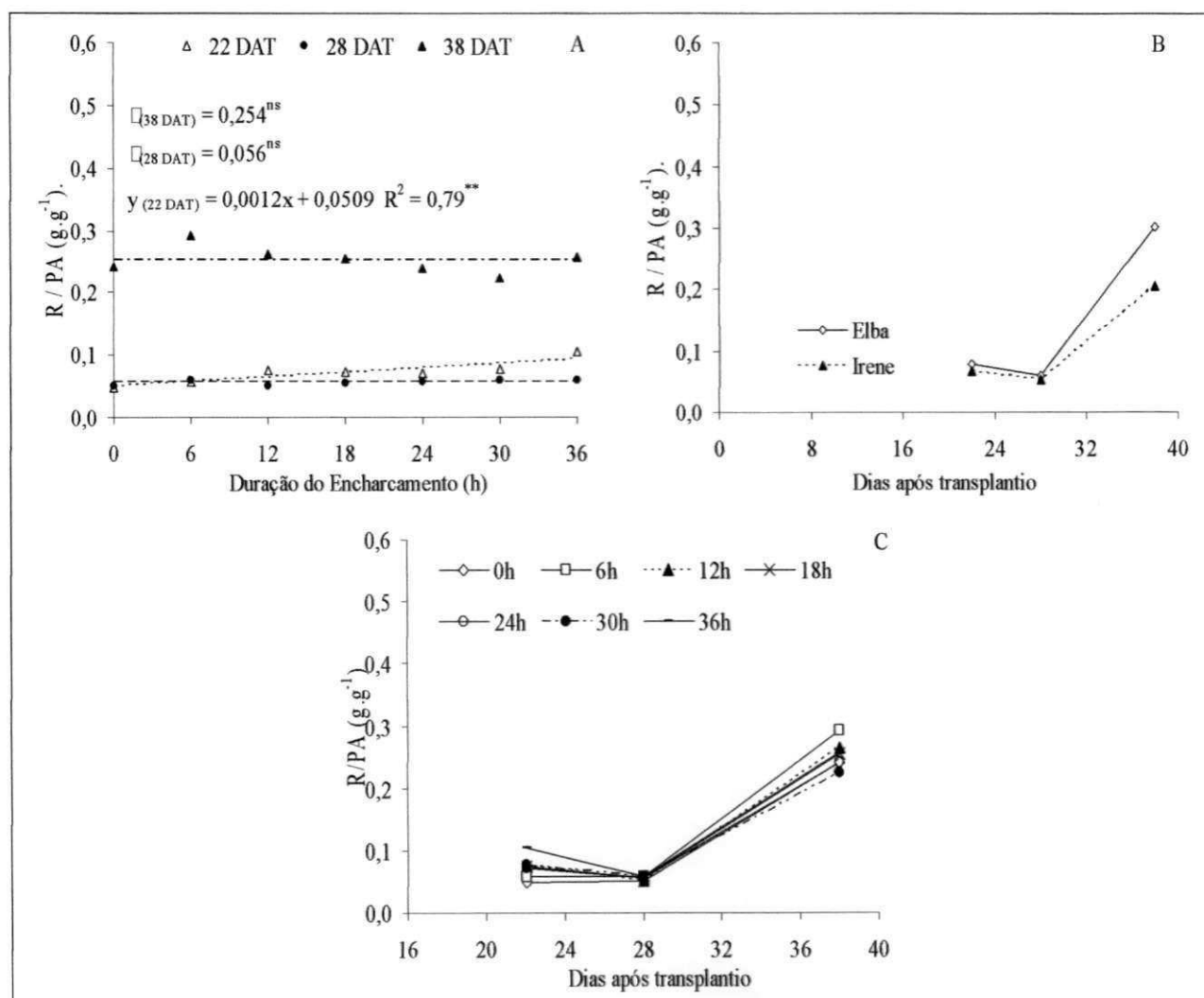


Figura 16 – Relação raiz / parte aérea (R/PA) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da R/PA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.9. Razão de área foliar (RAF)

Conforme o resumo da análise de variância apresentado na Tabela 19, a variável RAF não sofreu efeito estatisticamente significativo do fator duração do encharcamento na avaliação realizada aos 38 DAT, ou seja, denota-se que e a produção de massa da planta, mais especificamente a área foliar útil para realização da fotossíntese tinha recuperado seu crescimento pós-deficiência de oxigênio do solo. Analisando este resultado, favorece entender o crescimento acentuado da área foliar e da fitomassa seca total da alface nos últimos dez dias que antecederam a colheita, indicando certa tolerância da cultura após o estresse sofrido.

Nas avaliações de regressão realizadas aos 22 e 28 DAT, verifica-se ter sido linear o efeito da duração do encharcamento sobre a RAF e, de acordo com os modelos matemáticos obtidos (Figura 17A) a razão de área foliar cresceu com o aumento de tempo de exposição das plantas ao estresse anoxítico, havendo incremento relativo 0,77% e 0,45% da RAF aos 22 e 28 DAT, respectivamente, por aumento unitário da duração do encharcamento. Este aumento da RAF pode ser explicado pelo fato da parte aérea ter sido mais afetada pelo estresse anoxítico que a fitomassa seca total. Na medida em que ocorre o crescimento da folha, menor é a proporção do material fotossintetizado retido no limbo foliar, ou seja, maior é a exportação de fotoassimilados para outras partes da planta; portanto, como a razão de área foliar é um indicativo da dimensão relativa do aparelho assimilador (relaciona a área foliar com a matéria seca resultante da fotossíntese), altos valores de RAF indicam que os produtos fotoassimilados estão sendo mais utilizados para a formação do aparelho fotossintético (Viana, 2000).

Constata-se, pelo teste de comparação de médias, que a razão de área foliar da cultivar Elba foi significativamente maior que a Irene nas três avaliações, sendo o efeito significativo a $p < 0,01$ aos 22 e 28 DAT e $p < 0,05$ aos 38 DAT (Tabela 19 e Figura 17B). Isso mostra que a Elba sob condição de anoxia investe mais na formação das folhas, como forma de continuar suprindo suas necessidades através da realização da fotossíntese.

Os efeitos dos fatores 'duração do encharcamento' e 'cultivares', sobre a RAF da alface, ocorreram isoladamente (Tabela 19), sem haver efeito interativo. Na Figura 17C se verifica o comportamento temporal em função de 'DE', da razão de área foliar.

Tabela 19 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para razão de área foliar (RAF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	RAF 22	RAF 28	RAF 38
Bloco	33578,928*	2282,831 ^{ns}	6502,523 ^{ns}
Cultivar (C)	69053,596**	214229,472**	29016,730*
Duração do encharcamento (DE)	23165,975*	10907,375*	2329,420 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	103293,965*	36965,327**	-
Reg. Pol. Quadr.	3498,621 ^{ns}	8704,055 ^{ns}	-
Desvio	8050,816 ^{ns}	4943,717 ^{ns}	-
C x DE	6048,189 ^{ns}	9471,167 ^{ns}	960,453 ^{ns}
Resíduo	8238,286	3040,023	4970,307
CV (%)	19,57	10,96	17,69
	Médias (cm ² m ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	504,297a	574,378a	424,905a
Irene	423,201b	431,539b	372,336b
Duração do encharcamento			
0	380,869	452,636	368,719
6	399,468	464,909	388,849
12	437,295	480,230	426,782
18	531,593	509,237	397,182
24	458,549	542,938	385,171
30	500,818	571,922	414,592
36	537,648	498,837	409,046

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

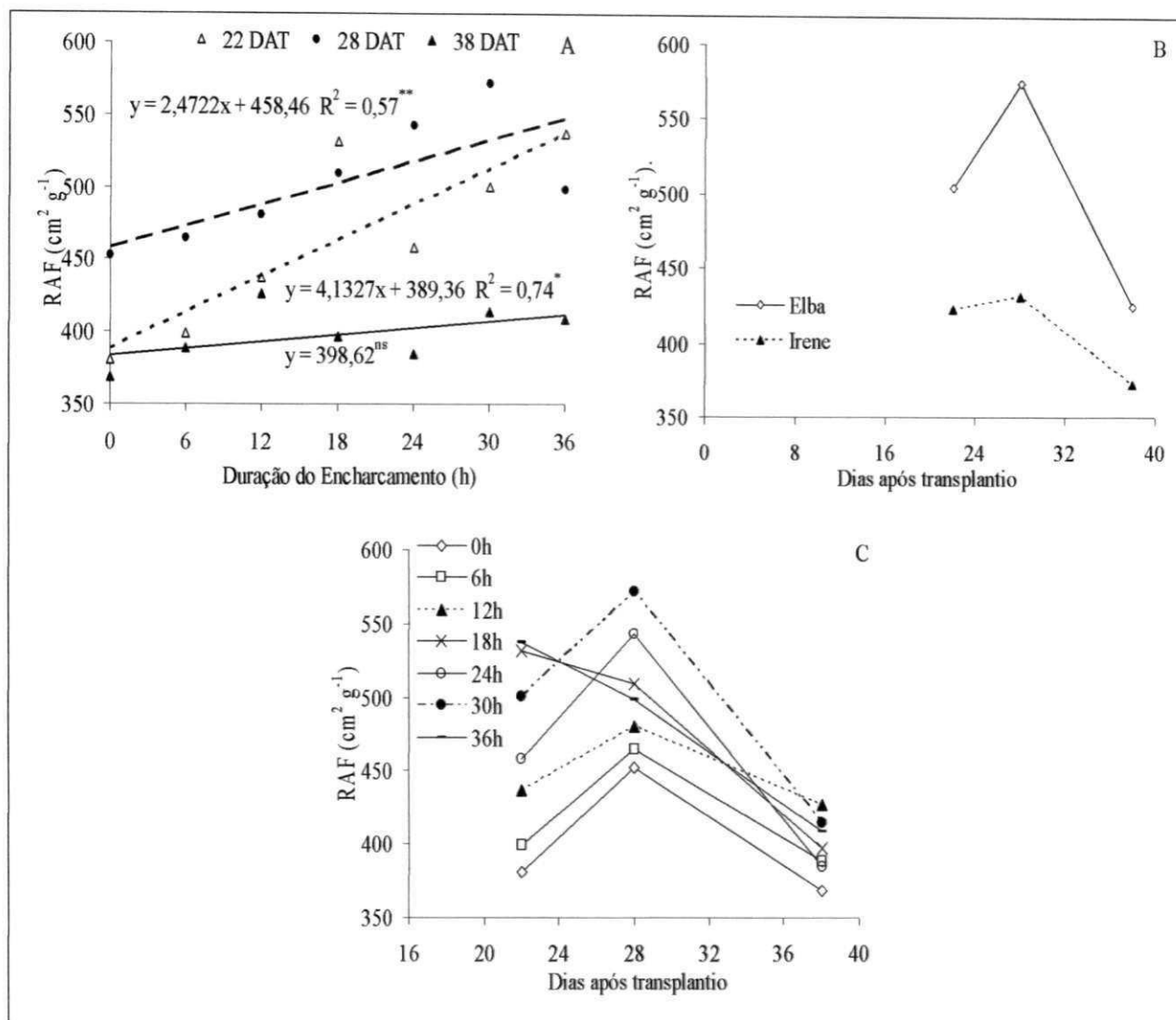


Figura 17 – Razão de área foliar (RAF) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da RAF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.10. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

Os resultados da análise de variância e os dados médios observados para taxa de crescimento absoluto de fitomassa, em avaliações realizadas entre 17 (dia de aplicação dos tratamentos) e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 DAT estão resumidos na Tabela 20. Verifica-se que a TCA sofreu efeito significativo ($p < 0,01$) do fator 'DE' nas duas primeiras avaliações (17-22 e 22-28 DAT), ao contrário do fator 'cultivar' em que houve diferença significativa ($p < 0,01$) apenas na última avaliação (28-38 DAT); nessas avaliações a cultivar Elba obteve maior crescimento ao longo do tempo, o que resultou também em maior TCA (Figura 18B). Apesar dos maiores incrementos de fitomassa para as duas cultivares terem ocorrido no período compreendido entre 28 e 38

DAT, não foi detectado diferença significativa da variável TCA em função da duração do encharcamento; isso pode ter ocorrido devido a não significância do efeito anoxítico sobre a fitomassa seca das cultivares aos 38 DAT. De acordo com os resultados observa-se em mais uma variável, que as cultivares de alface (Elba e Irene) quando expostas a períodos de escassez de O₂ no solo tendem a recuperar seu crescimento, principalmente ao aproximar da época de colheita.

Com base no resultado da interação para TCA, observa-se que o efeito da duração do encharcamento foi comum as duas as cultivares.

De acordo com a análise de regressão, verifica-se que os dados se ajustaram melhor ao modelo linear nas duas avaliações iniciais (Figura 18A), ocorrendo decréscimos da TCA de 1,82% (17-22 DAT) e 0,90% (22-28 DAT) por aumento unitário da duração do encharcamento do solo.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para taxa de crescimento absoluto (TCA) entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	TCA 17-22	TCA 22-28	TCA 28-38
Bloco	0,002286*	0,008021*	0,011157 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000075 ^{ns}	0,003864 ^{ns}	0,245960**
Duração do encharcamento (DE)	0,005064**	0,007215**	0,004648 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,027768**	0,042050**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,000560 ^{ns}	0,000537 ^{ns}	-
Desvio	0,000515 ^{ns}	0,000176 ^{ns}	-
C x DE	0,000119 ^{ns}	0,003275 ^{ns}	0,003546 ^{ns}
Resíduo	0,000508	0,001939	0,007466
CV (%)	29,56	18,34	17,77
	Médias (g dia ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	0,078	0,231	0,563a
Irene	0,075	0,250	0,410b
Duração do encharcamento			
0	0,105	0,294	0,493
6	0,114	0,274	0,515
12	0,088	0,244	0,505
18	0,070	0,238	0,504
24	0,071	0,227	0,490
30	0,056	0,208	0,467
36	0,029	0,196	0,433

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

A evolução da TCA em função das diferentes durações do encharcamento está apresentada na Figura 18C na qual, é possível observar que as maiores DE proporcionaram os menores valores médios de TCA.

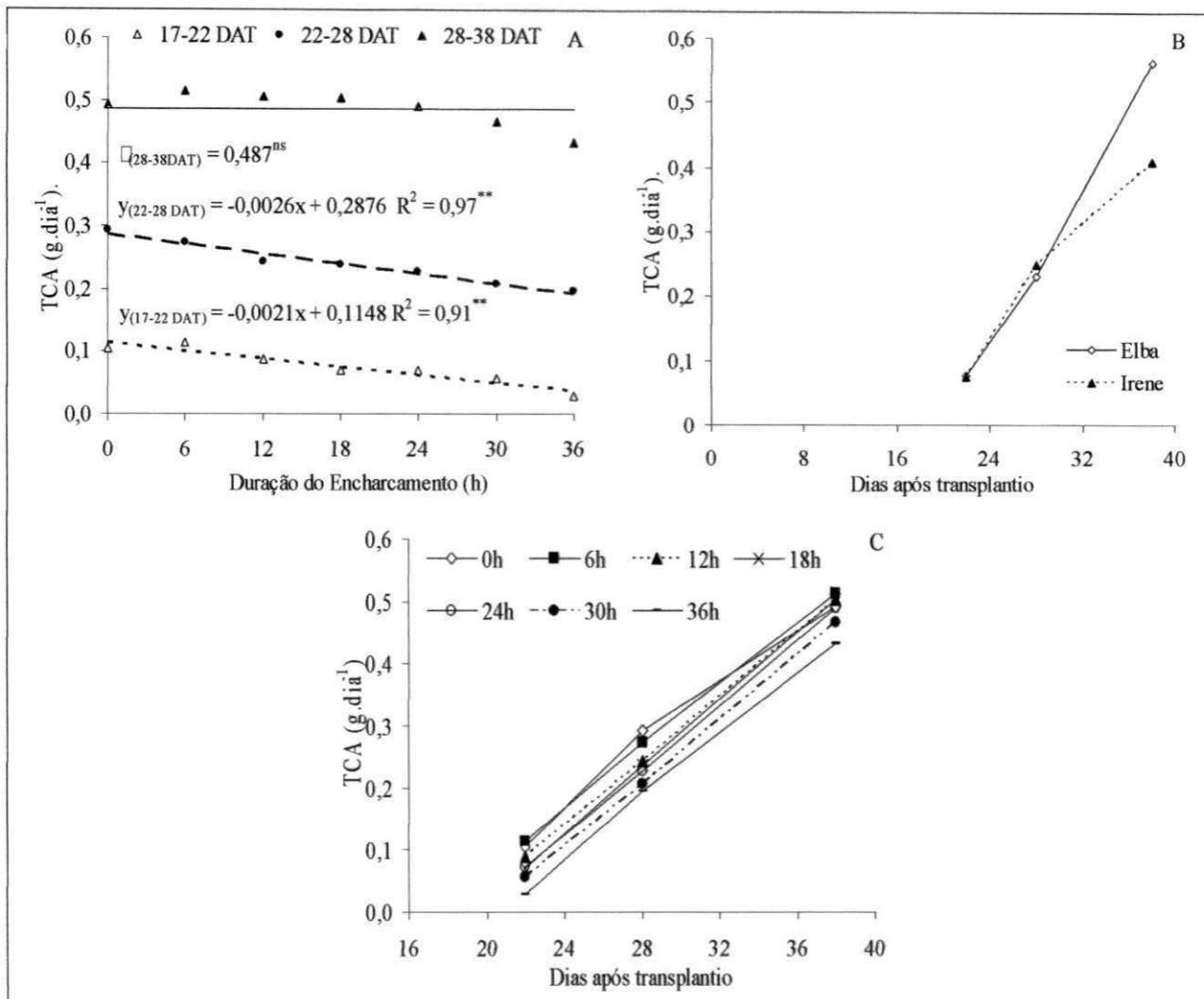


Figura 18 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da TCA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.11. Taxa de crescimento relativo (TCR)

Os resultados estatísticos referentes à taxa de crescimento relativo nas avaliações realizadas (17 e 22, 22 e 28, e entre 28 e 38 DAT), estão contidos na Tabela 21; verifica-se que a ‘duração do encharcamento’ afetou significativamente a TCR nas três avaliações, já o fator ‘cultivar’ teve diferença significativa ($p < 0,01$) na primeira e na última avaliação; nessas a cultivar Elba foi mais eficiente na produção de novos tecidos, o que resultou em maior TCR (Figura 19B).

Os resultados da interação para TCR (Tabela 21) denotam que o efeito do fator 'DE' sobre o fator 'cultivar', nas épocas avaliadas, ocorreu de forma semelhante.

Tabela 21 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para taxa de crescimento relativo (TCR) entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 dias após o transplante (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	TCR 17-22	TCR 22-28	TCR 28-38
Bloco	0,008740 ^{**}	0,000643 ^{ns}	0,000692 ^{ns}
Cultivar (C)	0,015645 ^{**}	0,003998 ^{ns}	0,038032 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,022808 ^{**}	0,004900 [*]	0,002213 [*]
Reg. Pol. Linear	0,117224 ^{**}	0,015513 ^{**}	0,012501 ^{**}
Reg. Pol. Quadr.	0,009783 [*]	0,008078 [*]	0,000471 ^{ns}
Desvio	0,002460 ^{ns}	0,008078 ^{ns}	0,000077 ^{ns}
C x DE	0,000467 ^{ns}	0,002082 ^{ns}	0,000952 ^{ns}
	0,001315	0,001777	0,000898
CV (%)	13,61	15,35	11,91
	Médias (g g ⁻¹ dia ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	0,286a	0,265	0,282a
Irene	0,247b	0,284	0,222b
Duração do encharcamento			
0	0,320	0,269	0,222
6	0,336	0,245	0,232
12	0,298	0,253	0,249
18	0,260	0,278	0,258
24	0,265	0,269	0,258
30	0,234	0,275	0,270
36	0,152	0,334	0,273

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

As equações matemáticas (Figura 19A), obtidas mediante análise de regressão, indicam que os dados se ajustaram melhor ao modelo quadrático nas duas avaliações iniciais, e a linear na terceira avaliação. Nos períodos antecedentes à colheita (22-28 e 28-38 DAT) observa-se incremento da TCR na ordem de 3,24% e 18,22%, respectivamente, entre DE₀ e DE₃₆; já na avaliação inicial (17 e 22 DAT), ocorreu o inverso, ou seja, decréscimo da TCR de 52,50% entre DE₀ e DE₃₆.

Infer-se com base nos resultados, que as durações de encharcamento proporcionaram comportamento diferenciado nas plantas em relação a TCR, nas

distintas épocas de avaliação; na fase inicial (17 a 22 DAT), na medida em que ocorreu o incremento do estresse, deu-se redução na produção de material novo, por unidade de material preexistente, enquanto nas fases (22 a 28 e 28 a 38 DAT) ocorreu o inverso, ou seja, aumento na deficiência de O₂ propiciou a produção de mais massa nova; isto denota ser um indicativo de adaptação da cultura ao estresse, fazendo com que as plantas aumentassem a capacidade de suprir a deficiência de O₂, de outra forma.

Nota-se na Figura 19 C, o comportamento da taxa de crescimento relativo ao longo tempo, em função das durações de encharcamento. Verifica-se que no momento da colheita as plantas que tinham sido submetidas aos maiores tempo de deficiência de oxigênio do solo foram as que apresentaram as maiores TCR.

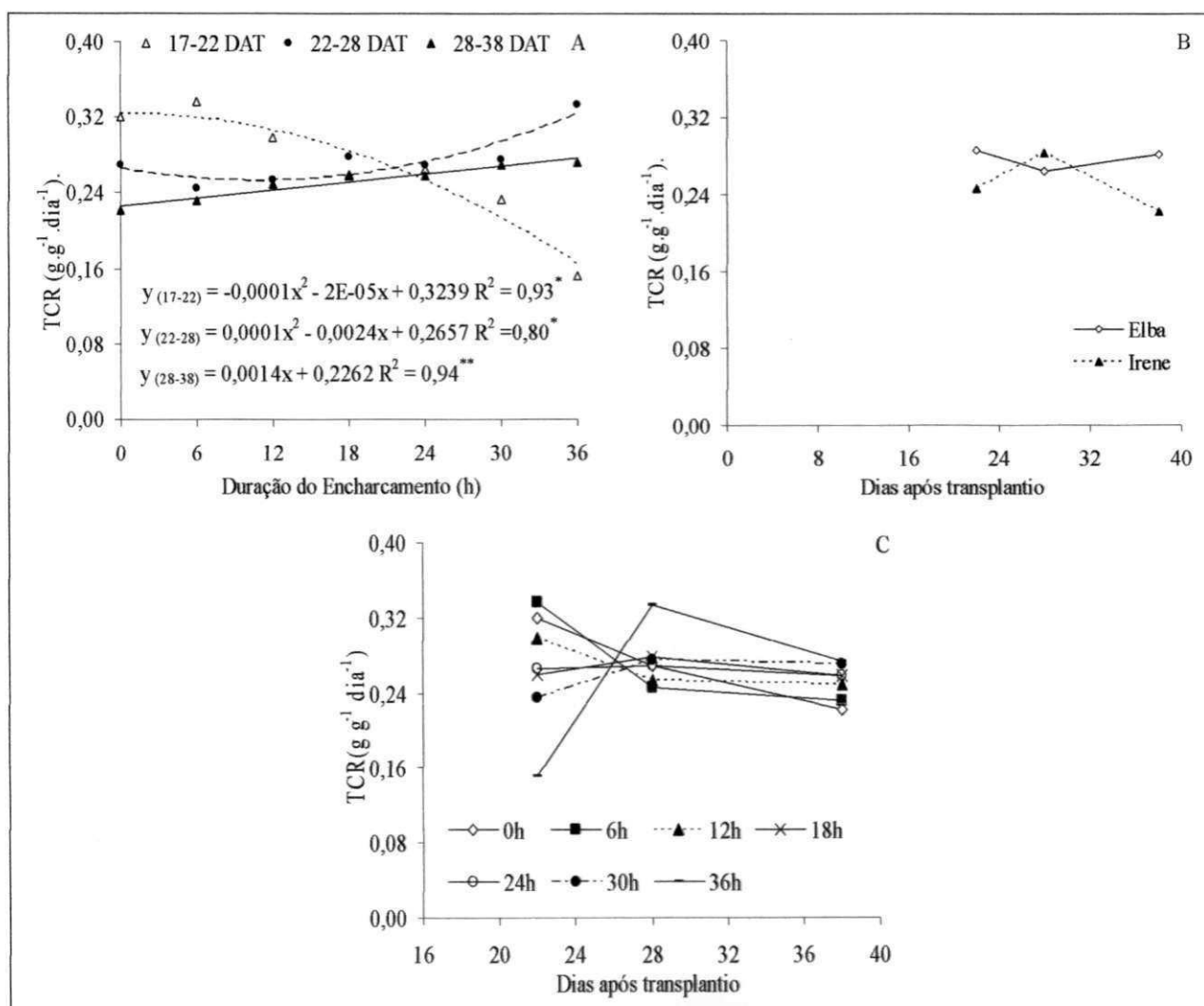


Figura 19 – Taxa de crescimento relativo (TCR) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da TCR para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.2. Experimento II

4.2.1. Variáveis de Crescimento

4.2.1.1. Número de folhas (NF)

Nas avaliações realizadas aos 5 e 10 DATr houve efeito significativo da duração do encharcamento (DE) sobre o número de folhas, as quais também variaram em função do genótipo, mas sem ser significativo o efeito da interação entre esses fatores. Segundo as equações de regressão (Figura 20A), o modelo a que melhor se ajustaram os dados, aos 5 DATr, foi o linear e quadrático aos 10 DATr, com reduções no maior tempo de duração do encharcamento (DE_{48}) de 14,12% e 9,47%, respectivamente, em relação a DE_0 . De acordo com Beltrão et al. (1997), a redução ou deficiência total de oxigênio no solo causa, entre outras modificações, o fechamento dos estômatos com conseqüente redução na taxa de fotossíntese, o que se pode relacionar à redução no número de folhas emitidas.

Segundo Fagéria (1989), as reduções do tamanho e do número de folhas são mecanismos usados pelas plantas para manter a absorção de água e reduzir a taxa de transpiração, quando da exposição a estresses hídricos.

Não houve diferença significativa do fator 'duração do encharcamento' sobre o número de folhas na avaliação realizada no momento da colheita (32 DAT que corresponde a 20 DATr inicial), Tabela 22; no entanto, foi significativa a interação C x DE na avaliação final, denotando-se pelos dados do desdobramento, contidos nas Tabelas 23 e 24, que o efeito do estresse anoxítico foi diferente entre os genótipos. Embora não tenha variado o NF na cv. Elba, em todos os tempos de 'DE', este genótipo produziu mais folhas que a 'Irene'; entretanto, neste último genótipo o NF aumentou, linearmente, da ordem de 0,03 folhas por cada incremento de 1 hora na duração do encharcamento, conforme se depreende da equação contida na Figura 20A.

Quanto ao número de encharcamento (um - NE_1 ou dois - NE_2), reduziu-se o número de folhas (NF) em 3,15% quando as plantas foram expostas a dois encharcamentos.

Nas três épocas em que se avaliou esta variável, a cultivar Elba foi significativamente ($p < 0,05$ aos 5 DATr e $p < 0,01$ em 10 e 20 DATr) maior que a

Irene, com acréscimos de 7,69%, 6,77% e 11,91%, respectivamente; verifica-se que a diferença foi ampliada na última avaliação, o que pode ser indicativo de maior recuperação pós estresse da 'Elba' (Tabela 22 e Figura 20 C).

De acordo com o desdobramento do fator 'C' em cada duração do encharcamento, verifica-se que as condições de estresse por encharcamento impostas à alface (Tabela 23) resultaram, em todos os tempos, em superioridade da Elba sobre a Irene em relação ao NF; no entanto, com o aumento do 'DE' a diferença entre as duas foi sendo reduzida, a ponto de que para DE₄₈ a Elba superou em apenas 6,15% a Irene, denotando que com o tempo de exposição à anoxia as cultivares tendem a responder de forma mais semelhante (Tabela 23 e Figura 20B).

Tabela 22 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para número de folhas (NF) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrado médio		
	NF 5	NF 10	NF 20
Bloco	0,100000 ^{ns}	0,700000 ^{ns}	0,437500 ^{ns}
Cultivar (C)	3,675000*	6,075000**	75,000000**
Duração do encharcamento (DE)	2,533333*	2,979167**	0,111111 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	7,704167**	5,104167	-
Reg. Pol. Quadr.	2,169643 ^{ns}	5,502976**	-
Reg. Pol. Cúbica	0,129762 ^{ns}	0,654762 ^{ns}	-
C x DE	0,133333 ^{ns}	1,137500 ^{ns}	2,777778*
Nº de encharcamento (NE)			6,750000**
C x NE			0,083333 ^{ns}
DE x NE			0,305556 ^{ns}
DE x NE x C			0,527778 ^{ns}
Resíduo	0,562963	0,496296	0,704167
Trat x Test. Elba			5,510417**
Trat x Test. Irene			0,001157 ^{ns}
Tratamento			7,293028**
CV (%)	7,94	5,12	3,77
	Médias		
Cultivar			
Elba	9,800000a	14,200000a	23,500a
Irene	9,100000b	13,300000b	21,000b
Número de encharcamento			
Um (NE ₁)			22,625a
Dois (NE ₂)			21,875b

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Tabela 23 – Desdobramento da interação duração do encharcamento e cultivar (DE x C) e médias para número de folhas (NF), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios			
	Elba	Irene		
Duração do encharcamento				
Reg. Pol. Linear	2,70000 ^{ns}	4,033333 [*]		
Reg. Pol. Quadr.	0,000000 ^{ns}	0,000000 ^{ns}		
Reg. Pol. Cúbica	0,300000 ^{ns}	1,633333 ^{ns}		
Residou	0,704167	0,704167		
Valores médios				
Cultivar	DE ₁₂	DE ₂₄	DE ₃₆	DE ₄₈
Elba	24,000a	23,500a	23,500a	23,000a
Irene	20,333b	21,167b	20,833b	21,667b

(^{**}) Efeito significativo a 1% e (^{*}) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p<0,05)

Conforme a Tabela 22 ocorreu diferença significativa no contraste (Tratamento x Test. Elba); após o seu desdobramento (Tabela 24), observa-se que a testemunha, quando comparada com plantas sob um encharcamento (NE₁), diferiu estatisticamente do maior nível de encharcamento (DE₄₈); já em relação às plantas submetidas a dois encharcamentos (NE₂), com exceção de DE₁₂, todas foram significativamente inferiores à testemunha. Denota-se, com base nos resultados, sensibilidade da cultivar Elba, em termos de NF, a estresses anoxítico, sendo mais acentuados os sintomas quando da exposição das plantas a mais de um encharcamento durante o ciclo. Reduções no número de folhas também foram observadas por Silva et al. (2005) estudando o efeito de diferentes níveis de encharcamento (0 a 11 dias) sobre o crescimento do algodoeiro herbáceo.

Tabela 24 – Desdobramento do contraste (Tratamento x Test. Elba) e valores médios de número de folhas (NF) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface

Tratamentos	Quadrados Médios	Médias
	ELBA	
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	0,666667 ^{ns}	24,167
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	2,041667 ^{ns}	23,500
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	2,666667 ^{ns}	23,667
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	3,375000 [*]	23,333
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	2,041667 ^{ns}	23,667
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	5,041667 [*]	23,333
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	3,375000 [*]	23,000
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	8,166667 ^{**}	22,500
Testemunha de Elba	-	24,833
CV(%)	3,72	

(^{**}) Efeito significativo a 1% e (^{*}) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

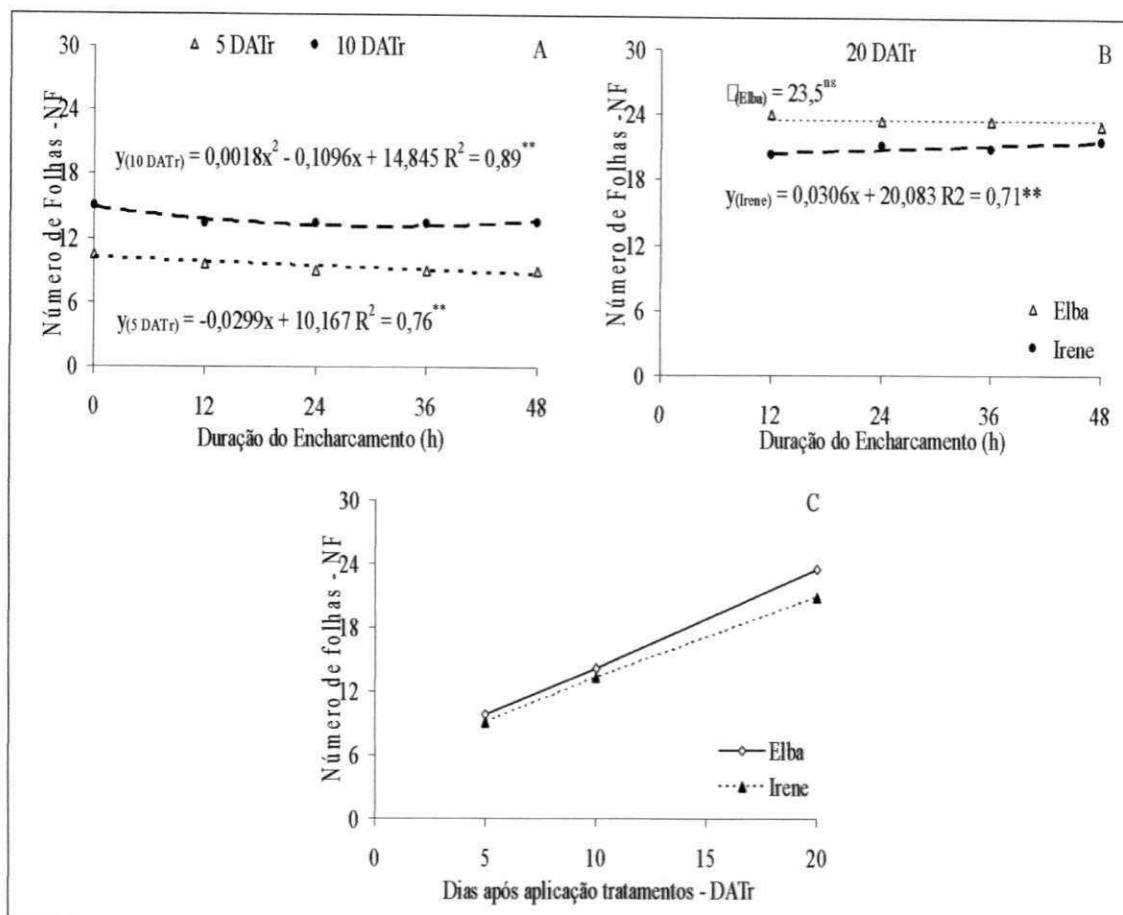


Figura 20 – Número de folhas de alfaca aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A), aos 20 DATr (B) e variação temporal do NF por cultivar (C). Campina Grande, PB, 2007

4.2.1.2. Diâmetro do caule (DC)

Conforme análise de variância (Tabela 25) o fator duração do encharcamento não afetou significativamente o diâmetro do caule das plantas em nenhuma das avaliações (5, 10 e 20 DATr), o que também aconteceu no primeiro experimento. Tais observações são diferentes das relatadas por Yamamoto et al. (1995) e Pimenta et al. (1996), que citam haver hipertrofia do caule de plantas, como consequência de alagamento, geralmente associada à formação de aerênquimas.

Na Tabela 25, vê-se não ter ocorrido efeito interativo dos fatores (DE, C e NE), denotando que o efeito da DE e de NE sobre as cultivares, ocorreu de forma semelhante.

Quanto ao fator cultivar, verifica-se efeito significativo ($p < 0,01$) na última avaliação, quando a cv. Elba superou a Irene em 11,62%. Denota-se que este fato ocorra

devido a características próprias das cultivares. Observando a Figura 21, visualiza-se melhor o comportamento das cultivares, ao longo do tempo.

Os números de encharcamentos (NE) propiciaram comportamento diferenciado entre as plantas (Tabela 25) em relação ao DC, de forma que houve efeito significativo ($p < 0,05$), na avaliação realizada aos 20 DATr. As plantas, quando expostas a dois encharcamentos, desenvolveram maior diâmetro do caule (hipertrofia), sendo 3,28% superior às do encharcamento simples. Pires et al. (2002), após estudarem as adaptações morfológicas da soja em solo inundado, constataram que a hipertrofia do caule foi a característica mais evidente na diferenciação da tolerância à inundação entre cultivares.

Tabela 25 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamento para diâmetro do caule (DC) e altura de caule (AC) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios					
	DC 5	DC 10	DC 20	AC 5	AC 10	AC 20
Bloco	0,00348 ^{ns}	0,00904 ^{ns}	0,005502 ^{ns}	0,032160 ^{ns}	0,027771 ^{ns}	0,134090 ^{ns}
Cultivar (C)	0,00091 ^{ns}	0,00420 ^{ns}	0,374533**	0,214207**	1,121333**	17,41225**
Duração do encharcamento (DE)	0,01481 ^{ns}	0,02195 ^{ns}	0,006878 ^{ns}	0,014957 ^{ns}	0,050260 ^{ns}	0,059124 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,00026 ^{ns}	0,02282 ^{ns}	0,012327 ^{ns}	0,035770 ^{ns}	0,000042 ^{ns}	0,160684 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	0,00450 ^{ns}	0,06081 ^{ns}	0,007500 ^{ns}	0,017286 ^{ns}	0,001905 ^{ns}	0,004219 ^{ns}
Reg. Pol. Cúb.	0,02724 ^{ns}	0,00208 ^{ns}	0,000807 ^{ns}	0,003386 ^{ns}	0,099548 ^{ns}	0,012470 ^{ns}
C x DE	0,00275 ^{ns}	0,02346 ^{ns}	0,032033 ^{ns}	0,019797 ^{ns}	0,053260 ^{ns}	0,022102 ^{ns}
Nº encharcam. (NE)			0,002344*			0,005230 ^{ns}
C x NE			0,002133 ^{ns}			0,427519**
DE x NE			0,000511 ^{ns}			0,024224 ^{ns}
DE x NE x C			0,002544 ^{ns}			0,010319 ^{ns}
Resíduo	0,003733	0,009067	0,004671	0,024470	0,021081	0,053652
Trat x Test. Elba			0,008091 ^{ns}			1,673056**
Trat x Test. Irene			0,004492 ^{ns}			0,356891**
Tratamento			0,026671**			1,409493**
CV (%)	6,61	7,68	4,24	15,62	8,63	7,42
	Médias (cm)					
Cultivar						
Elba	0,919	1,252	1,700a	1,086a	1,877a	3,722a
Irene	0,930	1,228	1,523b	0,917b	1,490b	2,518b
Nº de encharcamento						
Um (NE ₁)			1,586b			3,141
Dois (NE ₂)			1,638a			3,098

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Quanto aos contrastes ‘Tratamento x Test. Elba’ e ‘Tratamento x Test. Irene’ também não foi visto diferença significativa (Tabela 25).

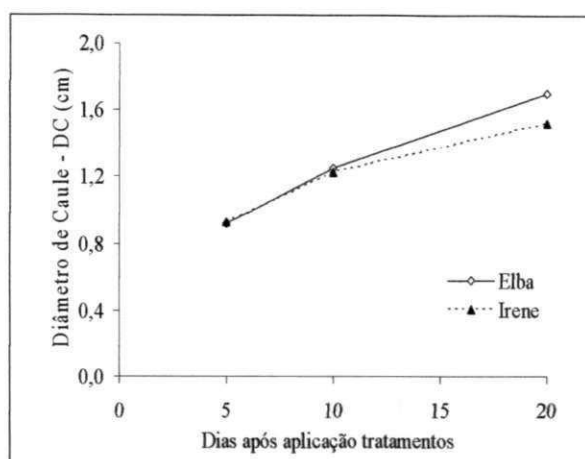


Figura 21 – Variação temporal do diâmetro de caule de cultivares de alface em Campina Grande, PB, 2007

4.2.1.3. Altura de caule (AC)

Segundo Bueno (1998), o comprimento e o diâmetro do caule são duas características de relativa importância para a cultura da alface, uma vez que é indesejável, para a indústria, um caule que apresente grandes proporções.

De acordo com a análise de variância (Tabela 25) dos dados de altura de caule, não houve efeito significativo do fator duração do encharcamento sobre esta variável, nas três épocas de avaliação (5, 10 e 20 DATr); porém, houve diferença significativa ($p < 0,01$) em todas as épocas para o fator cultivar; a cv Elba foi superior à Irene, em todas elas, apresentando acréscimos de 18,43%, 25,97% e 47,82% aos 5, 10 e 20 DATr, respectivamente (Tabela 25). Este aumento do crescimento da parte aérea pode ser uma característica da própria cultivar devido algumas enrolarem suas folhas para formar cabeça (Irene) enquanto outras como a Elba, as folhas crescem sem formação de cabeça.

Em relação ao fator número de encharcamento (NE), verifica-se que o mesmo não influenciou significativamente a variável altura de plantas; porém, houve interação entre os fatores ‘C x NE’ aos 20 DATr (Tabela 25 e Figura 22B), indicando que o efeito do número de encharcamentos sobre a variável AC, variou em função das cultivares. Deste modo, na Tabela 26 está exposto o desdobramento do efeito das cultivares dentro dos números de encharcamento e vice-versa; pode-se observar que a

cultivar Elba, quando exposta a um e dois encharcamentos do solo, apresentou um acréscimo, em altura, em relação à Irene de 38,59% e 57,99%, respectivamente; esta cultivar não diferiu estatisticamente quando exposta às duas condições de encharcamento; já a Irene apresentou uma redução em tamanho do caule, de 9,62% quando da aplicação de dois encharcamentos 'NE₂' em relação a 'NE₁', mostrando-se mais sensível à ocorrência de mais de um estresse durante o ciclo. Na Figura 22A pode visualizar melhor o comportamento das cultivares em relação aos números de encharcamentos ao longo do tempo.

Na Tabela 25 se observa efeito significativo do contraste envolvendo tratamentos e as testemunhas, em que, após o desdobramento (Tabela 27) as testemunhas de Elba e Irene foram superiores às plantas expostas aos outros tratamentos, em termos de AC. Em relação à Irene, vê-se que os tratamentos DE₁₂ e DE₃₆ (em NE₁ e NE₂) não diferiram estatisticamente da testemunha, devido, possivelmente, à variação que houve entre as médias dentro de cada tratamento; no entanto, as médias foram inferiores à testemunha. Segundo Bradford & Yang (1981) alguns sintomas apresentados por plantas sob estresse anoxítico, como redução do crescimento, podem ser considerados mecanismos fisiológicos de adaptação a esta situação.

Tabela 26 – Desdobramento da interação (C x NE) e médias para altura de caule (AC), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Valores médios (cm)	
	NE ₁	NE ₂
Cultivar		
Elba	3,649aA	3,795aA
Irene	2,633bA	2,402bB

Médias seguidas de mesma letra na vertical e na horizontal não diferem entre si (p<5%); Letras minúsculas na vertical comparam as cultivares e letras maiúsculas na horizontal comparam os números de estresse dentro de cada cultivar

Tabela 27 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de altura de caule (AC) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface

Tratamentos	ELBA		IRENE	
	QM	Médias (cm)	QM	Médias (cm)
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	1,550417**	3,497	0,185504 ^{ns}	2,530
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	0,721067**	3,613	0,487350**	2,537
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	1,215000**	3,753	0,178538 ^{ns}	2,703
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	0,862604**	3,730	0,322017*	2,758
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	0,866400**	3,820	0,047704 ^{ns}	2,312
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	0,707267**	3,755	0,326667*	2,418
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	0,920417**	3,827	0,022817 ^{ns}	2,415
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	0,817704**	3,775	0,275204*	2,453
Testemunha	-	4,513	-	2,882
CV(%)	6,88			

(*) Efeito significativo a 1% e () a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

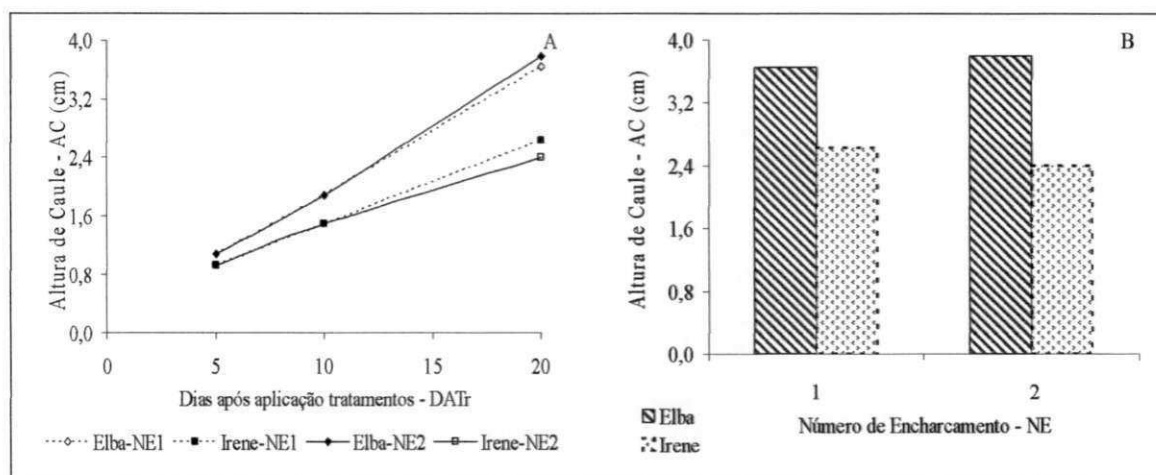


Figura 22 – Altura de caule de cultivares de alface em variação temporal (A) e por número de encharcamento (B). Campina Grande, PB

4.2.1.4. Fitomassa fresca (FFPA) e seca da parte aérea (FSPA)

Tem-se, na Tabela 28, o resumo da análise de variância para fitomassa fresca da parte aérea, em avaliações realizadas aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Nas cultivares se observou efeito significativo ($p < 0,01$) apenas na última avaliação; já no fator duração do encharcamento foi verificada efeito significativo ($p < 0,01$) nas três épocas de avaliação e para o fator número de encharcamento não foi constatado efeito estatístico significativo para a época em que foi analisado (20 DATr); houve, ainda, efeito significativo ($p < 0,01$) da interação entre cultivar e duração do encharcamento, nas avaliações feitas aos 5, 10 e 20 DATr, assim como interação significativa ($p < 0,01$) entre ‘C x NE x DE’ aos 20 DATr.

Conforme o desdobramento do fator duração do encharcamento 'DE' em cada cultivar 'C' aos 5 e 10 DATr (Tabela 29), observa-se que as condições de estresse por deficiência de oxigênio no solo imposto à alfaca, resultaram em reduções da FFPA a partir de DE_0 . Segundo as equações de regressão (Figura 23A e 23B) aos 5 DATr, o fator 'DE' afetou a FFPA de forma quadrática para Elba e linear para Irene, provocando reduções de 47,24% (Elba) e 37,96% (Irene) para DE_{48} , comparado a DE_0 ; aos 10 DATr houve decréscimos da FFPA, onde os dados se ajustaram melhor ao modelo linear (Elba) e quadrático (Irene), com reduções de 24,38% (Elba) e 27,78% (Irene) nas DE_{48} , respectivamente, comparados a DE_0 . De acordo com os decréscimos observados, verifica-se que, após certo tempo pós-estresse, as cultivares tendem a apresentar maior tolerância ao encharcamento, de forma que as perdas vão sendo reduzidas. Severino et al. (2004), estudando a cultura da mamoneira sob estresse por encharcamento do solo (variando de 0 a 10 dias), citam que as plantas submetidas a encharcamento por curtos períodos de tempo, retornam o crescimento após a suspensão do estresse. Resultado semelhante quanto ao aumento da tolerância com o incremento de tempo para FFPA, foi verificado no primeiro experimento. Outros autores também constataram redução do crescimento da parte aérea quando da exposição a solos com baixo teor de oxigênio, entre eles Letey et al. (1962) com as culturas de feijão, girassol e algodão.

Na Tabela 30 consta o desdobramento da interação significativa aos 20 DATr, entre DE x NE x C, em relação à fitomassa fresca da parte aérea (FFPA); isto é sinal de que o efeito do encharcamento variou entre as cultivares e com os números de encharcamentos. Os modelos matemáticos com as devidas representações gráficas da FFPA, estão apresentados nas Figuras 23C e 23D.

Conforme as curvas de regressão para FFPA a partir do desdobramento houve diferença significativa para FFPA apenas para as interações 'DE x cv. Elba x NE_2 ' e 'DE x cv. Irene x NE_1 ' onde o modelo matemático que melhor ajustou os dados foi o linear, ocorrendo reduções da entre DE_{12} e DE_{48} de 17,45% e 31,53%, respectivamente. Denota-se, em relação aos resultados, que os efeitos sentidos pelas cultivares foram mais expressivos devido ao estresse inicial.

Tabela 28 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e seca (FSPA) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios					
	FFPA 5	FFPA 10	FFPA 20	FSPA 5	FSPA 10	FSPA 20
Bloco	1,8008 ^{ns}	24,2828 ^{ns}	605,7301*	0,0375 ^{ns}	0,0483 ^{ns}	0,7882 ^{ns}
Cultivar (C)	20,008 ^{ns}	21,5477 ^{ns}	28743,44**	0,0162 ^{ns}	0,1432 ^{ns}	12,1847**
Duração do encharcamento (DE)	170,461**	897,807**	1781,775**	0,2271**	0,8605**	0,2811 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	456,780**	527,622**	5049,920**	0,1438*	2,0377**	0,8106 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	184,379**	1405,69**	266,4919 ^{ns}	0,7014**	0,6171*	0,0109 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica	20,3434 ^{ns}	828,958**	28,9120 ^{ns}	0,0316 ^{ns}	0,3936 ^{ns}	0,0218 ^{ns}
Cv. x DE	25,9577*	393,470**	1716,021**	0,1141 ^{ns}	0,2294 ^{ns}	0,7052 ^{ns}
Nº encharcam. (NE)			205,8114 ^{ns}			0,1757 ^{ns}
C x NE			478,1719 ^{ns}			0,5064 ^{ns}
DE x NE			256,7081 ^{ns}			0,2162 ^{ns}
DE x NE x C			413,5458*			0,2174 ^{ns}
Resíduo	5,8618	46,9444	116,2237	0,0320	0,1263	0,4175
Trat x Test. Elba			4572,860**			12,6458**
Trat x Test. Irene			15459,23**			8,7129**
Tratamento			3990,369**			1,2213**
CV (%)	7,55	8,77	6,54	9,69	9,66	7,53
	Médias (g)					
Cultivar						
Elba	31,253	77,240	140,490b	1,821	3,747	9,087a
Irene	32,887	78,935	189,431a	1,868	3,609	8,079b
Nº de encharcamento						
Um (NE ₁)			170,940a			8,462
Dois (NE ₂)			158,981b			8,704

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Tem-se na Tabela 30, que a cultivar Irene superou a Elba, em termos de FFPA, quando da exposição a todas as durações de encharcamento (12, 24, 36 e 48 horas) tal como nas quantidades de encharcamentos (NE₁ e NE₂) dentro de 'DE'. Este resultado é muito importante do ponto de vista econômico, visto que, no momento da comercialização da alface, um dos pontos que favorecem o comércio é a quantidade de massa fresca do produto. Verifica-se ainda que as cultivares produziram menor quantidade de massa fresca após terem sido submetidas a dois encharcamento em relação a um encharcamento, assim como as durações de encharcamento provocaram reduções na massa fresca das culturas, à medida em que o tempo do encharcamento foi aumentado.

De acordo com a análise de variância (Tabela 28) as durações de encharcamento (DE) influenciaram significativamente ($p < 0,01$) e de forma negativa, a

fitomassa seca da parte aérea (FSPA), aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento. Para ambas as datas, os dados se ajustaram melhor ao modelo de regressão quadrática (Figura 24A), verificando-se decréscimos da FSPA aos 5 DATr de 9,21% e aos 10 DATr de 17,48% na duração de encharcamento mais elevada (48 horas) em comparação a testemunha. Na avaliação final não se constatou efeito do estresse anoxítico sobre as plantas como também não ocorreu interação significativa entre os fatores. Isso mostra que as cultivares tendem a recuperar a produção de massa vegetal com o passar do tempo de ocorrência do encharcamento, denotando certa tolerância. A FSPA aos 20 DATr da cultivar Elba foi significativamente superior à Irene; já em relação aos tipos de encharcamento, as plantas não diferiram significativamente (Tabela 28).

Com base nos citados decréscimos e resultado da avaliação final, observa-se que a tolerância da alface (cultivares Elba e Irene), frente ao aumento das durações e números de encharcamentos, foi crescente com o tempo, de forma que na análise final não se observou diferença significativa entre as plantas submetidas aos estresses, em relação à FSPA. Pires et al. (2002), trabalhando com a cultura da soja não verificaram diferença na matéria seca da parte aérea das plantas, pela inundação do solo, em relação à capacidade de campo.

Mingoti et al. (2006) em experimento com a cultura da alface submetida a períodos de inundação e velocidades de rebaixamento do lençol freático, também constataram que o período mais crítico em relação à produção de massa seca da parte aérea, foi o inicial, eles verificaram redução da FSPA das plantas estressadas superior a 35% em comparação com a testemunha.

Na Figura 23E e 24B visualiza-se melhor o comportamento das cultivares durante o período experimental em relação à FFPA e FSPA, respectivamente.

Observa-se haver diferença significativa nos contrastes (tratamentos versus testemunhas) para FFPA e FSPA (Tabela 28), de forma que se pode observar, no desdobramento (Tabela 31), que as testemunhas (Elba e Irene) diferiram estatisticamente ($p < 0,01$) dos tratamentos. Com base nas médias, tem-se que, com o aumento da duração e do número de encharcamento, houve redução acentuada da FFPA e da FSPA. Segundo Drew (1997), a produção de biomassa na planta é resultante da fotossíntese; portanto, sob alagamento, a taxa de crescimento relativo é reduzida; o autor cita ainda que, esses resultados têm sido verificados em plantas herbáceas e na

maioria das arbóreas. Comparando-se o presente trabalho com a citação, supõe-se que a alface tende a apresentar sintomas semelhantes.

Tabela 29 – Desdobramento da interação (DE x C) e médias para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios			
	5 DAE		10 DAE	
Duração do encharcamento	Elba	Irene	Elba	Irene
Reg. Pol. Linear	338,352083**	139,96800**	267,605*	260,044*
Reg. Pol. Quadr.	219,65720**	19,203810 ^{ns}	0,461 ^{ns}	2739,848**
Reg. Pol. Cúbica	0,321524 ^{ns}	33,926095*	160,269 ^{ns}	788,308**
Residou	5,861769	5,861769	46,944	46,9444

DE x C	Valores médios (g)			
	Elba	Irene	Elba	Irene
DE ₀	42,700a	40,100a	86,733b	108,467a
DE ₁₂	31,967a	30,600a	71,933a	55,633b
DE ₂₄	26,817b	33,600a	81,733a	72,350a
DE ₃₆	25,783b	31,067a	76,067a	73,325a
DE ₄₈	29,000a	29,067a	69,733b	84,900a

(*) Efeito significativo a 1% e (ˆ) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem entre si (p < 0,05)

Tabela 30 – Desdobramento da interação (DE x C x NE) e médias para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios			
	NE ₁		NE ₂	
Duração do encharcamento	Elba	Irene	Elba	Irene
Reg. Pol. Linear	423,738375 ^{ns}	5510,416667**	701,784000*	433,359375 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	18,875208 ^{ns}	592,207500*	116,563333 ^{ns}	46,610208 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica	12,742042 ^{ns}	30,104167 ^{ns}	66,992667 ^{ns}	20,126042 ^{ns}
Residou	116,223719	116,223719	116,223719	116,223719

Cultivar	Valores médios (g)							
	DE ₁₂		DE ₂₄		DE ₃₆		DE ₄₈	
	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂
Elba	153,0bA	152,1bA	143,3bA	134,8bA	140,8bA	134,3bA	136,1bA	129,5bA
Irene	233,6aA	187,0aB	203,3aA	183,2bB	179,8aA	181,3aA	177,6aA	169,7aA

(*) Efeito significativo a 1% e (ˆ) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p < 0,05). Médias seguidas de mesma letra na vertical e na horizontal não diferem entre si (p < 0,05); Letras minúsculas na vertical comparam as cultivares e letras maiúsculas na horizontal comparam os tipos de estresse dentro de cada cultivar

Tabela 31 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e seca (FSPA) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)

Tratamentos	Quadrados Médios			
	FFPA		FSPA	
	ELBA	IRENE	ELBA	IRENE
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	1252,815000 ^{**}	1529,989891 ^{**}	7,124568 ^{**}	3,792389 ^{**}
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	1332,060000 ^{**}	9267,883224 ^{**}	4,862250 ^{**}	3,863075 ^{**}
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	2231,081667 ^{**}	5825,798241 ^{**}	11,192458 ^{**}	4,663400 ^{**}
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	3327,615000 ^{**}	10173,271974 ^{**}	4,958959 ^{**}	3,838480 ^{**}
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	2535,870417 ^{**}	11026,335491 ^{**}	8,894081 ^{**}	5,904880 ^{**}
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	3398,640000 ^{**}	10648,104774 ^{**}	4,177257 ^{**}	6,370139 ^{**}
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	3141,881667 ^{**}	11621,456641 ^{**}	7,665695 ^{**}	5,803338 ^{**}
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	4123,881667 ^{**}	13791,571041 ^{**}	9,579857 ^{**}	5,364294 ^{**}
CV(%)	6,81		7,47	
Valores Médios (g)				
DE ₁₂ x NE ₁	153,000	233,633	9,085	8,297
DE ₂₄ x NE ₁	143,333	203,250	8,533	8,123
DE ₃₆ x NE ₁	140,783	179,833	8,829	7,902
DE ₄₈ x NE ₁	136,133	177,550	9,004	7,920
DE ₁₂ x NE ₂	152,100	186,967	9,464	8,282
DE ₂₄ x NE ₂	134,800	183,217	9,446	8,287
DE ₃₆ x NE ₂	134,300	181,317	9,596	7,826
DE ₄₈ x NE ₂	129,467	169,683	8,737	7,995
Testemunha	181,900	265,571	11,264	9,887

(^{**}) Efeito significativo a 1% e (^{*}) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

Segundo Magalhães (1985), é importante se conhecer a maneira pela qual a matéria orgânica produzida é distribuída pela planta; um exemplo desta relação “alométrica” é dado pelo quociente entre a fitomassa das raízes e da parte aérea (R/PA). Esta relação tem grande significado morfogenético podendo indicar a contribuição das reservas armazenadas no sistema radicular para o crescimento da parte aérea.

Conforme Benincasa (2003), a taxa de crescimento absoluto (TCA) ou taxa de crescimento da cultura, expressa a variação ou incremento de massa da planta entre duas amostragens, por unidade de tempo e expressa a velocidade média de crescimento ao longo do período observado.

Para Magalhães (1985), a taxa de crescimento relativo (TCR) pode ser denominada índice de eficiência, uma vez que representa a capacidade da planta em produzir material novo, ou seja, a sua eficiência na conversão de matéria seca. Hunt (1982) relata que a taxa de crescimento relativo de uma planta, em um tempo t , é definida como o aumento do material da planta por unidade de material presente, por unidade de tempo. Ferri (1985) diz que a TCR é uma medida bastante apropriada para a avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulado.

De acordo com Ferri (1985), a determinação da área foliar (AF) é importante haja vista que as folhas são as principais responsáveis pela captação de energia solar e pela produção de matéria orgânica através da fotossíntese. Conhecendo-se a superfície foliar e as alterações do peso da planta durante certo período de tempo, torna-se possível avaliar, através de cálculos, a eficiência das folhas e sua contribuição para o crescimento da planta, como um todo. Para Benincasa (2003), a razão de área foliar (RAF) relaciona a área foliar com a matéria seca resultante da fotossíntese, ou seja, expressa a área foliar útil para a fotossíntese.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos experimentos

Foram realizados dois experimentos, em instalações não protegidas (sem cobertura e proteção lateral) (Figura 1), pertencentes à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, vinculada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG – PB), Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18" de latitude sul, 35°52'28" de longitude oeste do meridiano de Greenwich e altitude média de 550m; os trabalhos foram conduzidos durante o período compreendido entre julho e outubro de 2007, avaliando-se o crescimento e a produção da alface sob condições de saturação hídrica do solo. No primeiro experimento se avaliou a cultura submetida a um estresse por encharcamento e, no segundo, foram avaliados os efeitos de dois períodos de encharcamento.



Figura 1 – Área experimental com disposição dos vasos

3.2. Clima

Segundo a classificação climática de Köppen, aplicada ao Brasil (Nakata & Coelho 1978; Coelho & Soncin, 1982), o clima de Campina Grande – PB é do tipo CSa, que significa um clima mesotérmico, semi-úmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e chuvas de outono a inverno. A estação chuvosa da região se inicia no mês de fevereiro ou março, prolongando-se até julho ou agosto, sendo os meses de junho e julho os mais chuvosos com média de precipitação anual em torno de 700mm; já a estação seca se inicia em setembro e se estende até fevereiro (Brasil, 1972).

A amplitude térmica da região é muito pequena devido à baixa latitude; as temperaturas oscilam pouco durante o ano e os valores mínimos e máximos se situam entre 19,5 e 26,0 °C, respectivamente, com meses mais quentes entre janeiro e fevereiro e os mais frios entre julho e agosto (Brasil, 1972).

Durante a realização do estudo foram registrados os dados climáticos (temperatura média, umidade relativa do ar e precipitações pluviométricas), obtidos em estação meteorológica situada próxima à área experimental, os quais estão apresentados na Figura 2.

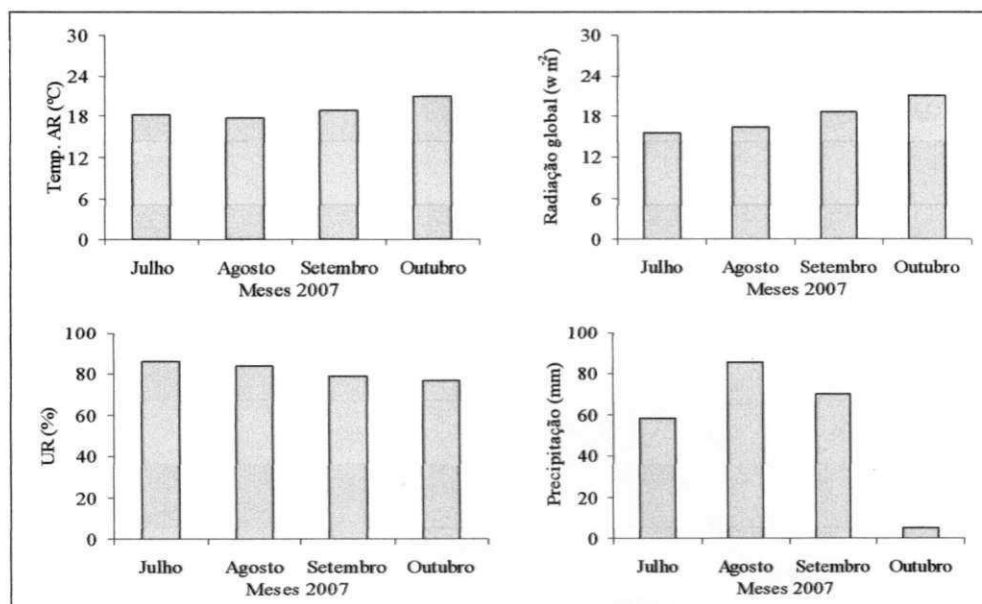


Figura 2 - Dados médios mensais de temperatura do ar (°C), radiação global (w m⁻²), umidade relativa (%) e total de precipitação pluviométrica mensal (mm) de Campina Grande, PB, durante o período de julho a outubro de 2007

3.3. Características do solo

Na produção das mudas de alface de ambos os experimentos, foi utilizado um substrato comercial contendo uma combinação de vermiculita, casca de pinus e casca de arroz carbonizada, na proporção 1:1:1, cujas características químicas, fornecidas pelo Laboratório de Irrigação (LIS) e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN/UFCG), estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas do substrato utilizado na produção de mudas de alface

CE	pH		H ⁺	Al ⁺³	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
Suspensão 1:2			----- cmol _c kg ⁻¹ -----									
5,5 dS m ⁻¹	5,00	Trocável	16,8	0,2	0,197	2,58	35,58	29,07	-	-	-	-
Extrato saturação			----- mmol _c dm ⁻³ -----									
7,4 dS m ⁻¹	5,01	Solúveis	-	-	6,16		39,25	21,25	0	2,4	31,8	P

O material de solo usado para o enchimento dos vasos dos Experimentos I e II foi retirado da camada superficial (horizonte A) de um Argissolo (EMBRAPA, 1999), classificado texturalmente como franco-argilo-arenoso, proveniente de uma área próxima à UFCG, cujas características físico-hídricas e químicas estão na Tabela 2 e a curva característica de retenção de água do solo está apresentada na Figura 3.

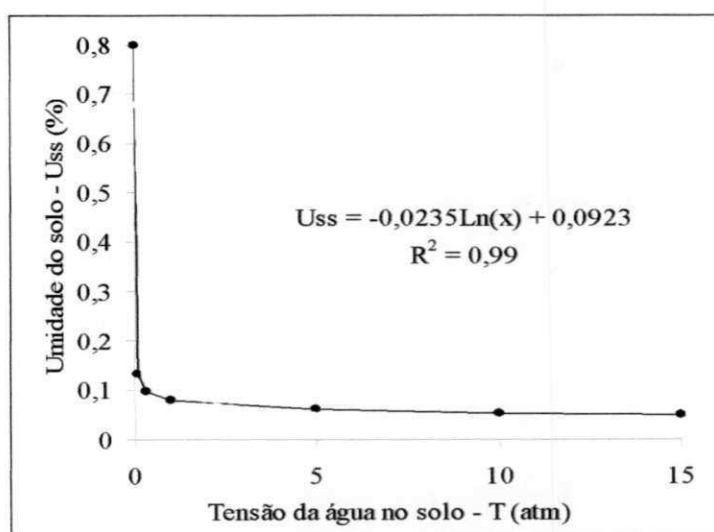


Figura 3 – Curva característica de retenção de água do solo. Campina Grande, PB, 2007

Tabela 2 – Características físico-hídricas e químicas do solo. Campina Grande, PB, 2007

Atributo	Unidade	Valor
Características físico-hídricas		
Areia	g kg ⁻¹	694,4
Silte	g kg ⁻¹	104,4
Argila	g kg ⁻¹	201,2
Classificação textural	-	Franco-argilo-arenoso
Densidade aparente (ds)	g cm ⁻³	1,36
Densidade real (dp)	g cm ⁻³	2,68
Porosidade (ε)	%	49,25
Capacidade de campo (CC) (33,44 kPa)	g kg ⁻¹	64,3
Ponto de murchamento (PM) (1519,87 kPa)	g kg ⁻¹	18,2
Água disponível (AD)	g kg ⁻¹	46,1
Complexo sortivo		
Cálcio (Ca ⁺²)	cmol _c kg ⁻¹	0,76
Magnésio (Mg ⁺²)	cmol _c kg ⁻¹	1,71
Sódio (Na ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	0,02
Potássio (K ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	0,05
Hidrogênio (H ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	1,41
Alumínio (Al ⁺³)	cmol _c kg ⁻¹	1,20
Soma de bases (S)	cmol _c kg ⁻¹	2,54
Carbono orgânico (C-org.)	g kg ⁻¹	0,70
Matéria orgânica (M.O.)	g kg ⁻¹	1,20
Nitrogênio (N-org.)	g kg ⁻¹	0,10
Fósforo Assimilável (P)	g kg ⁻¹	0,20
pH em água (1:2,5)	-	5,80
CE da suspensão do solo – água (1:2,5) (CEsa)	dS m ⁻¹	0,80

Análises realizadas no Laboratório de irrigação e salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN/UFCG)

3.4. Genótipos

Estudaram-se, na pesquisa, duas cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.), denominadas, comercialmente, ‘Elba’ e ‘Irene’ (Figura 4), cujas sementes foram procedentes das Empresas TOPSEED e HORTIVALE, respectivamente. A ‘Elba’ é uma cultivar pertencente ao grupo “crespa”, que produz folhas, caracteristicamente, crespas e consistentes, com bordas franjadas, coloração normalmente verde-claro, de porte alto e compacto, sem formar cabeça; a ‘Irene’ é do grupo “americana”, com folhas crespas e grossas, folhas internas, de cor creme, imbricadas como as do repolho, consistentes e quebradiças, com nervura destacada e forma cabeça; essas cultivares são cultivadas na região Nordeste do Brasil (IAC, 2005).

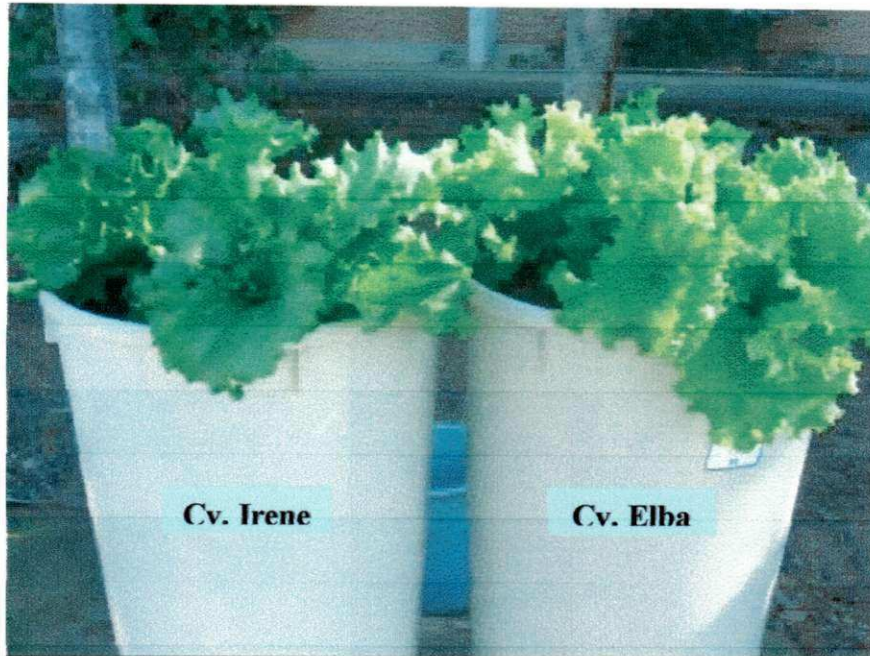


Figura 4 – Cultivares de alface

3.5. Recipientes

Foram utilizados vasos plásticos para cultivo das plantas de aproximadamente 40L de capacidade; cada vaso (altura de 50cm, diâmetro da base inferior de 30cm e abertura superior de 33cm) tinha uma mangueira transparente de 4mm de diâmetro conectada à sua base, para drenagem; quando presa à face externa do vaso, servia para acompanhar a profundidade do lençol freático em seu interior. A extremidade da mangueira que ficava dentro do vaso foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução pelo material de solo.

Os vasos (Figura 5) foram preenchidos, com uma camada de 4kg de brita + 11kg de material de solo (devidamente destorroado) + 41kg do mesmo solo adicionando-se a adubação de fundação. Deixaram-se 5cm livres na superfície do vaso, para facilitar a irrigação.

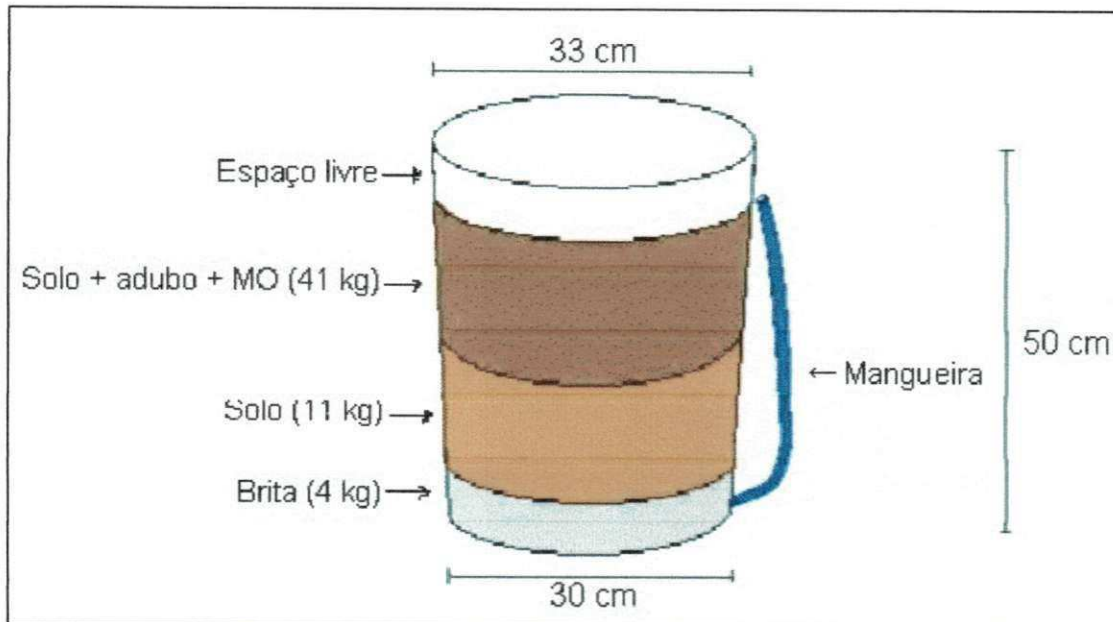


Figura 5 - Disposição das camadas de material usado no preenchimento dos vasos

3.6. Adubação

Realizou-se adubação construtiva de fertilidade do solo (fundação) para fósforo e potássio, baseada em metodologia contida em Viana (2000) que também trabalhou com alface cultivada em vasos (tubos de PVC de 21,21L de capacidade), constando de 22,79g de superfosfato simples e 0,72g de cloreto de potássio, misturados aos 41kg de material de solo da camada superior. Colocou-se, ainda, na mesma camada superior, matéria orgânica, na ordem de 2050g de húmus de minhoca.

Além da adubação de fundação, as plantas receberam, nos dois experimentos, adubação de cobertura à base de uréia e nitrato de potássio, conforme Viana (2000). O calendário de adubação contendo as quantidades de cada produto aplicadas nos Experimentos I e II, se encontra nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Calendário de adubação utilizado no Experimento I. Campina Grande, PB, 2007

03/08	04/08	05/08	06/08	07/08	08/08	09/08	10/08	11/08
U	N	U	N	N	U	*	*	N
12/08	13/08	14/08	15/08	16/08	17/08	18/08	19/08	20/08
N	U	N	N	U	N	N	U	N

U= 50mL de solução de uréia a 2,8g L⁻¹; N= 100mL de solução de nitrato de potássio a 1,6g L⁻¹;
* não foi realizada adubação devido à aplicação dos encharcamentos

Tabela 4 – Calendário de adubação utilizado no Experimento II. Campina Grande, PB, 2007

20/09	21/09	22/09	23/09	24/09	25/09	26/09	27/09	28/09
U	N	N	U	N	*	*	*	N
29/09	30/09	01/10	02/10	03/10	04/10	05/10	06/10	07/10
U	N	N	U	N	N	*	*	*
08/10	09/10	10/10	11/10					
U	N	N	U					

U= 50mL de solução de uréia a 2,8g L⁻¹; N= 100mL de solução de nitrato de potássio a 1,6g L⁻¹;
 * não foi realizada adubação devido à aplicação dos encharcamentos

3.7. Irrigação

As irrigações dos Experimentos I e II foram feitas com água do sistema local de abastecimento, duas vezes ao dia, no início da manhã e no final da tarde, com um volume médio, durante o período experimental, de 1,0L dia⁻¹ por vaso, garantindo-se uma drenagem de aproximadamente 10%. Para se obter esse volume, era realizada, diariamente, a coleta da água drenada através de um recipiente (garrafa), ao qual a mangueira ficava acoplada e o resultado era mensurado com utilização de uma proveta (1000mL); com base no volume drenado no dia anterior determinava-se o volume a ser aplicado em cada recipiente.

Durante a aplicação dos tratamentos, as plantas submetidas a encharcamento não eram irrigadas, voltando a sê-lo no momento em que o nível do lençol freático atingia a base do recipiente.

3.8. Experimento I

3.8.1. Tratamentos e delineamento estatístico

Estudou-se o efeito de duração de encharcamento do solo (DE₀= 0; DE₆= 6; DE₁₂= 12; DE₁₈= 18; DE₂₄= 24; DE₃₀= 30 e DE₃₆= 36 horas) nas duas cultivares de alface (Elba e Irene), formando um arranjo fatorial 7 x 2, no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições; a unidade experimental constou de uma planta na 1^a e 2^a amostragem e duas plantas na última amostragem.

Os tratamentos de encharcamento foram aplicados aos 17 dias após o transplante - DAT (09/08/2007), em virtude de ser esse o período mais crítico ao desenvolvimento da cultura sob inundação, identificado por Flecha (2004). O encharcamento foi realizado colocando-se água com becker graduado, de forma que entre 14:00 e 16:00h se aplicou um volume médio de aproximadamente 5,0L por vaso. Às 16:00h, todos os vasos estavam encharcados, ou seja, com o nível de água na altura da superfície do solo.

A hora considerada para o início do encharcamento foi às 16:00h e, a partir daí, a cada 6h era liberada a mangueira de drenagem do respectivo tratamento. A altura do lençol freático no interior do vaso era acompanhada através da mangueira, utilizada para controle do nível de água e para drenagem.

3.8.2. Semeadura e formação de mudas

Para obtenção de mudas, foi realizado semeio em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato industrializado, cujas características estão apresentadas na Tabela 1. Antes de ser colocado nas bandejas, o substrato foi lavado de forma a se reduzir a condutividade elétrica da água de drenagem a valores inferiores a $1,0\text{dS m}^{-1}$.

O semeio foi realizado em 2 de julho de 2007, às 16h, com duas sementes por célula, na profundidade de aproximadamente 0,5cm (Viana, 2000); as bandejas foram irrigadas duas vezes ao dia, até o transplante, com um volume de água que proporcionasse drenagem.

Três dias após o semeio iniciou-se a germinação, estendendo-se até o dia 15 de julho. O percentual de emergência variou entre as cultivares, da ordem de 89,5% para 'ELBA' e 84,5% para 'Irene'.

Realizou-se adubação foliar aos 18, 36, 46 e 56 dias após o semeio com o produto comercial "Albatrós"¹, na proporção de $1,8\text{g L}^{-1}$ (Viana, 2000), com uso de um pulverizador costal.

¹ Adubo foliar comercial "Albatrós" – Composição: N-7%; P₂O₅-17; K₂O-35%; MgO-3%; Ca-0,10%; B-0,02%; Cu-0,02%; Fe-0,15%; Mn-0,10%; Zn-0,02%; Mo-0,0005%. Quantidade suficiente para molhar totalmente as folhas até escorrer.

O desbaste foi realizado aos 18 dias após o semeio (20/07/2007), deixando-se uma plântula por célula, isto é, a que representava a média das plântulas da respectiva cultivar.

O controle das ervas daninha foi manual, tão logo surgiam.

Fez-se uma pulverização com o inseticida '(2-dimethylaminotrimethylene)-bis-(thiocarbamate)-hydrochloride' (nome comercial - CARTAP BR 500), ao final da tarde do dia 22/08/07, molhando-se a folhagem das plantas, visando ao controle de lagarta, na dose 1,2g L⁻¹.

O transplântio foi efetuado aos 21 dias após a sementeira (23/07/2007), data em que as plantas estavam com 4 a 5 folhas definitivas. Em cada vaso foram transplântadas quatro mudas, entre as de aspecto uniforme de cada cultivar.

3.8.3. Amostragem

Durante o Experimento I foram realizadas três avaliações (aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio – DAT) onde se determinou variáveis de crescimento e fisiológicas da alface. Aos 22 e 28 DAT foram coletadas uma planta por parcela e aos 38 DAT coletou-se duas plantas.

3.8.4. Variáveis de crescimento

As variáveis de crescimento analisadas foram número de folhas, diâmetro e altura de caule, fitomassas e área foliar.

3.8.4.1. Número de folhas (NF)

Na contagem de NF consideraram-se apenas as que estivessem expandidas, com comprimento mínimo de 5cm, cor verde típica da cultivar, desprezando-se as folhas secas rente ao solo (Viana, 2000) e aquelas cujo limbo foliar estava danificado em mais de 50%, por injúrias diversas.

3.8.4.2. Diâmetro (DC) e altura do caule (AC)

O diâmetro caulinar foi medido na região do colo da planta, após retirada de todas as folhas, utilizando-se de paquímetro analógico, com as leituras em mm.

A altura caulinar foi definida após a retirada das folhas, mensurando-se a distância entre o colo da planta e a inserção da bainha da primeira folha (mais nova), com leituras em mm.

3.8.4.3. Fitomassa

Avaliou-se a fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), através de pesagem em balança digital, instalada próxima ao experimento, tão logo a planta era colhida. Utilizou-se de balança com sensibilidade de 0,0001g, para a primeira análise e de 0,01g para as coletas finais, em razão do tamanho da planta dificultar o uso da balança com quatro casas decimais. Avaliaram-se, ainda, a fitomassa seca de folha (FSF), caule (FSC), parte aérea (FSPA), raiz (FSR) e total (FST) após secagem em estufa de ventilação forçada de ar, a 65 °C, até peso constante.

A fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) determinada aos 38 DAT corresponde à produção da alface, expressa em gramas.

3.8.4.4. Área foliar (AF)

Estimou-se a área foliar a partir de amostras de discos retirados de várias partes da folha, com ajuda de um vazador de área conhecida (0,20cm²); os discos e as demais partes das folhas foram colocados, separadamente, em sacos de papel e postos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante, conforme modelo a seguir, proposto por Fernandes (2002):

$$AF = \frac{FSF \cdot AD \cdot ND}{FSD} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: FSF – fitomassa seca das folhas (discos + restante do material) (g)

AD – área do disco (cm²)

ND – número de discos

FSD – fitomassa seca dos discos (g)

3.8.5. Coleta final

Foi realizada às 7:00 h do dia 30/08/2007, isto é, 38 dias após o transplântio das mudas, quando 2/3 das plantas estavam no “ponto de colheita”, segundo as características de cada cultivar. A haste de cada planta foi cortada rente ao solo, com auxílio de um estilete, e imediatamente se colocava a planta em saco plástico, fechando-se a abertura, conduzindo-a, em seguida, para pesagem da parte aérea, através de balança com precisão de 0,01g; após a pesagem realizaram-se as demais avaliações.

Na avaliação final, com utilização de jato d'água de uma mangueira, o sistema radicular foi cuidadosamente separado do solo e, posteriormente, lavado para retirada de todo o substrato. Esta operação foi feita sobre peneira, com malha fina, visando evitar a perda de massa radicular. Enfim, as plantas foram acondicionadas, individualmente, em sacos de papel, devidamente identificados, e postos para secar em estufa a 65 °C, até massa constante. O sistema radicular nas duas avaliações iniciais foi retirado minuciosamente do solo, evitando afetar as raízes das plantas que continuavam no vaso, e foi submetida ao processo de limpeza e secagem descrito para a última avaliação.

3.8.6. Variáveis fisiológicas

A relação raiz/parte aérea e razão de área foliar foram determinadas aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT); as taxas de crescimento relativo e absoluto foram avaliadas nos períodos compreendidos entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 DAT.

As plantas usadas para a avaliação aos 17 DAT (dia de aplicação dos tratamentos) eram provenientes de vasos reservas existentes na área experimental, recebendo os mesmos cuidados das demais plantas.

3.8.6.1. Relação raiz/parte aérea (R/PA)

Obteve-se R/PA pelo quociente entre a fitomassa seca das raízes (FSR) e a fitomassa seca da parte aérea da planta (FSPA), segundo a equação extraída de Magalhães (1985):

$$R/PA = \frac{FSR}{FSPA} \quad (\text{Eq. 2})$$

3.8.6.2. Razão de área foliar (RAF)

Através dos dados de área foliar (AF) e fitomassa seca total (FST), determinou-se a RAF, conforme equação contida em Ferri (1985):

$$RAF = \frac{AF}{FST} \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)} \quad (\text{Eq. 3})$$

3.8.6.3. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

Foi determinada com base na fitomassa seca da parte aérea, avaliada em duas datas. De acordo com Benincasa (2003), a TCA é a variação ou o incremento entre duas amostragens, em dois períodos de tempo, ao longo do ciclo da cultura, conforme o modelo a seguir:

$$TCA = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \text{ (g dia}^{-1}\text{)} \quad (\text{Eq. 4})$$

sendo:

P_1 – fitomassa seca no tempo T_1

P_2 – fitomassa seca no tempo T_2

3.8.6.4. Taxa de crescimento relativo (TCR)

É a medida mais apropriada para se avaliar o crescimento vegetal, em razão de ser dependente do material que está sendo acumulado. Segundo Benincasa (2003), a TCR de uma planta ou órgão da planta, depende do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas, no caso de matéria seca, está relacionado ao peso da matéria seca no instante em que se inicia o período de observação; foi determinada utilizando-se da seguinte equação:

$$TCR = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{T_2 - T_1} \text{ (g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}\text{)} \quad (\text{Eq. 5})$$

3.8.7. Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste ‘F’. Nos casos de significância, foram realizadas análise de regressão polinomial e/ou segmentada (modelo platô) (linear e quadrática) para o fator “duração do encharcamento”, e o teste de comparação de médias (Tukey ao nível de $p < 0,05$) para o fator cultivar (Ferreira, 2000). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL (Lavras, MG).

Na Tabela 5 tem-se o modelo de análise de variância (ANAVA) utilizado no Experimento I.

Tabela 5 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento I, para as avaliações realizadas aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT)

Função de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	
Cultivar (C)	1	
Duração do encharcamento (DE)	6	
Reg. Pol. Linear	1	
Reg. Pol. Quadr.	1	
Desvio	4	
C x DE	6	
Resíduo	26	
CV (%)		
Médias		
Cultivar		
Elba		
Irene		
Duração do encharcamento		
0		
6		
12		
18		
24		
30		
36		

3.9. Experimento II

3.9.1. Tratamentos e delineamento estatístico

No Experimento II foram realizadas 3 avaliações; as duas primeiras ocorreram aos 5 e 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr) de anoxia e a avaliação final foi aos 20 DATr; portanto foi diferente do realizado no Experimento I cujas avaliações aconteceram em datas (dias) após transplântio. Esta mudança foi feita para que as plantas tivessem no ato da análise o mesmo número de dias de recuperação pós-estresse.

Aos 5 e 10 DATr estudaram-se o efeito de cinco duração do encharcamento do solo ($DE_0=0$; $DE_{12}=12$; $DE_{24}=24$; $DE_{36}=36$ e $DE_{48}=48$ horas) combinados a duas cultivares de alface (Elba e Irene), formando um arranjo fatorial 5×2 ; na avaliação aos 20 DATr analisaram-se quatro durações do encharcamento do solo ($DE_{12}=12$; $DE_{24}=24$; $DE_{36}=36$ e $DE_{48}=48$ horas), duas cultivares (Elba e Irene) e duas variações de encharcamento (um – NE_1 e dois encharcamentos – NE_2), formando um esquema fatorial $(4 \times 2 \times 2) + 2$ testemunhas. O Experimento II constou de delineamento estatístico de blocos casualizados com três repetições, onde cada unidade experimental se compunha de quatro plantas distribuídas no vaso de forma equidistante.

Os tratamentos ‘número de encharcamento’ (NE_1 e NE_2) foram realizados aos 12 e 22 dias após o transplântio; estes ocorreram a partir do dia 25/09/2007, de maneira que entre 05:00 e 08:00h se aplicou um volume médio de aproximadamente 5,0L por vaso; às 08:00h todos os vasos estavam encharcados, isto é, com um nível de água na altura da superfície do solo. A partir desse horário, a cada 12h era liberada a mangueira de drenagem do respectivo vaso. A forma de aplicação da água e o acompanhamento à altura do lençol freático foram semelhante ao Experimento I.

3.9.2. Instalação e condução do experimento

Instalou-se o trabalho na mesma área em que se conduziu o Experimento I; a semeadura foi feita em tubetes plásticos, com capacidade de 288mL, dispostos em bandejas, contendo 54 unidades (células). No enchimento dos tubetes se usaram 3/4 de

substrato comercial e 1/4 do material de solo, cujas características se encontram nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Realizou-se a sementeira no dia 23/08/2007, às 16h, com três sementes por tubete, a uma profundidade de 0,5cm (Viana, 2000); foram semeadas 03 bandejas por cultivar; as irrigações, nesta fase, foram semelhantes às do Experimento I.

Diferente do primeiro experimento, a germinação se iniciou 2 dias após o semeio, prolongando-se até o dia 30/08/2007, atingindo 91,6% na cv. Elba e 90,7% na Irene.

O desbaste das plântulas foi realizado aos oito dias após o semeio – DAS (31/08/2007), deixando-se uma plântula por tubete, justamente a que representava a média de cada cultivar.

O transplântio foi efetuado no dia 13/09/2007 (21 DAS) data em que as plantas estavam com 5 folhas definitivas, em média; em cada vaso se transplantaram quatro plântulas, as de tamanho uniforme, com distribuição equidistante das mudas na superfície do vaso.

A adubação foliar e os tratos culturais foram realizados da mesma forma que no Experimento I.

3.9.3. Variáveis de crescimento

As variáveis de crescimento número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), altura de caule (AC), fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), fitomassa seca de folha (FSPA), fitomassa seca de caule (FSC), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e área foliar (AF) foram avaliadas aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr); já as variáveis fitomassa seca de raiz (FSR) e total (FST) foram avaliadas apenas aos 20 DATr. Nas primeira e segunda avaliações, os dados foram oriundos de uma planta por parcela e, na última análise, de duas plantas por parcela.

A metodologia para determinação dessas variáveis foi a mesma do Experimento I.

3.9.4. Coleta final

Iniciou-se no dia 15/10/2007, ou seja, 32 dias após o transplântio (DAT) das mudas. A metodologia empregada para a realização da colheita assim como para a coleta das raízes, foi a mesma do primeiro Experimento; no entanto, neste experimento só se realizou a avaliação de raízes na coleta de plantas, ao final do experimento, onde coletou-se duas plantas e a partir das médias fez-se as análises estatísticas. Não foi observado na avaliação final, restos de raízes provenientes das plantas coletadas para as duas avaliações iniciais.

3.9.5. Variáveis fisiológicas

A relação raiz/parte aérea (R/PA) e razão de área foliar (RAF) foram estudadas aos 20 dias após a aplicação do encharcamento (DATr). As taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) foram avaliadas entre os períodos de 0 (data de aplicação do tratamento) a 5, 5 a 10 e 10 a 20 DATr; a metodologia para determinação dessas variáveis foi a mesma usada para o Experimento I.

As plantas usadas para a avaliação na data de aplicação dos tratamentos eram provenientes de vasos reservas existentes na área experimental, onde estas plantas receberam os mesmo cuidados das demais.

Determinou-se, ainda, a taxa de assimilação líquida - TAL (matéria seca por unidade de área foliar, e por unidade de tempo) aos 20 DATr, pela seguinte equação:

$$TAL = \frac{TCR}{RAF} \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1} \quad (\text{Eg. 6})$$

em que: TCR – taxa de crescimento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)

RAF – razão de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)

3.10. Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados através da análise de variância (ANAVA) pelo teste “F”, tanto para o fatorial quanto para o fatorial versus testemunha; nos casos de significância para a ANAVA do fatorial, realizou-se análise de regressão polinomial (linear e quadrática) e/ou segmentada (modelo platô) para o fator “duração do

encharcamento”, e o teste de comparação de médias (Tukey) para o fator cultivar e tipo de encharcamento; havendo significância para a ANAVA entre fatorial e a testemunha, realizou-se contraste ortogonal (Ferreira, 2000).

Em função de se ter no segundo experimento dois arranjos fatoriais distintos, a ANAVA para as avaliações realizadas aos 5, 10 DATr seguiram o seguinte modelo apresentado na Tabela 6 e aos 20 DATr na Tabela 7. Pode-se observar que os graus de liberdade variaram de acordo com as avaliações.

Tabela 6 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento II, para as avaliações realizadas aos 5, 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr)

Função de Variação	GL	Quadrado médio	
		5 DATr	10 DATr
Bloco	2		
Cultivar (C)	1		
Duração do encharcamento (DE)	4		
Reg. Pol. Linear	1		
Reg. Pol. Quadr.	1		
Desvio	2		
C x DE	4		
Tratamento	(14)		
Resíduo	18		
CV (%)			
		Valores médios	
Cultivar			
Elba			
Irene			

Tabela 7 – Modelo do quadro de análise de variância usado no Experimento II, para a avaliação realizada aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DATr)

Função de Variação	GL	Quadrado médio 20 DATr
Bloco	2	
Cultivar (C)	1	
Duração do encharcamento (DE)	3	
Reg. Pol. Linear	1	
Reg. Pol. Quadr.	1	
Reg. Pol. Cúbica	1	
C x DE	3	
Número e encharcamento (NE)	1	
C x NE	1	
DE x NE	3	
DE x NE x C	3	
Trat x Test. Elba	1	
Trat x Test. Irene	1	
Tratamento	(17)	
Resíduo	28	
CV (%)		
		Valores médios
Cultivar		
Elba		
Irene		
Número de encharcamento		
Um (NE ₁)		
Dois (NE ₂)		

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I

4.1.1. Número de folhas (NF)

Constatou-se efeito significativo ($p < 0,01$) da duração do encharcamento (DE) sobre o número de folhas, apenas na última época de avaliação, coincidindo com o período de colheita; isto é, só no final do ciclo foram identificados os efeitos da anoxia sobre o número de folhas da alface. Como não foi significativa a interação (C x DE), esse efeito foi comum às duas cultivares (Tabela 8). Nota-se que nas duas primeiras avaliações foi muito pequena a variação de NF entre tratamentos, mas, no período entre 28 e 38 dias após o transplante das mudas (DAT), surgiram os efeitos do estresse da falta de oxigênio, reduzindo a emissão foliar (Figura 6C); vale ressaltar que neste experimento o menor número de folhas, aos 38 DAT, não resultou de abscisão ou de secamento foliar, como se refere Baruch (1994), como um dos sintomas que surgem em plantas sob condições de deficiência de oxigênio do solo, iniciando-se com epinastia foliar. Analisando-se os dados obtidos nas três avaliações, constata-se que aos 22 e 28 DAT as reduções em NF, entre o tratamento testemunha (DE₀) e o de maior estresse (DE₃₆), foram 8,33% e 8,74%, respectivamente, aumentando para 13,71% por ocasião da colheita (38 DAT).

De acordo com as análises de regressão, o modelo a que melhor se ajustaram os dados, aos 38 DAT, foi o de regressão segmentada, também denominado 'modelo platô' (Figura 6A). Pelo modelo de regressão segmentada a deficiência de O₂ começou a afetar NF, a partir de 7,87 horas de duração do encharcamento, com decréscimo de 0,097 folhas por cada hora de encharcamento (incremento unitário em DE). Segundo Reid & Bradford (1984), em plantas em condições de estresse anoxítico ocorre diminuição da síntese e da translocação de fitorreguladores de crescimento, como

giberelinas e citocininas, do sistema radicular para a parte aérea, alterando os mecanismos naturais de emissão e de manutenção de folhas.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para número de folhas (NF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	NF 22	NF 28	NF 38
Bloco	0,500000 ^{ns}	2,000000 ^{ns}	1,500000 ^{ns}
Cultivar (C)	1,523810 ^{ns}	2,380952 ^{ns}	52,595238 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,650794 ^{ns}	1,301587 ^{ns}	9,436508 ^{**}
Reg. Pol. Linear	-	-	35,2917 ^{**}
Reg. Pol. Quadr.	-	-	13,6687 ^{**}
Desvio	-	-	1,9147 ^{ns}
C x DE	1,079365 ^{ns}	0,269841 ^{ns}	0,484127 ^{ns}
Resíduo	0,525641	0,897436	0,830128
CV (%)	11,53	9,61	4,60
	Médias (mm)		
Cultivar			
Elba	6,09	10,10	19,05a
Irene	6,47	9,62	16,81b
Duração do encharcamento			
0	6,50	10,33	18,00
6	6,50	10,50	19,67
12	6,17	9,17	19,00
18	6,83	10,00	18,00
24	6,00	9,83	18,00
30	6,00	9,67	17,00
36	6,00	9,50	15,83

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Verifica-se, através do teste de comparação de médias (Tabela 8 e Figura 6B) que a cultivar Elba formou um número de folhas significativamente maior que a ‘Irene’ aos 38 DAT, o que pode ser uma característica própria da cultivar. Não foram significativas as diferenças entre cultivares até 28 DAT, diferenciando-se apenas nos últimos 10 dias do ciclo, independente do fator encharcamento.

Não se encontraram na literatura, resultados de pesquisa abordando, diretamente, os efeitos de anoxia sobre número de folhas, mesmo de outras espécies. Severino et al. (2004), trabalhando com a mamoneira submetida a encharcamento de solo, por períodos variando entre 0 e 10 dias, constataram, em função do aumento do

tempo de exposição ao encharcamento, que as folhas das plantas murcharam, secaram por inteiro e, finalmente, caíram.

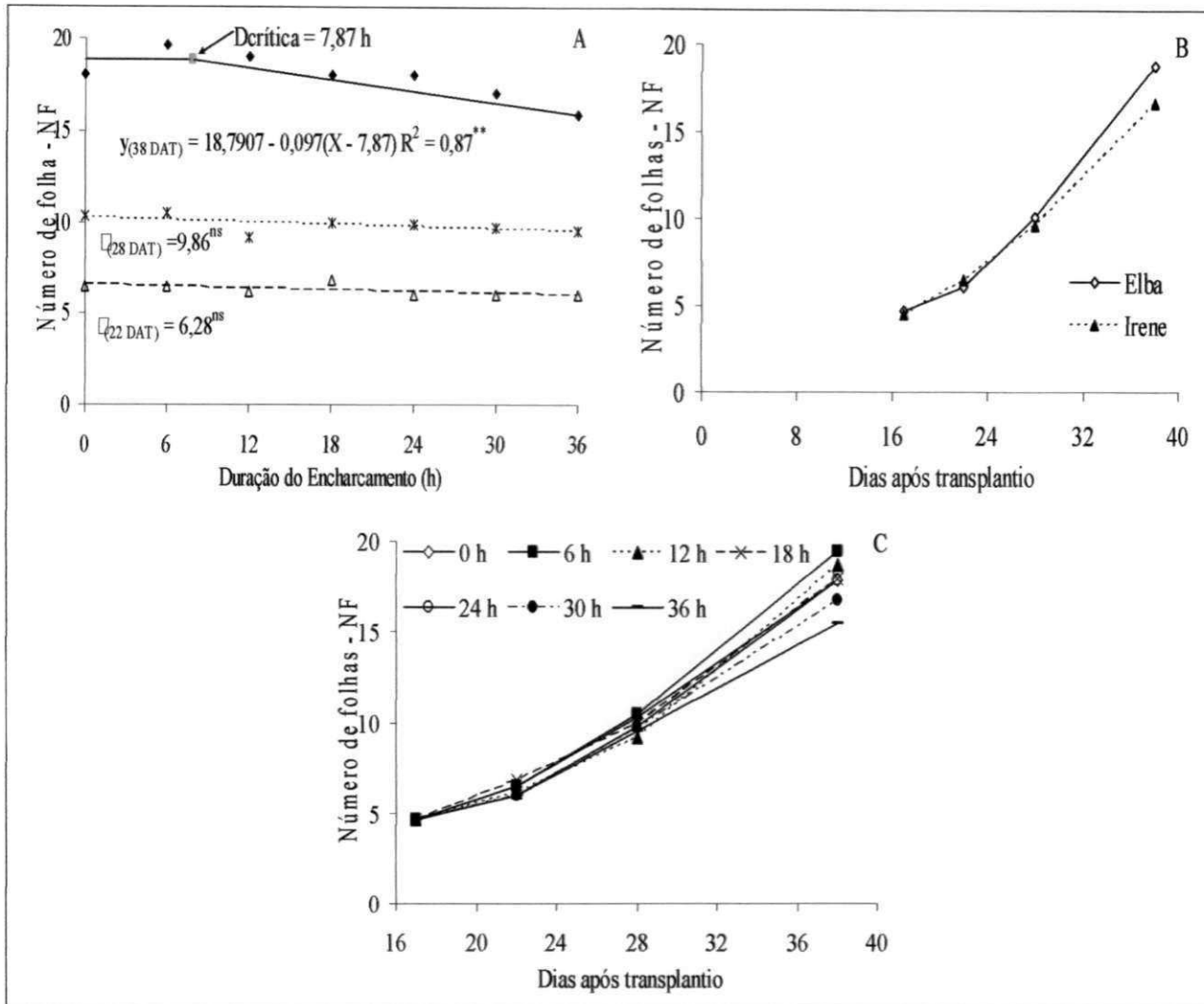


Figura 6 – Número de folhas (NF) de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal do NF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.2. Diâmetro do caule (DC)

De acordo com a análise de variância dos dados (Tabela 9), o diâmetro do caule foi afetado significativamente ($p < 0,01$) pelo encharcamento, nas três avaliações. Conforme os estudos de regressão para DC, o efeito aos 22 DAT foi quadrático, havendo decréscimo entre DE_0 e DE_{36} de 9,73%; já aos 28 e 38 DAT os dados se ajustaram melhor ao modelo linear, havendo redução do DC por aumento unitário da duração do encharcamento de 0,64% e 0,39%, respectivamente (Figura 7A). Flecha (2004), estudando o efeito de três períodos de encharcamento (12, 22 e 32 dias após o transplantio - DAT) e velocidades de rebaixamento do lençol freático (30cm em 24, 48,

72 e 96 horas) também verificou redução do 'DC' das plantas submetidas à encharcamento, sendo a época inicial (12 DAT) combinado à velocidade de rebaixamento (30cm em 96 horas) a mais crítica.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para diâmetro do caule (DC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	DC 22	DC 28	DC 38
Bloco	0,926667 ^{ns}	1,030714 ^{ns}	0,728988 ^{ns}
Cultivar (C)	2,986667 ^{ns}	0,571667 ^{ns}	10,400238 ^{**}
Duração de encharcamento (DE)	3,018810 ^{**}	4,927222 ^{**}	4,134980 ^{**}
Reg. Pol. Linear	2,625000 ^{ns}	26,164821 ^{**}	23,587515 ^{**}
Reg. Pol. Quadr.	14,00000 ^{**}	0,244464 ^{ns}	0,162505 ^{ns}
Desvio	0,371964 ^{ns}	0,788512 ^{ns}	0,264965 ^{ns}
C x DE	0,440556 ^{ns}	0,685000 ^{ns}	0,332599 ^{ns}
Resíduo	3,088082	1,256099	0,758091
CV (%)	11,91	12,38	5,92
	Médias (mm)		
Cultivar			
Elba	7,82	8,93	15,21a
Irene	8,36	9,17	14,21b
Duração do encharcamento			
0	7,43	10,25	15,81
6	8,72	9,80	15,29
12	8,57	9,15	15,18
18	8,85	9,18	14,94
24	8,30	9,25	14,48
30	7,80	7,95	13,66
36	6,97	7,77	13,63

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

As médias contendo a variação espacial do DC para cada cultivar e duração de encharcamento estão na Tabela 9 e Figura 7B e 7C, respectivamente. Entre as cultivares, não se notou diferença significativa no diâmetro do caule, nas duas avaliações iniciais; no entanto, através do teste de média na última data (38 DAT), a Elba apresentou aumento significativo no diâmetro caulinar em relação à Irene. Não houve interação significativa entre os fatores (DE e cultivares), o que é um indicativo de que o estresse anoxítico sobre o DC independe da cultivar.

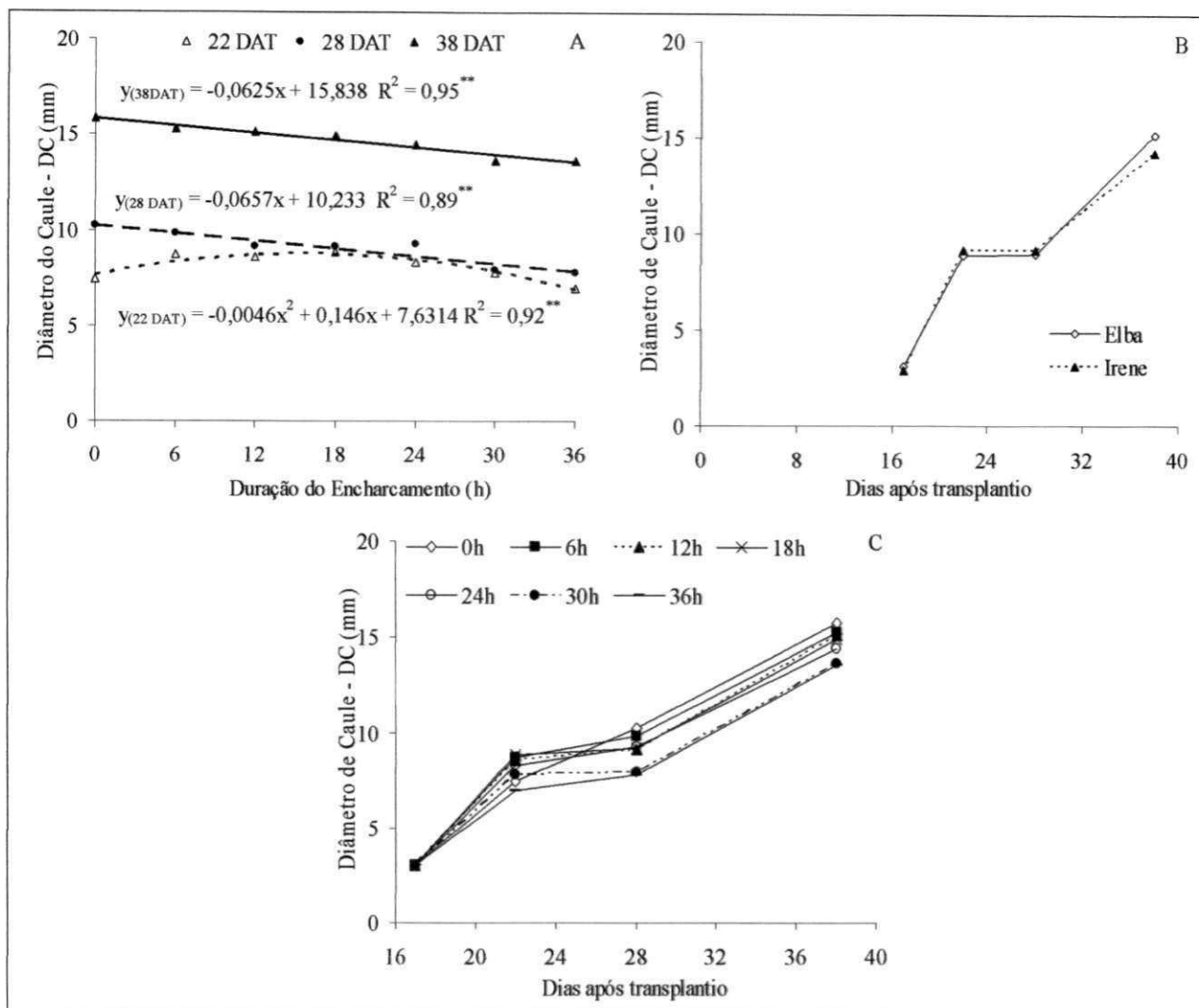


Figura 7 – Diâmetro do caule (DC) da alfaca em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal do DC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.3. Altura do caule (AC)

Apresenta-se, na Tabela 10 o resumo da análise de variância referente a altura do caule, constatando-se efeito significativo ($p < 0,01$) da duração do encharcamento (DE) somente na avaliação final (38 DAT). Verifica-se a partir da equação de regressão (Figura 8A) que embora tenha se detectado efeito significativo para o modelo linear, não se deve considerar este resultado devido ao baixo valor do coeficiente de determinação. Portanto, a altura do caule não foi afetada significativamente pelo encharcamento, em todas as avaliações. Este resultado foi diferente do encontrado por Flecha (2004) que constatou haver decréscimos significativos na altura de plantas de alfaca quando expostas ao encharcamento do solo; sendo os decréscimos em relação à testemunha, superiores aos 12 dias após o

transplântio. Trabalhando com algodão herbáceo sob encharcamento do solo (0, 3, 5, 8 e 11 dias de exposição ao estresse), Queiroz et al. (2005) verificaram que o crescimento das plantas foi bastante afetado pela aplicação do estresse, o que também discorda do encontrado nesta pesquisa.

Observa-se, pelo teste de comparação de médias (Tabela 10), que houve diferença significativa da altura caulinar entre as cultivares apenas aos 38 DAT, onde a Elba foi maior que a Irene; no entanto, as médias das demais datas estudadas também expressam ser a Elba superior em relação a AC. Na Figura 8B tem-se uma visualização melhor do comportamento das cultivares com o tempo. Verifica-se que a diferença entre as duas cultivares em relação AC aos 38 DAT foi bem mais expressiva que em relação as variáveis NF e DC, isso pode ter ocorrido devido a 'Elba' ter como característica própria o porte alto enquanto a 'Irene' tende a formar cabeça.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para altura do caule (AC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	AC 22	AC 28	AC 38
Bloco	0,025417 ^{ns}	10,978988*	34,253036**
Cultivar (C)	0,004821 ^{ns}	9,957202 ^{ns}	978,268810**
Duração do encharcamento (DE)	0,016448 ^{ns}	6,013472 ^{ns}	10,680060**
Reg. Pol. Linear	-	-	31,590015**
Reg. Pol. Quadr.	-	-	2,000124 ^{ns}
Desvio	-	-	7,622555*
C x DE	0,010099 ^{ns}	2,453313 ^{ns}	5,111726 ^{ns}
Resíduo	0,018750	2,888988	2,594125
CV (%)	22,25	17,69	7,19
	Médias (mm)		
Cultivar			
Elba	6,260	10,095	27,233a
Irene	6,050	9,121	17,581b
Duração do encharcamento			
0	0,700	11,650	23,258
6	0,650	10,092	23,992
12	0,558	8,750	23,375
18	0,600	9,350	22,692
24	0,633	9,233	20,133
30	0,550	9,350	21,342
36	0,617	8,833	22,058

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

A ausência de interação significativa, também para AC, denota que o efeito de 'DE' sobre 'C' ocorre de modo semelhante (Tabela 10).

Reid & Bradford (1984), citam que o menor crescimento das plantas submetidas a alagamento está relacionado a alterações no metabolismo e transporte de hormônios, pois nas plantas os hormônios promotores de crescimento se apresentam diminuídos, enquanto os hormônios inibidores de crescimento têm seus níveis aumentados. Para as cultivares Elba e Irene nas condições em que foi desenvolvido esse trabalho, o efeito da DE sobre as mesmas quanto a AC não foi constatado.

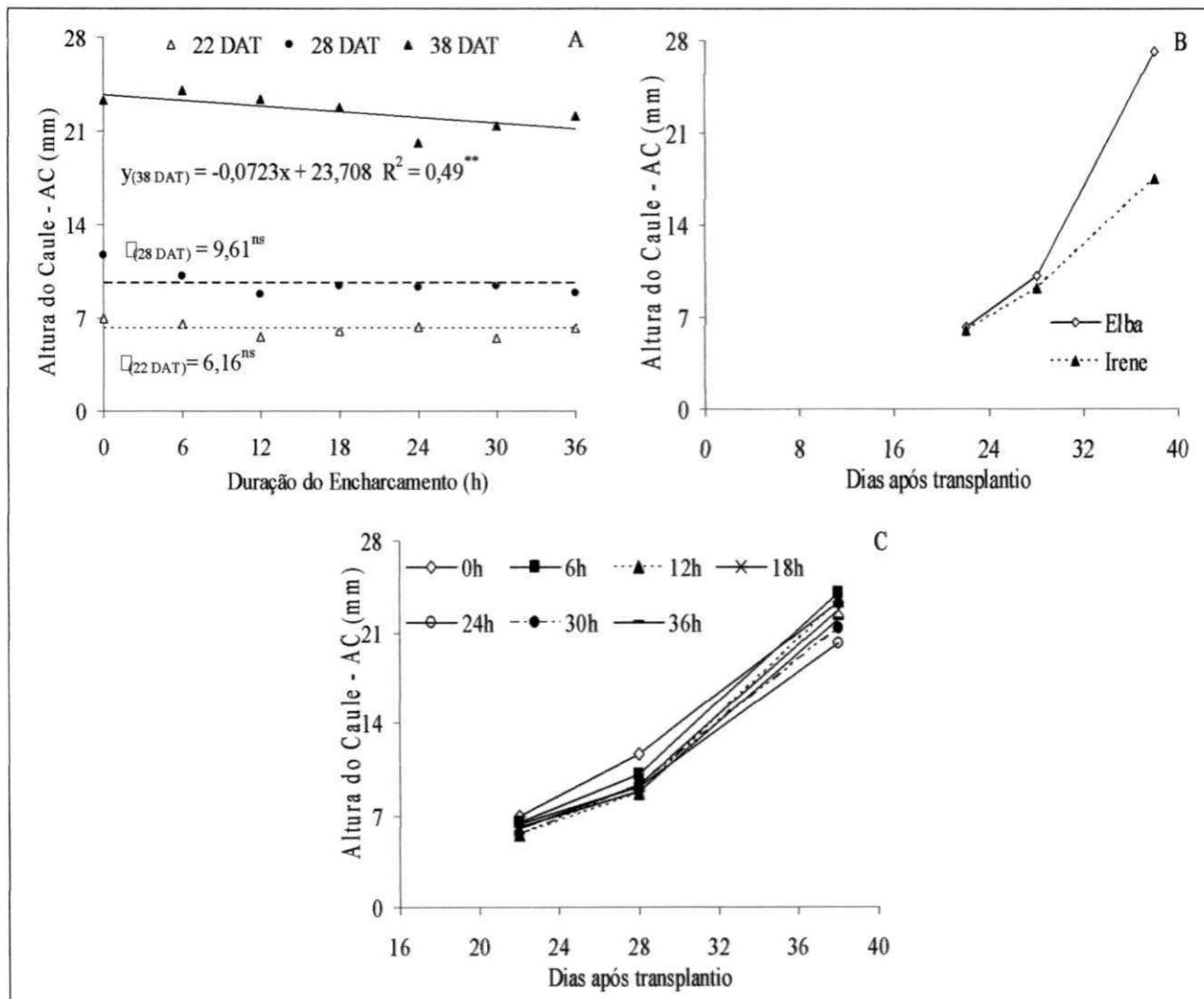


Figura 8 – Altura do caule (AC) da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da AC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.4. Fitomassa fresca (FFPA) e seca (FSPA) da parte aérea

O fator duração do encharcamento 'DE' afetou a fitomassa fresca e seca da parte aérea, a nível de 1% de probabilidade (Tabelas 11 e 12, respectivamente) com reduções lineares nas três épocas de avaliação (22, 28 e 38 DAT), exceto para FSPA aos 38 DAT, cujos resultados não foram significativos. Conforme análise de regressão, o encharcamento do solo afetou a FFPA, provocando decréscimos de 1,31%, 1,15% e 0,64% aos 22, 28 e 38 DAT, respectivamente, por aumento unitário (hora) da duração do encharcamento (Figura 9A); observa-se que no momento da colheita (38 DAT) houve um decréscimo de 23,09% na massa fresca das plantas que foram submetidas a 36 horas de encharcamento, o que do ponto de vista econômico é um valor bastante elevado devido esta hortaliça ser comercializada com base no peso fresco. A FSPA das plantas teve decréscimos por aumento unitário do tempo de encharcamento de 1,53% e 1,09% aos 22 e 28 DAT, respectivamente (Figura 10A), no entanto, verifica-se que no momento da colheita as plantas tinham se recuperado de forma a não haver diferença significativa em função da DE.

Baseado nos decréscimos citados para FFPA e FSPA, verifica-se que a tolerância da alface cv. Elba e Irene, frente ao aumento do período de sua exposição ao encharcamento, foi crescente com o tempo. Flecha (2004) observou quando da avaliação da cultivar Verônica sob deficiência de O₂ do solo, que o encharcamento realizado período inicial (12 DAT), proporcionaram os maiores decréscimos da fitomassa; este verificou ainda em encharcamentos realizados aos 22 e 32 DAT, que as plantas denotaram maior tolerância ao estresse, no entanto, os resultados de fitomassa das plantas sob encharcamento foram inferiores ao da testemunha.

O efeito da anoxia sobre as culturas é variável durante seu ciclo vegetativo (Bresler et al, 1982); neste experimento, nota-se que isto ocorreu uma vez que, com o passar do tempo, as cultivares continuaram seu crescimento e reduziram a diferença em relação a quantidade de massa fresca em comparação com a testemunha. Apesar das plantas denotarem certa tolerância pós anoxia observa-se, pelos resultados aos 38 DAT, redução de 61,13g da massa fresca em plantas submetidas a DE₃₆ em relação a DE₀.

Conforme médias observadas na Tabela 11 para FFPA aos 38 DAT, verifica-se que as plantas com o aumento do tempo de exposição ao encharcamento foram reduzindo a produção; analisando os dados da FFPA deste experimento e comparando com classificação da alface sugerida pela CEAGESP (2001), verifica-se que as plantas

submetidas a duração de encharcamento de até 12 horas estão inseridas na Classe 25 (250 a 300g) enquanto que as submetidas aos demais tratamentos insere-se na Classe 20 (200 a 250g); quanto maior a Classe, melhor o preço adquirido.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FFPA 22	FFPA 28	FFPA 38
Bloco	17,176250*	212,195952**	1523,147005 ^{ns}
Cultivar (C)	0,482143 ^{ns}	292,300952**	363304,03645**
Duração do encharcamento (DE)	34,403730**	286,250060**	3053,228623**
Reg. Pol. Linear	188,807202**	1612,930372**	17439,421115**
Reg. Pol. Quadr.	0,194464 ^{ns}	6,988934 ^{ns}	35,689492 ^{ns}
Desvio	4,355179 ^{ns}	24,395263 ^{ns}	211,065282 ^{ns}
C x DE	1,456587 ^{ns}	34,088869 ^{ns}	705,449668 ^{ns}
Resíduo	4,475160	26,827106	527,493082
CV (%)	20,58	14,46	9,81
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	10,171	33,171b	141,222b
Irene	10,386	38,448a	327,234a
Duração do encharcamento			
0	13,550	44,550	262,838
6	13,100	42,700	252,187
12	10,200	37,550	253,230
18	9,812	36,333	232,571
24	9,883	35,733	218,468
30	8,717	27,292	218,533
36	6,683	26,508	201,768

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Viana (2000) conduzindo experimento com alface (cv. Elba) submetida a estresse salino, constatou decréscimo linear na FFPA quando da exposição das plantas a níveis de salinidade variando de 0,3 a 3,8dS.m⁻¹, obtendo uma redução de 9,25% na FFPA aos 30 DAT, para as plantas irrigadas com água de 1,7dS.m⁻¹, condutividade esta considerada alta para a sobrevivência da maioria das plantas. Os dados apresentados por Viana indicam que, sob estresse salino, as plantas também tiveram tolerância crescente com o passar do tempo. Comparando esses resultados com o presente trabalho, verifica-se que as plantas submetidas a estresse anoxítico (exposição por 18 e 36 horas), apresentaram reduções significativas da FFPA de 11,54% e 23,09%, respectivamente

indicando, com isto, que as plantas foram bem mais sensíveis ao estresse por deficiência de O₂ do solo que ao salino.

Diferente dos resultados apresentados para as outras variáveis, a cv. Irene produziu significativamente mais FFPA que a Elba, nas duas últimas épocas de avaliação (Tabela 11 e Figura 9B); na primeira data não houve efeito significativo; no entanto, as médias de Irene foram superiores, o que mostra que esta cultivar possui um maior teor de umidade nas folhas. Este fato é bastante importante já que a alface é comercializada com base no peso fresco. Conforme IAC (2005) as cultivares do grupo americana, onde entre elas temos a Irene, possuem folhas grossas e nervuras protuberantes, o que favorece uma maior fitomassa, o que pode a priori justificar a superioridade da mesma em relação a Elba. Analisando-se as cultivares em relação às variáveis estudadas no momento da colheita, constata-se ocorrer a maior diferença entre as mesmas para a variável FFPA.

Pode-se verificar na Tabela 11 e Figura 9C o grande incremento da fitomassa fresca das cultivares nos dez últimos dias que antecederam a colheita, ocorrendo em Irene um aumento médio diário de 28,88g e em Elba 10,81g, estas informações são bastante importantes quando dos cuidados com relação ao manejo da cultura neste período.

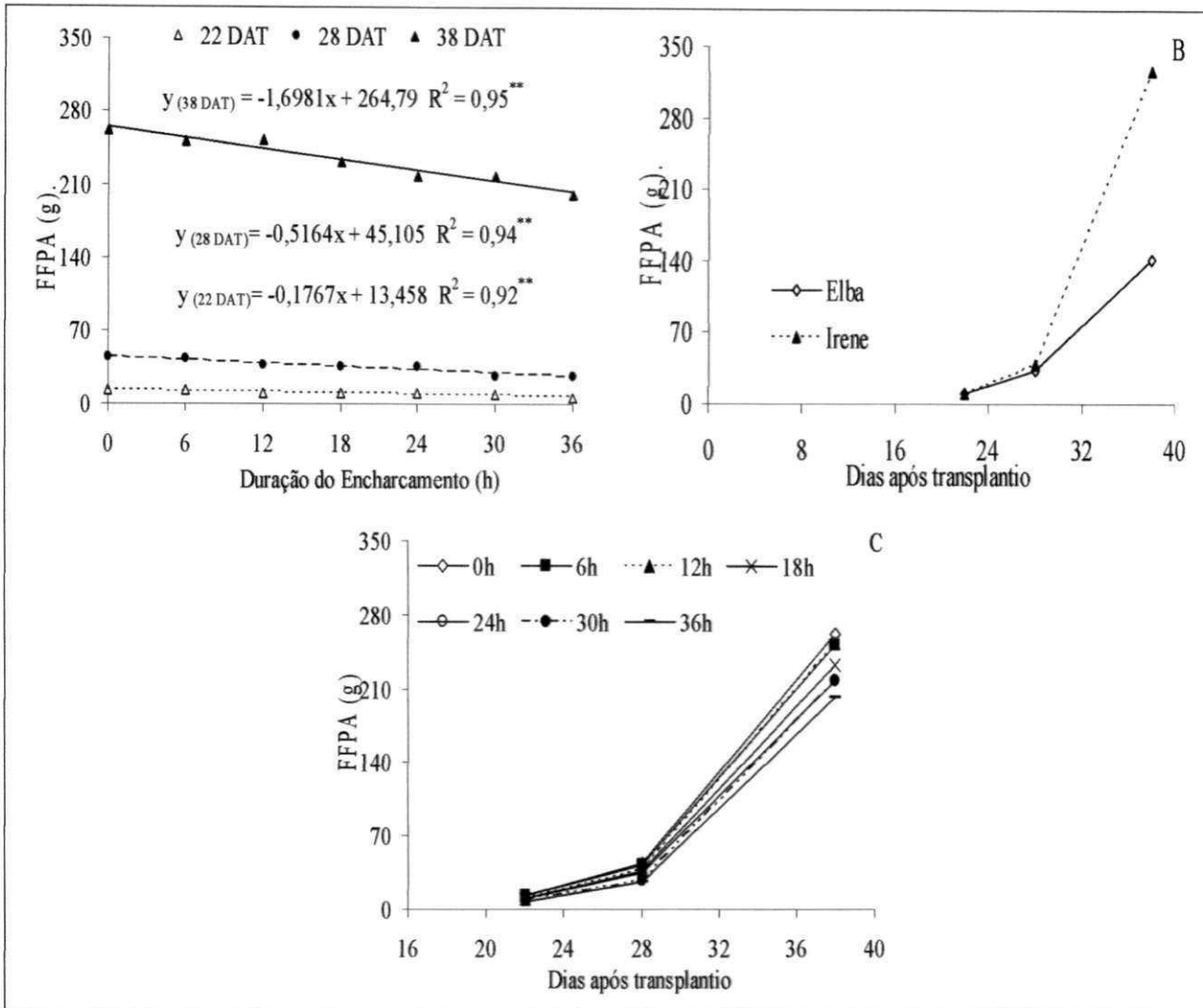


Figura 9 – Fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FFPA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

Em relação à FSPA, os dados médios apresentados (Tabela 12 e Figura 10B) dão conta que a cv. Elba foi significativamente superior à Irene, aos 38 DAT; nas demais datas não houve diferença estatística. Analisando-se os dados referente a FFPA e FSPA, denota-se que no ato da colheita a parte aérea da Elba apresenta menor teor de umidade e maior massa seca nas folhas, que a Irene.

O efeito do fator 'DE' sobre as cultivares Elba e Irene, ocorreu de modo independente, tanto para FFPA como para FSPA, fato verificado através do resultado da interação, que apontou ausência de significância (Tabelas 11 e 12, respectivamente).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca da parte aérea (FSPA) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSPA 22	FSPA 28	FSPA 38
Bloco	0,057156*	0,568371**	3,095545 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000978 ^{ns}	0,163382 ^{ns}	20,749959**
Duração do encharcamento (DE)	0,126612**	0,726583**	2,124548 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,694196**	4,258138**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,013998 ^{ns}	0,000427 ^{ns}	-
Desvio	0,012869 ^{ns}	0,025234 ^{ns}	-
C x DE	0,002975 ^{ns}	0,093687 ^{ns}	0,446408 ^{ns}
Resíduo	0,012691	0,064703	0,935411
CV (%)	22,15	13,05	14,20
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,504	1,887	7,513a
Irene	0,513	2,011	6,107b
Duração do encharcamento			
0	0,653	2,416	7,341
6	0,696	2,341	7,495
12	0,568	2,033	7,038
18	0,479	1,906	6,944
24	0,483	1,843	6,748
30	0,409	1,655	6,328
36	0,273	1,450	5,778

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

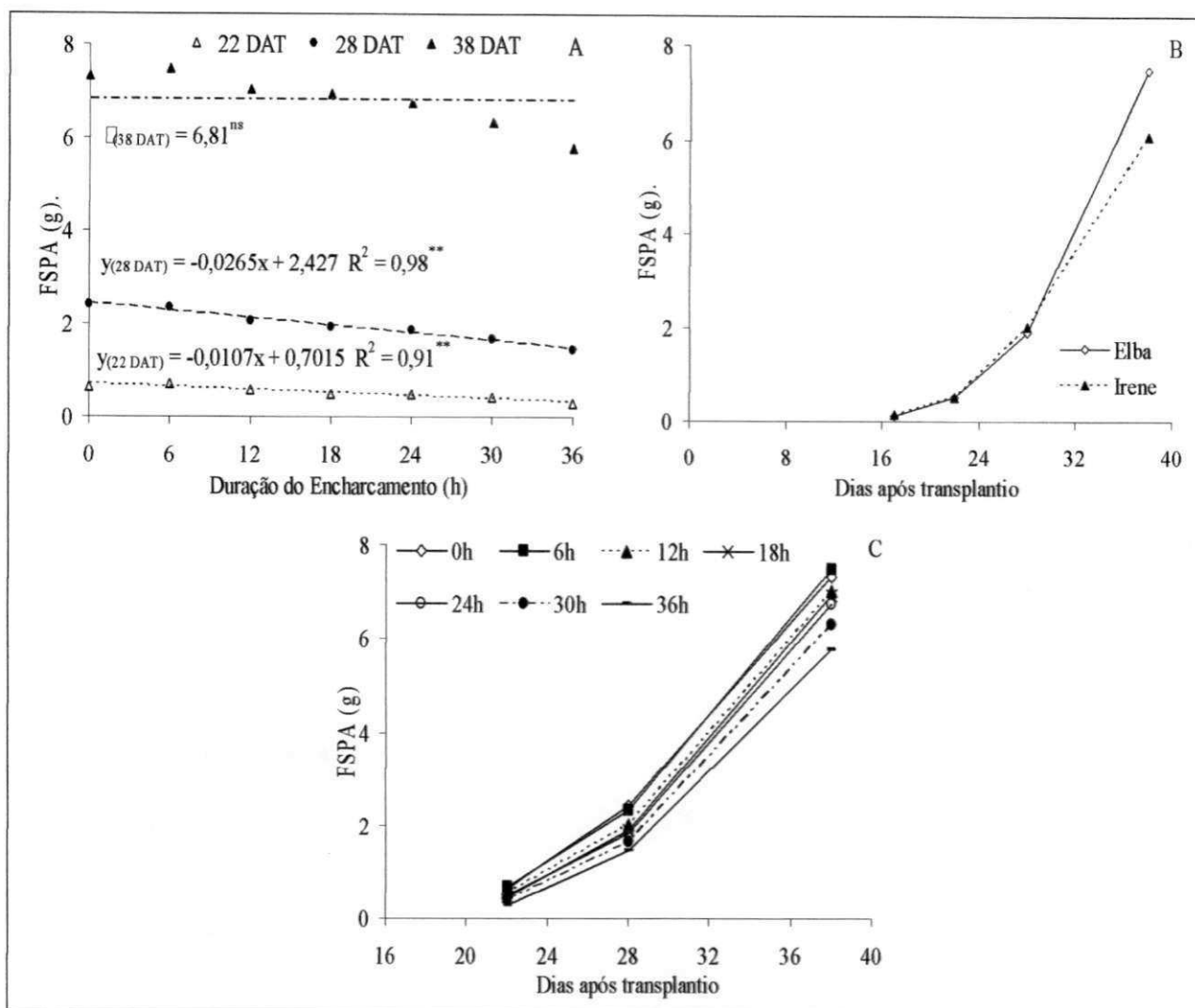


Figura 10 – Fitomassa seca da parte aérea (FSPA) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSPA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.5. Área foliar (AF)

A área foliar por planta foi afetada linearmente ($p < 0,01$) quando as plantas foram submetidas a encharcamento nas duas últimas avaliações (Tabela 13); na primeira avaliação o efeito foi quadrático ($p < 0,05$) onde conforme modelo de regressão segmentada (Figura 11A) o estresse anoxítico começou a afetar a AF, a partir das 7,59 horas de encharcamento, promovendo decréscimo $3,099 \text{ cm}^2$ da área foliar por aumento unitário (hora) da 'DE'. Conforme modelos matemáticos observados na Figura 10A, os decréscimos da área foliar das plantas submetidas ao estresse durante 36 horas (DE_{36}) em relação as testemunhas foram de 27,96% (28 DAT) e 16,67% (38 DAT), ou seja, $9,15$ e $17,12 \text{ cm}^2$, respectivamente, por cada hora de encharcamento (Figuras 11A e 11C).

Kozlowski (1984) cita que a inibição da expansão foliar é uma resposta comum das plantas à deficiência de oxigênio, ocasionada pelo excesso de umidade no solo. Para esse autor, o efeito se reflete na redução do tamanho e do número de folhas e aumento da abscisão foliar.

Sá (2005) também encontrou redução significativa (20%) da área foliar de trigo submetido ao encharcamento do solo em relação ao tratamento controle; conforme o autor, se observaram, ainda em experimentos realizados com soja e lentilha, reduções da área foliar de 15% e 30%, respectivamente, quando da exposição das plantas ao encharcamento. Trabalhando com algodão herbáceo por até oito dias de saturação hídrica do solo, Beltrão et al. (1997) verificaram sensível redução da área foliar das plantas.

Em se tratando deste trabalho, ou seja, exposição de plantas ao estresse hídrico (excesso de água no solo) nota-se, que as cultivares sob estresse conseguiram se recuperar, em parte, no período pós-estresse, denotando certa tolerância.

Nas épocas em que se avaliou esta variável (22, 28 e 38 DAT), a AF da cultivar Elba foi significativamente ($p < 0,05$ aos 22 DAT e $p < 0,01$ em 28 e 38 DAT) maior que a da Irene, com acréscimos de 20,10%, 22,46% e 52,75%, respectivamente; a diferença foi aumentando ao longo do tempo, o que denota ter a 'Elba' característica de crescimento da AF maior que a de 'Irene' (Tabela 13 e Figura 11B).

A interação entre os fatores duração do encharcamento e cultivares, assim como nas variáveis já estudadas, não foi significativa, mostrando que o efeito de 'DE' independe das cultivares utilizadas na pesquisa (Tabela 13).

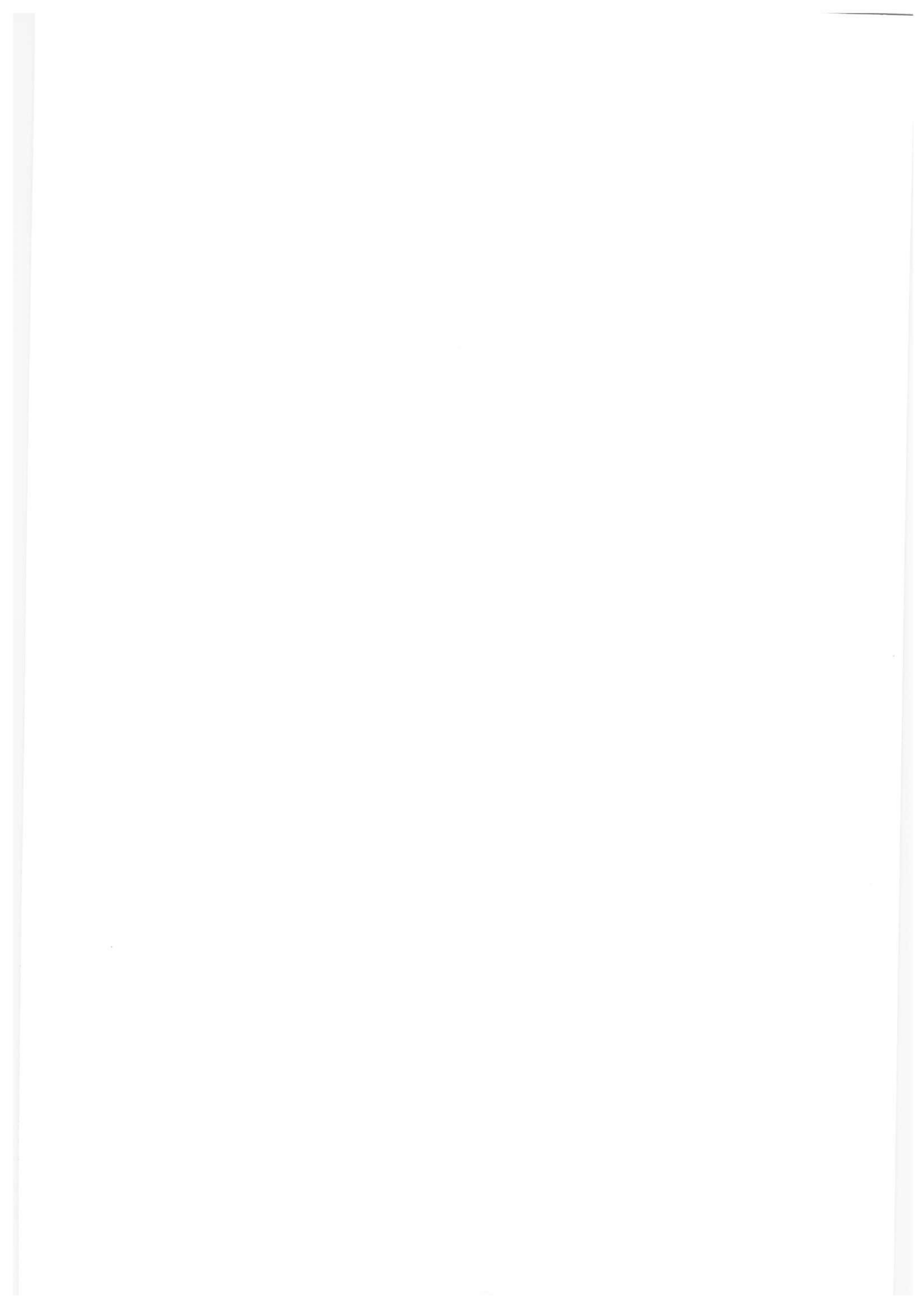


Tabela 13 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para área foliar (AF) por planta aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	AF 22	AF 28	AF 38
Bloco	22234,478**	190774,027**	27340,254 ^{ns}
Cultivar (C)	20507,810*	439146,290**	21003884,615**
Duração do encharcamento (DE)	10056,793**	106842,032**	511029,665*
Reg. Pol. Linear	40766,037**	506014,247**	1772329,168**
Reg. Pol. Quadr.	16347,965*	25240,045 ^{ns}	558863,431 ^{ns}
Desvio	806,6897 ^{ns}	27449,475 ^{ns}	183746,348 ^{ns}
C x DE	2491,707 ^{ns}	9235,410 ^{ns}	131992,957 ^{ns}
Resíduo	2692,032	20402,710	151281,107
CV (%)	21,44	14,10	11,48
	Médias (cm ²)		
Cultivar			
Elba	264,053a	1115,198a	4095,703a
Irene	219,859b	910,690b	2681,359b
Duração do encharcamento			
0	255,645	1158,773	3374,924
6	287,354	1148,748	3769,549
12	262,419	1009,446	3755,711
18	266,181	1012,189	3433,017
24	238,405	1035,213	3237,121
30	221,575	967,355	3141,639
36	162,114	758,885	3007,757

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

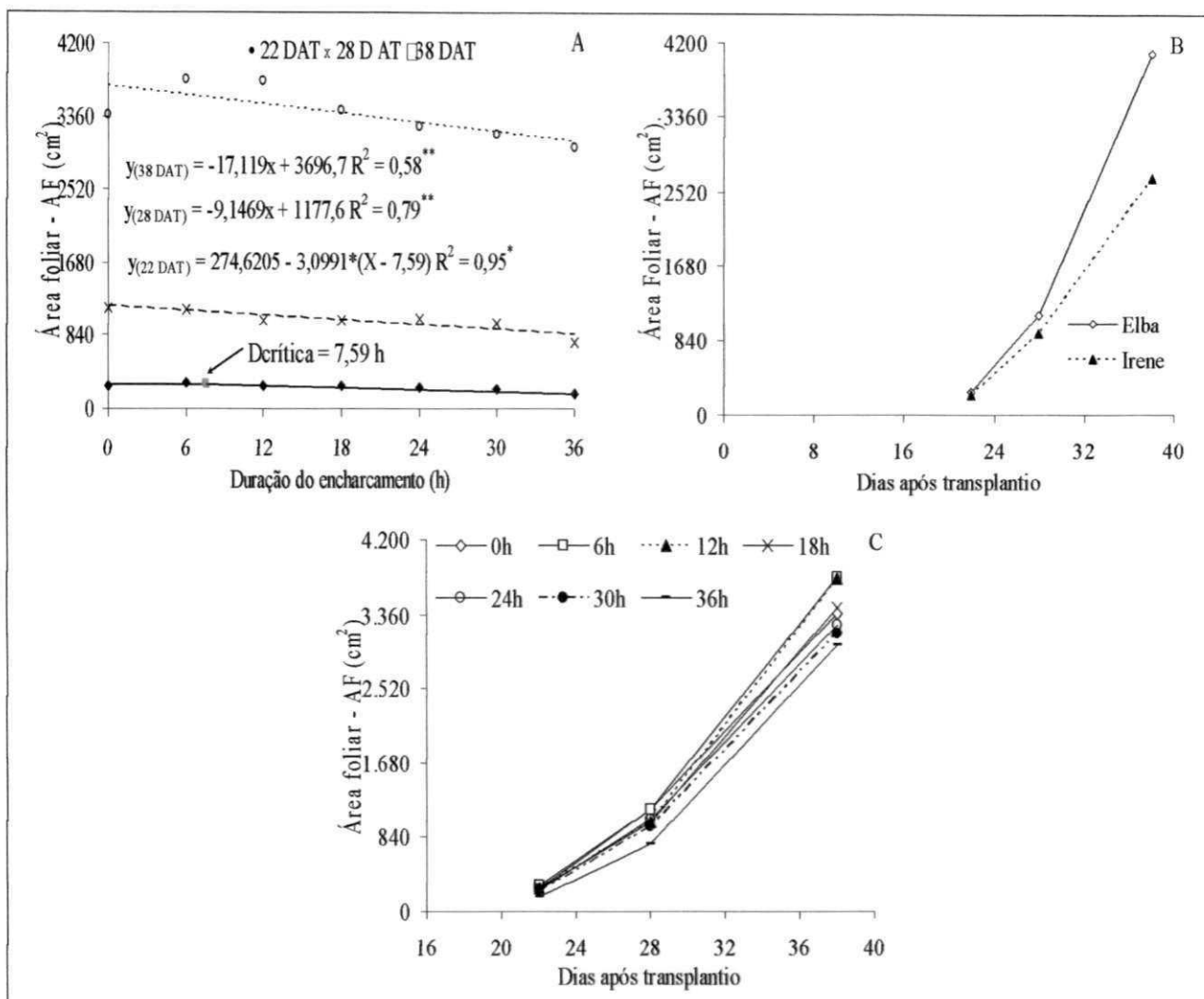


Figura 11 – Área foliar por planta (AF) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da AF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.6. Fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC)

A fitomassa seca das folhas e do caule foi afetada significativamente ($p < 0,01$), pela duração do encharcamento, verificando-se, para FSF, que os dados se ajustaram melhor ao modelo quadrático na primeira avaliação e linear na segunda (Figura 12A); já em relação à FSC, o modelo de regressão a que melhor se ajustaram os dados aos 22 DAT, foi o quadrático (Figura 13A). Verifica-se que na avaliação final não ocorreu efeito significativo do fator duração do encharcamento sobre as variáveis FSF e FSC, corroborando com o obtido para FSPA, ou seja, denota que as plantas tendem a se recuperar pós-estresse (Tabela 14 e 15). Segundo Macleod et al. (1997), a habilidade das plantas em sobreviver e de se recuperar após o encharcamento do solo, depende da

duração da inundação e do estágio de desenvolvimento da cultura e, em geral decresce durante a fase reprodutiva.

A baixa disponibilidade de oxigênio no solo afetou severamente a FSF nas duas épocas iniciais (22 e 28 DAT), provocando decréscimos na massa seca das folhas por aumento unitário (hora) da duração do encharcamento de 1,58% e 1,01%, respectivamente.

Em relação à FSC aos 22 DAT, apesar do efeito significativo da equação de regressão quadrática, o baixo valor obtido do coeficiente de determinação induz a não se considerar este resultado, denotando que em nenhuma das avaliações realizadas verificou efeito significativo do DE sobre a FSC.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de folhas (FSF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplante (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSF 22	FSF 28	FSF 38
Bloco	0,059194*	0,532451**	2,800431*
Cultivar (C)	0,000013 ^{ns}	0,129509 ^{ns}	14,756630**
Duração do encharcamento (DE)	0,125263**	0,696132**	1,792976 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,690069**	4,087184**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,009435 ^{ns}	0,000115 ^{ns}	-
Desvio	0,013019 ^{ns}	0,022373 ^{ns}	-
C x DE	0,002753 ^{ns}	0,100250 ^{ns}	0,367416 ^{ns}
Resíduo	0,012663	0,057884	0,791606
CV (%)	23,19	12,82	13,93
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,485	1,822	6,980a
Irene	0,486	1,933	5,745b
Duração do encharcamento			
0	0,636	2,328	6,865
6	0,670	2,266	7,003
12	0,541	1,964	6,601
18	0,450	1,842	6,533
24	0,463	1,766	6,341
30	0,384	1,584	5,938
36	0,254	1,392	5,431

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Com base nas médias da avaliação final (38 DAT) para FSF e FSC presente na Tabela 14 e 15, respectivamente, constata-se que a cv. Elba foi significativamente ($p < 0,01$) maior que a Irene; analisando as medias FSF e FSC das cultivares verifica-se que a Irene inicialmente após o encharcamento possui maior habilidade em produzir massa seca que a Elba, no entanto, no momento da colheita a capacidade da Elba de produzir massa seca supera a Irene (Figura 12B e 13B).

Nas Figura 12C e 13C pode-se melhor visualizar o comportamento da fitomassa seca de folha e de caule, respectivamente, em relação aos níveis de encharcamento.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de caule (FSC) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSC 22	FSC 28	FSC 38
Bloco	0,000044 ^{ns}	0,001390 ^{ns}	0,014253 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000767 ^{**}	0,001965 ^{ns}	0,509477 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,000129 ^{**}	0,000557 ^{ns}	0,015193 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,000006 ^{ns}	-	-
Reg. Pol. Quadr.	0,000449 ^{**}	-	-
Desvio	0,000080 ^{ns}	-	-
C x DE	0,000084 ^{ns}	0,000374 ^{ns}	0,004782 ^{ns}
Resíduo	0,000029	0,000499	0,010430
CV (%)	23,16	31,21	24,17
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,019b	0,065	0,532a
Irene	0,028a	0,078	0,312b
Duração do encharcamento			
0	0,017	0,088	0,476
6	0,026	0,075	0,492
12	0,026	0,069	0,437
18	0,030	0,064	0,411
24	0,020	0,077	0,406
30	0,025	0,071	0,390
36	0,019	0,058	0,346

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

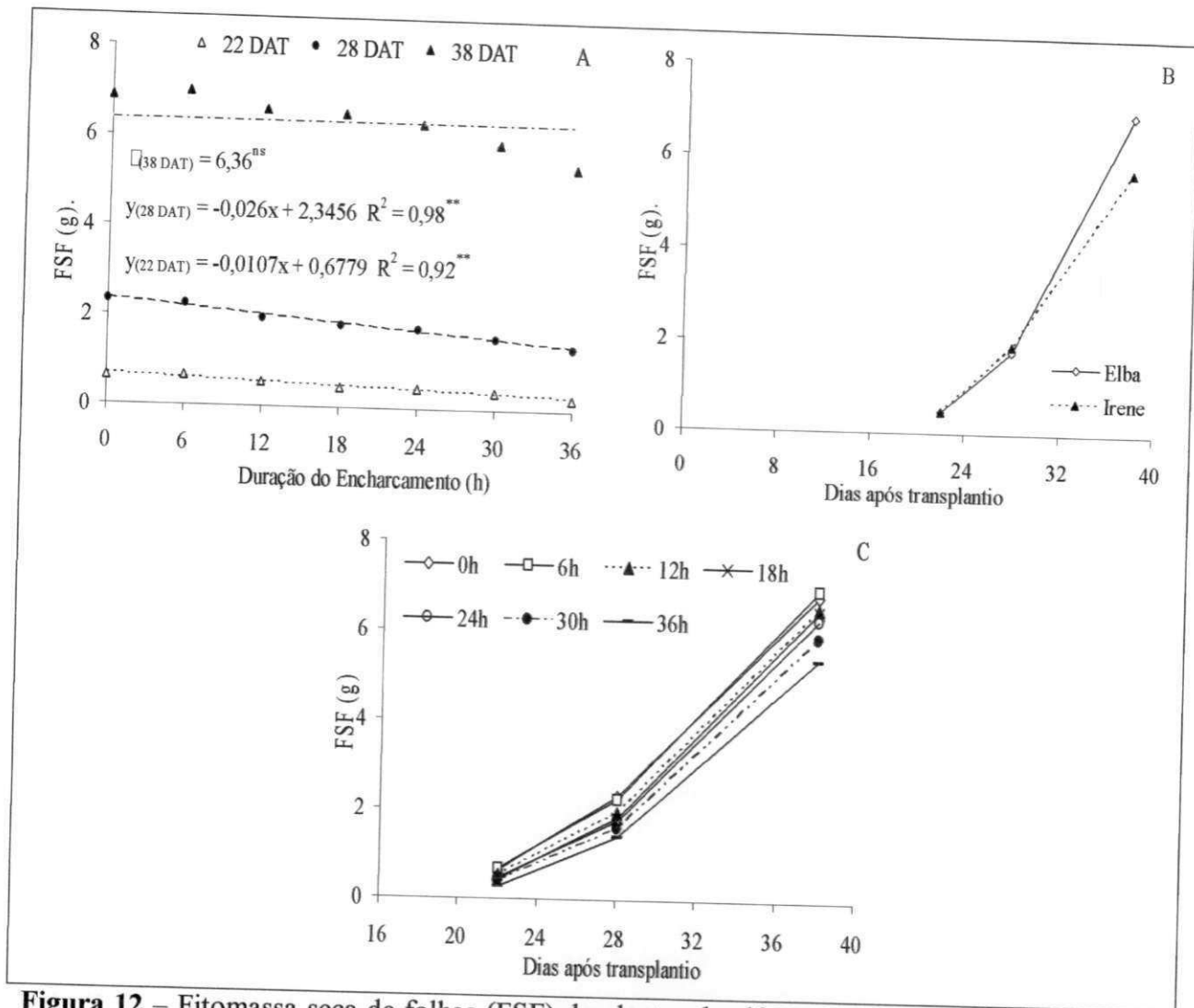


Figura 12 – Fitomassa seca de folhas (FSF) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

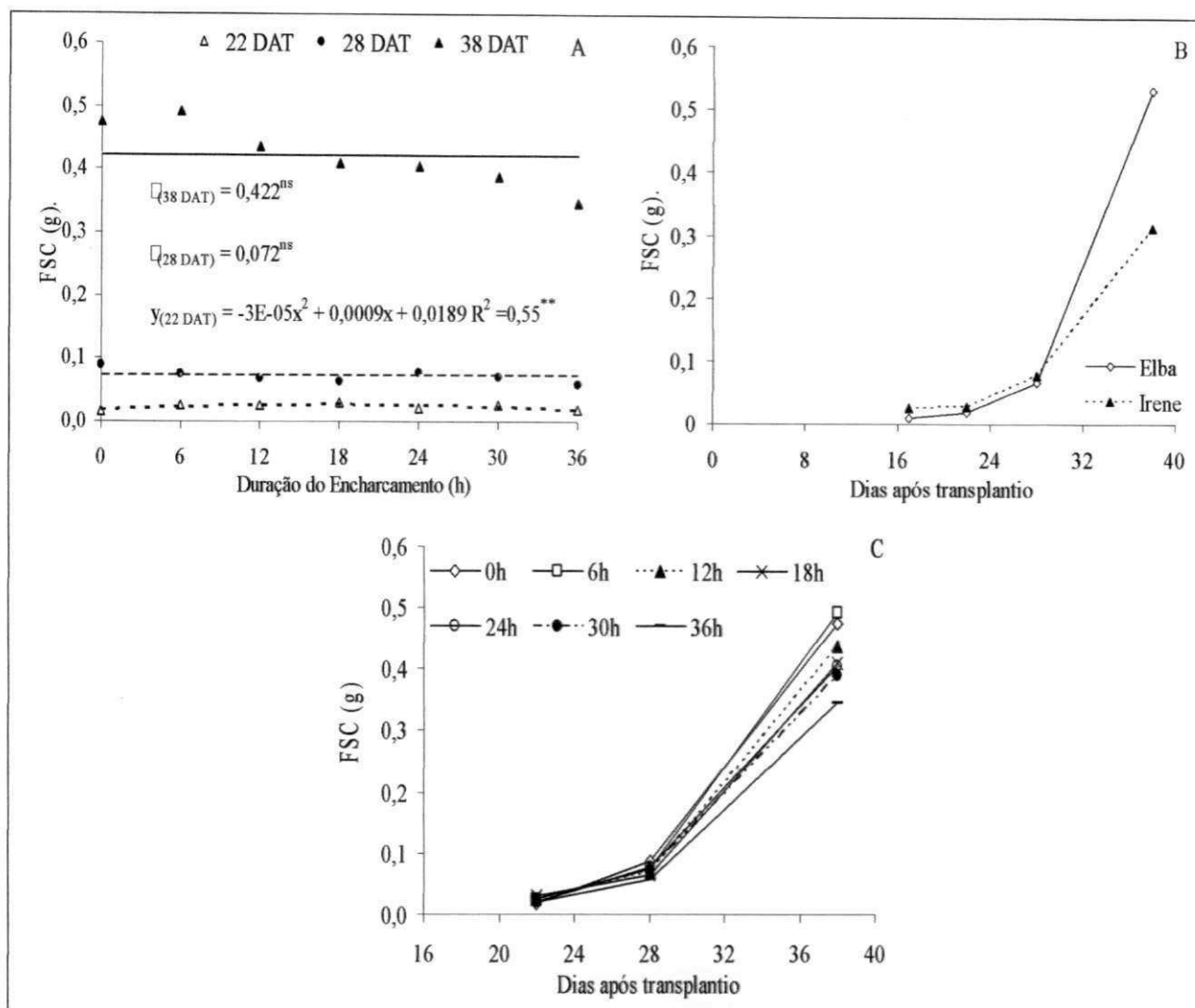


Figura 13 – Fitomassa seca de caule (FSC) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSC para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.7. Fitomassa Seca de Raiz (FSR) e Total (FST)

Apresentam-se, nas Tabelas 16 e 17, os resumos da análise de variância para as variáveis FSR e FST, respectivamente, nas quais é possível se observar que assim como ocorrido para FSPA não houve efeito significativo do fator duração do encharcamento sobre as fitomassas seca de raiz e total na avaliação realizada por ocasião da colheita (38 DAT). Analisando os dados obtidos no estudo final referente as fitomassas seca das cultivares de alface, verifica-se que esta hortaliça após passar por estresse anoxítico, reduz momentaneamente a produção de massa vegetal da parte aérea e do sistema radicular, no entanto, após o período de deficiência de oxigênio as plantas retomam seu crescimento de forma a não se verificar diferença estatística significativa entre as mesmas no momento da colheita. Estes resultados fortalecem a discussão sobre

o aumento da tolerância destas cultivares com o passar do tempo de ocorrência do estresse anoxítico. Não foi verificado efeito interativo dos fatores duração de encharcamento e cultivares, denotando que os efeitos ocasionados por 'DE' independem das cultivares.

Constata-se, através do teste de comparação de médias, que a cultivar Elba teve a fitomassa seca de raiz e total significativamente ($p < 0,01$) maior que a Irene, na última avaliação; nas demais épocas de estudo não se notaram efeito significativo. Conforme resultados, a Elba foi superior em 87,3% e 33,75% para FSR e FST, respectivamente, em relação à Irene (Figuras 14B - FSR e 15B - FST).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca de raiz (FSR) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FSR 22	FSR 28	FSR 38
Bloco	0,000535**	0,001708 ^{ns}	0,440112 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000281 ^{ns}	0,000563 ^{ns}	11,989745**
Duração do encharcamento (DE)	0,000157 ^{ns}	0,001859*	0,431154 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	-	0,009007**	-
Reg. Pol. Quadr.	-	0,000005 ^{ns}	-
Desvio	-	0,000536 ^{ns}	-
C x DE	0,000036 ^{ns}	0,000528 ^{ns}	0,073775 ^{ns}
Resíduo	0,000083	0,000598	0,462170
CV (%)	26,54	22,83	38,67
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,037	0,111	2,293a
Irene	0,032	0,103	1,224b
Duração do encharcamento			
0	0,031	0,125	1,793
6	0,039	0,136	2,224
12	0,043	0,104	1,949
18	0,034	0,103	1,776
24	0,035	0,102	1,642
30	0,032	0,096	1,459
36	0,028	0,083	1,479

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

De acordo com as equações de regressão referente à FSR, verifica-se efeito significativo ($p < 0,05$) do 'DE' em relação às cultivares apenas na avaliação aos 28 DAT na qual o modelo que melhor ajustou os dados foi o linear (Figura 14A) havendo

decréscimo por aumento unitário do tempo de exposição das plantas ao encharcamento de 0,93%.

Pires et al. (2002), estudando as adaptações morfológicas da soja em solo inundado, verificaram que os principais efeitos da inundação foram nas raízes, com alterações anatômicas e morfológicas, formas de adaptarem ao ambiente, como: morte da raiz principal, crescimento de raízes laterais, surgimento de raízes adventícias, etc. Neste trabalho com alface não se constataram, visualmente, modificações adaptativas do sistema radicular ao estresse; aos 38 DAT (Tabela 16), as cultivares submetidas a estresse não diferiram estatisticamente em relação ao peso das raízes das plantas testemunhas, o que mostra certa recuperação delas com o passar do tempo.

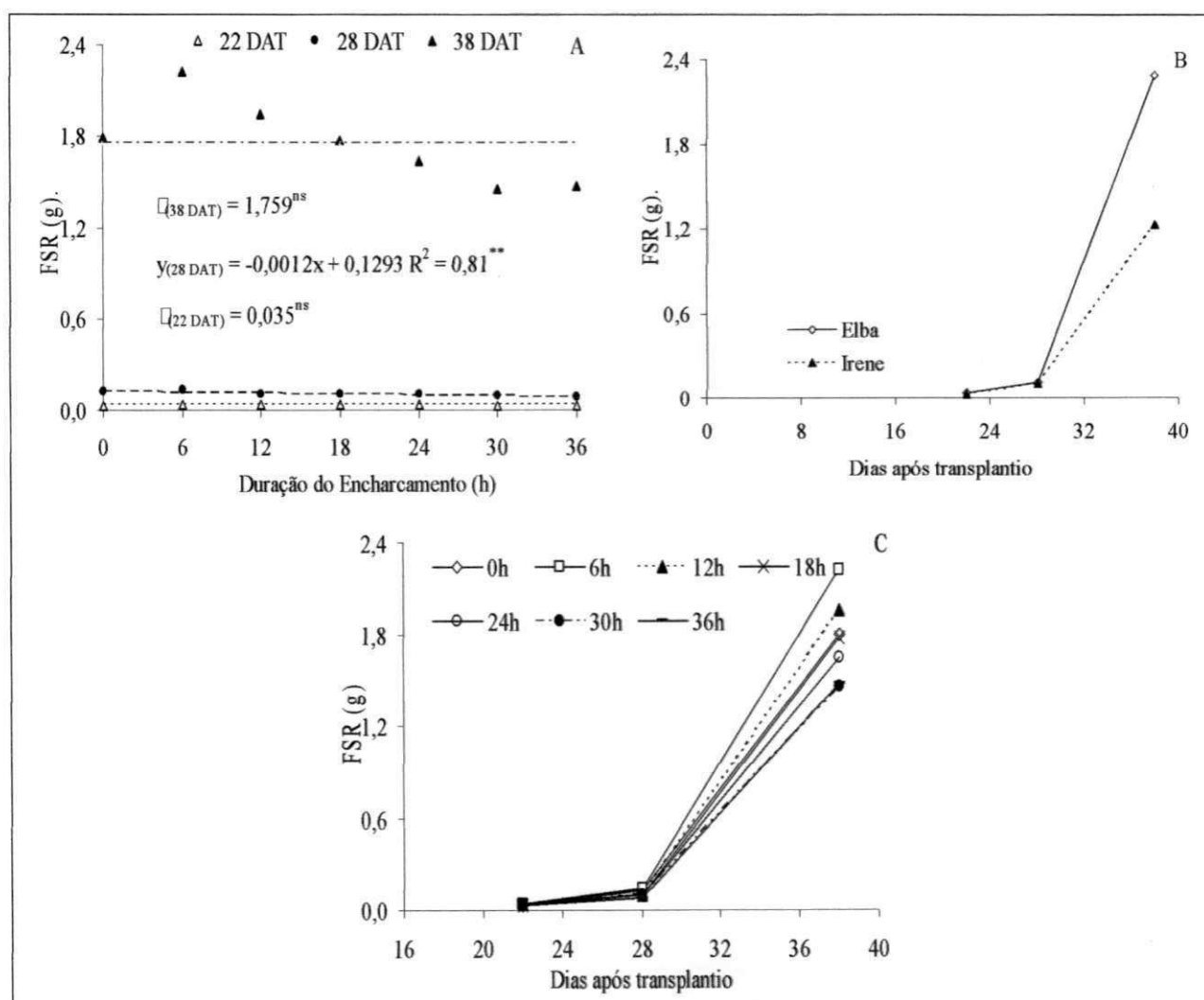


Figura 14 – Fitomassa seca de raiz (FSR) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da FSR para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

Tabela 17 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para fitomassa seca total (FST) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	FST 22	FST 28	FST 38
Bloco	0,067812*	0,103541**	4,365094 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000210 ^{ns}	0,144760 ^{ns}	64,285654**
Duração do encharcamento (DE)	0,132023**	0,798199**	4,196192 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,718441**	4,658820**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,019014 ^{ns}	0,000528 ^{ns}	-
Desvio	0,013670 ^{ns}	0,032462 ^{ns}	-
C x DE	0,003234 ^{ns}	0,103541 ^{ns}	0,800532 ^{ns}
Resíduo	0,012939	0,068488	1,889959
CV (%)	20,95	12,73	16,04
	Médias (g)		
Cultivar			
Elba	0,541	1,998	9,805a
Irene	0,542	2,115	7,331b
Duração do encharcamento			
0	0,684	2,540	9,134
6	0,735	2,476	9,719
12	0,611	2,137	8,973
18	0,513	2,009	8,720
24	0,518	1,945	8,389
30	0,440	1,751	7,787
36	0,301	1,534	7,256

(*) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Conforme as equações de regressão de FST, foram significativos os efeitos ($p < 0,01$) da duração do encharcamento sobre as cultivares para as avaliações realizadas aos 22 e 28 dias após o transplântio; com base nessas equações (Figura 15A) conclui-se que o modelo a que melhor os dados se ajustaram para as duas épocas, foi o linear, onde verifica-se mediante equações de regressão haver redução da FST de 53,07% e 39,02% aos 22 e 28 DAT, respectivamente, entre as plantas testemunha (DE₀) e as submetidas a duração de encharcamento de 36h (DE₃₆). Avaliando o resultado da análise aos 38 DAT e observando esses decréscimos citados, denota-se que a alface tende a apresentar tolerância ao estresse anoxítico com o incremento de tempo, após ocorrência do encharcamento. Diferentemente, Sá (2005) observou, durante estudo do encharcamento do solo sobre a cultura da lentilha, que com o aumento do tempo após exposição ao estresse a matéria seca total das plantas ia sendo reduzida. Esta diferença de comportamento das culturas em relação ao estresse anoxítico, pode estar relacionada

à espécie, à cultivar, ao estágio de desenvolvimento da cultura, ao tipo de solo, à temperatura ambiente, ao tempo de exposição e à inundação, entre outros (Pang et al., 2004).

Nas Figuras 14C e 15C têm-se o comportamento das variáveis (FSR e FST respectivamente) ao longo do tempo, em função das diferentes durações do encharcamento.

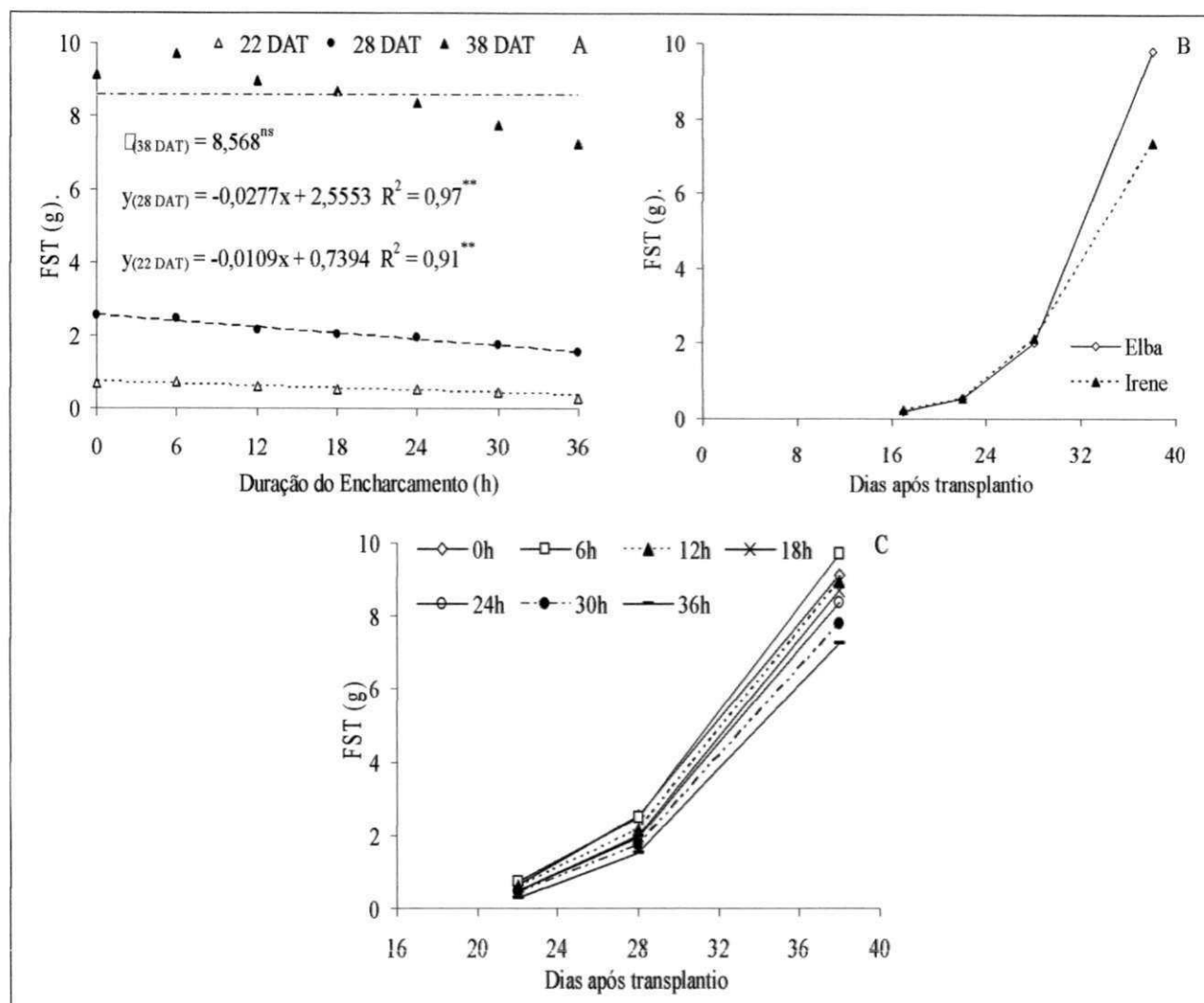


Figura 15 – Fitomassa seca total (FST) de plantas da alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A) e variação temporal da FST para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.8. Relação raiz/parte aérea (R/PA)

Constatou-se com base no resumo da análise de variância, disposto na Tabela 18, não haver efeito significativo da duração do encharcamento sobre a R/PA na

ocasião da colheita (38 DAT); fato este ocorrido devido as avaliações relativas a FSR e FSPA também não terem apresentado efeito significativo do encharcamento.

Com base no resultado da interação para R/PA, pode-se dizer que o efeito da duração do encharcamento sobre as cultivares, nas três épocas de avaliação (22, 28 e 38 DAT) ocorre de foram semelhante.

Nota-se através do teste de comparação de médias (Tukey), que a relação raiz / parte aérea da cultivar Elba foi significativamente ($p < 0,01$) maior que a da Irene, aos 38 DAT (Tabela 18 e Figura 16B). O comportamento espacial da R/PA em função das diferentes durações de encharcamento está exposto na Figura 16C.

Tabela 18 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para relação raiz / parte aérea (R/PA) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	R/PA 22	R/PA 28	R/PA 38
Bloco	0,000571 ^{ns}	0,000259 ^{ns}	0,008547 ^{ns}
Cultivar (C)	0,001074 ^{ns}	0,000606 ^{ns}	0,098471 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,001831 ^{**}	0,000072 ^{ns}	0,002757 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,008575 ^{**}	-	-
Reg. Pol. Quadr.	0,000033 ^{ns}	-	-
Desvio	0,000595 ^{ns}	-	-
C x DE	0,000143 ^{ns}	0,000137 ^{ns}	0,000721 ^{ns}
Resíduo	0,000467	0,000162	0,008026
CV (%)	29,84	22,77	35,39
	Médias (g g ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	0,078	0,060	0,302a
Irene	0,067	0,052	0,205b
Duração do encharcamento			
0	0,048	0,051	0,241
6	0,058	0,059	0,291
12	0,076	0,051	0,263
18	0,073	0,055	0,255
24	0,071	0,056	0,240
30	0,077	0,059	0,224
36	0,104	0,059	0,258

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Conforme os estudos de regressão aos 22 DAT, o efeito foi linear e crescente como pode ser visto na Figura 16A; ocorreram acréscimos em R/PA de 54,09% para as

plantas encharcadas durante 36 horas, em relação às plantas que não sofreram estresse; o fato pode ser explicado nesta avaliação, devido a FSR das plantas não ter apresentado diferença significativa, já a FSPA apresentou decréscimo sempre que as durações de encharcamento foram aumentados; denota-se, para esta época, que a parte aérea foi mais afetada pelo estresse anoxítico que o sistema radicular, o que pode ser um indicativo de adaptação morfofisiológica da cultura à condição de deficiência de oxigênio no solo. Algumas culturas sob condições de estresse podem desenvolver mecanismos adaptativos, sendo o sistema radicular menos afetado pelo estresse que a parte aérea, o que foi constatado por Soares em 2001, avaliando o comportamento do maracujazeiro amarelo sob condições de estresse salino.

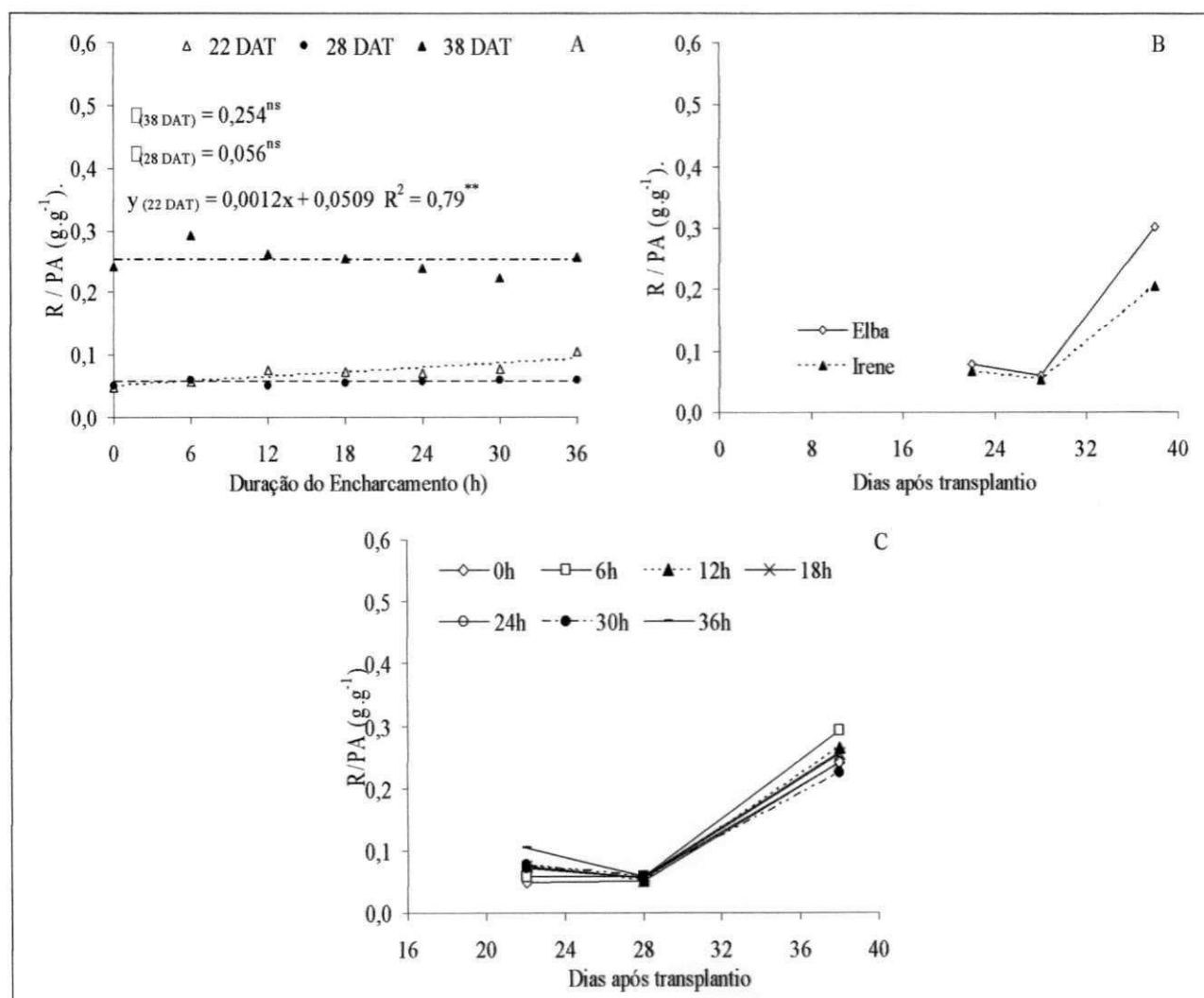


Figura 16 – Relação raiz / parte aérea (R/PA) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da R/PA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.9. Razão de área foliar (RAF)

Conforme o resumo da análise de variância apresentado na Tabela 19, a variável RAF não sofreu efeito estatisticamente significativo do fator duração do encharcamento na avaliação realizada aos 38 DAT, ou seja, denota-se que a produção de massa da planta, mais especificamente a área foliar útil para realização da fotossíntese tinha recuperado seu crescimento pós-deficiência de oxigênio do solo. Analisando este resultado, favorece entender o crescimento acentuado da área foliar e da fitomassa seca total da alface nos últimos dez dias que antecederam a colheita, indicando certa tolerância da cultura após o estresse sofrido.

Nas avaliações de regressão realizadas aos 22 e 28 DAT, verifica-se ter sido linear o efeito da duração do encharcamento sobre a RAF e, de acordo com os modelos matemáticos obtidos (Figura 17A) a razão de área foliar cresceu com o aumento de tempo de exposição das plantas ao estresse anoxítico, havendo incremento relativo 0,77% e 0,45% da RAF aos 22 e 28 DAT, respectivamente, por aumento unitário da duração do encharcamento. Este aumento da RAF pode ser explicado pelo fato da parte aérea ter sido mais afetada pelo estresse anoxítico que a fitomassa seca total. Na medida em que ocorre o crescimento da folha, menor é a proporção do material fotossintetizado retido no limbo foliar, ou seja, maior é a exportação de fotoassimilados para outras partes da planta; portanto, como a razão de área foliar é um indicativo da dimensão relativa do aparelho assimilador (relaciona a área foliar com a matéria seca resultante da fotossíntese), altos valores de RAF indicam que os produtos fotoassimilados estão sendo mais utilizados para a formação do aparelho fotossintético (Viana, 2000).

Constata-se, pelo teste de comparação de médias, que a razão de área foliar da cultivar Elba foi significativamente maior que a Irene nas três avaliações, sendo o efeito significativo a $p < 0,01$ aos 22 e 28 DAT e $p < 0,05$ aos 38 DAT (Tabela 19 e Figura 17B). Isso mostra que a Elba sob condição de anoxia investe mais na formação das folhas, como forma de continuar suprindo suas necessidades através da realização da fotossíntese.

Os efeitos dos fatores 'duração do encharcamento' e 'cultivares', sobre a RAF da alface, ocorreram isoladamente (Tabela 19), sem haver efeito interativo. Na Figura 17C se verifica o comportamento temporal em função de 'DE', da razão de área foliar.

Tabela 19 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para razão de área foliar (RAF) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	RAF 22	RAF 28	RAF 38
Bloco	33578,928*	2282,831 ^{ns}	6502,523 ^{ns}
Cultivar (C)	69053,596**	214229,472**	29016,730*
Duração do encharcamento (DE)	23165,975*	10907,375*	2329,420 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	103293,965*	36965,327**	-
Reg. Pol. Quadr.	3498,621 ^{ns}	8704,055 ^{ns}	-
Desvio	8050,816 ^{ns}	4943,717 ^{ns}	-
C x DE	6048,189 ^{ns}	9471,167 ^{ns}	960,453 ^{ns}
Resíduo	8238,286	3040,023	4970,307
CV (%)	19,57	10,96	17,69
	Médias (cm ² m ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	504,297a	574,378a	424,905a
Irene	423,201b	431,539b	372,336b
Duração do encharcamento			
0	380,869	452,636	368,719
6	399,468	464,909	388,849
12	437,295	480,230	426,782
18	531,593	509,237	397,182
24	458,549	542,938	385,171
30	500,818	571,922	414,592
36	537,648	498,837	409,046

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

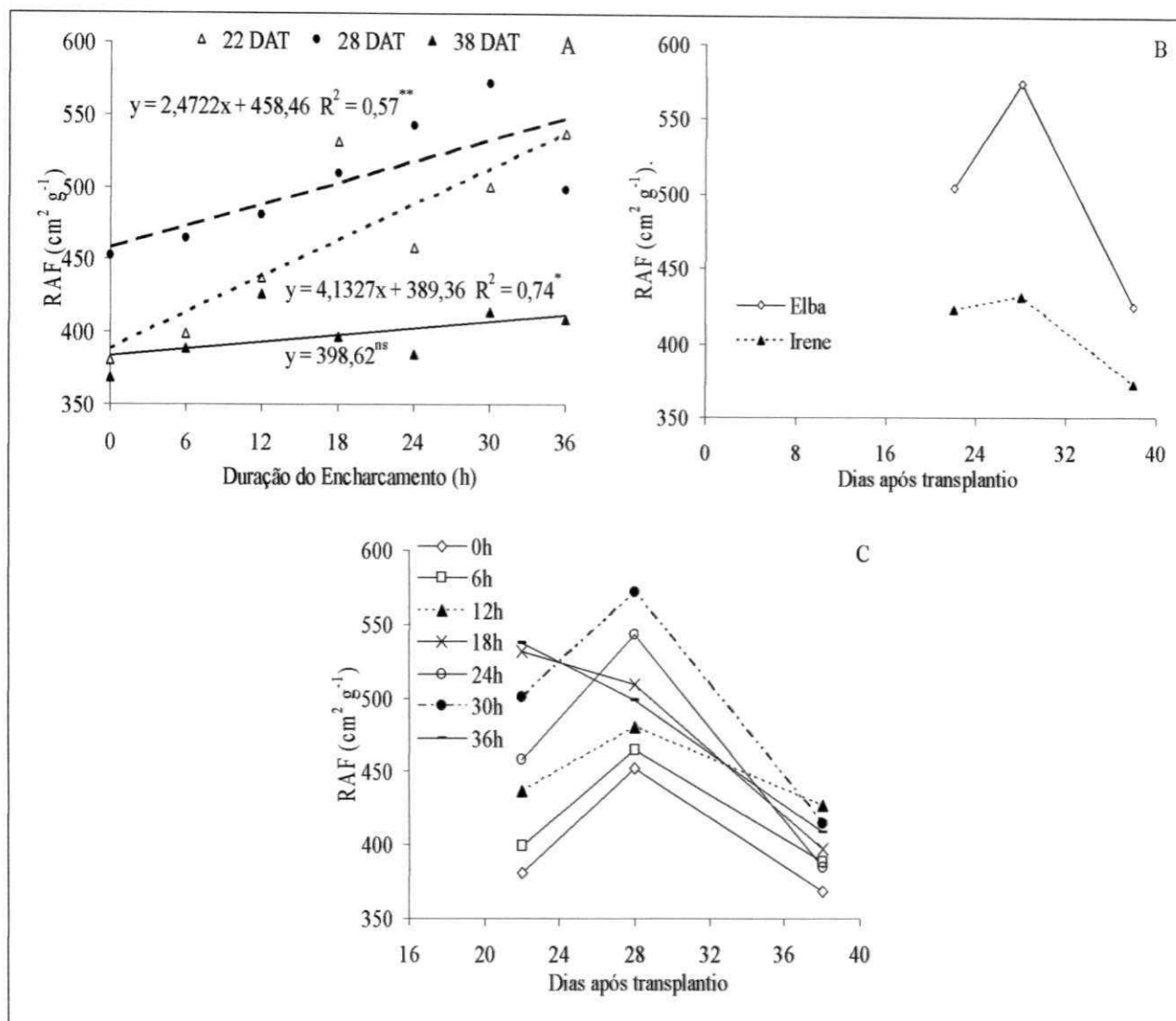


Figura 17 – Razão de área foliar (RAF) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da RAF para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.10. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

Os resultados da análise de variância e os dados médios observados para taxa de crescimento absoluto de fitomassa, em avaliações realizadas entre 17 (dia de aplicação dos tratamentos) e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 DAT estão resumidos na Tabela 20. Verifica-se que a TCA sofreu efeito significativo ($p < 0,01$) do fator 'DE' nas duas primeiras avaliações (17-22 e 22-28 DAT), ao contrário do fator 'cultivar' em que houve diferença significativa ($p < 0,01$) apenas na última avaliação (28-38 DAT); nessas avaliações a cultivar Elba obteve maior crescimento ao longo do tempo, o que resultou também em maior TCA (Figura 18B). Apesar dos maiores incrementos de fitomassa para as duas cultivares terem ocorrido no período compreendido entre 28 e 38

DAT, não foi detectado diferença significativa da variável TCA em função da duração do encharcamento; isso pode ter ocorrido devido a não significância do efeito anoxítico sobre a fitomassa seca das cultivares aos 38 DAT. De acordo com os resultados observa-se em mais uma variável, que as cultivares de alface (Elba e Irene) quando expostas a períodos de escassez de O₂ no solo tendem a recuperar seu crescimento, principalmente ao aproximar da época de colheita.

Com base no resultado da interação para TCA, observa-se que o efeito da duração do encharcamento foi comum as duas as cultivares.

De acordo com a análise de regressão, verifica-se que os dados se ajustaram melhor ao modelo linear nas duas avaliações iniciais (Figura 18A), ocorrendo decréscimos da TCA de 1,82% (17-22 DAT) e 0,90% (22-28 DAT) por aumento unitário da duração do encharcamento do solo.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para taxa de crescimento absoluto (TCA) entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 dias após o transplântio (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	TCA 17-22	TCA 22-28	TCA 28-38
Bloco	0,002286*	0,008021*	0,011157 ^{ns}
Cultivar (C)	0,000075 ^{ns}	0,003864 ^{ns}	0,245960**
Duração do encharcamento (DE)	0,005064**	0,007215**	0,004648 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,027768**	0,042050**	-
Reg. Pol. Quadr.	0,000560 ^{ns}	0,000537 ^{ns}	-
Desvio	0,000515 ^{ns}	0,000176 ^{ns}	-
C x DE	0,000119 ^{ns}	0,003275 ^{ns}	0,003546 ^{ns}
Resíduo	0,000508	0,001939	0,007466
CV (%)	29,56	18,34	17,77
	Médias (g dia ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	0,078	0,231	0,563a
Irene	0,075	0,250	0,410b
Duração do encharcamento			
0	0,105	0,294	0,493
6	0,114	0,274	0,515
12	0,088	0,244	0,505
18	0,070	0,238	0,504
24	0,071	0,227	0,490
30	0,056	0,208	0,467
36	0,029	0,196	0,433

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

A evolução da TCA em função das diferentes durações do encharcamento está apresentada na Figura 18C na qual, é possível observar que as maiores DE proporcionaram os menores valores médios de TCA.

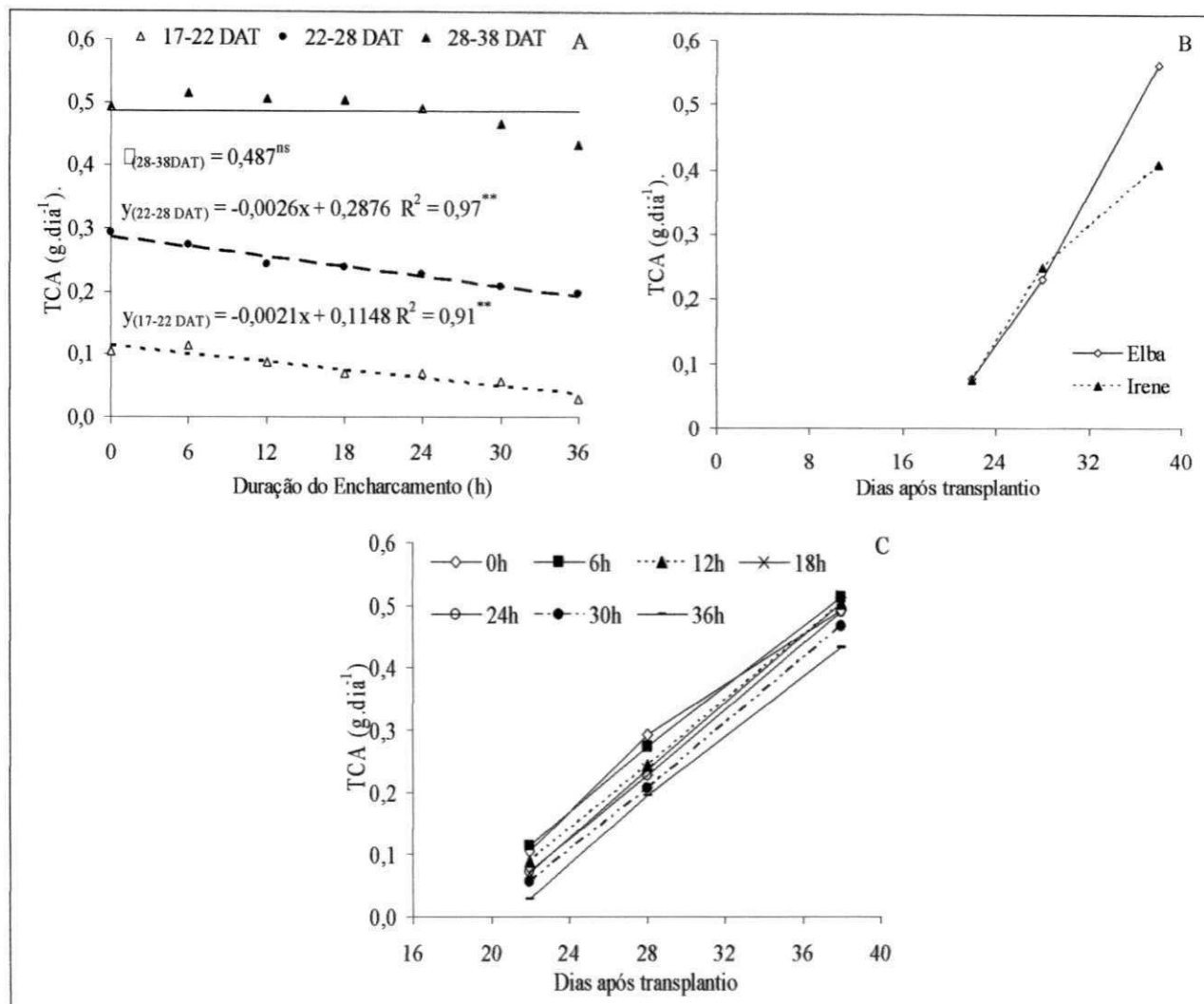


Figura 18 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da TCA para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.1.11. Taxa de crescimento relativo (TCR)

Os resultados estatísticos referentes à taxa de crescimento relativo nas avaliações realizadas (17 e 22, 22 e 28, e entre 28 e 38 DAT), estão contidos na Tabela 21; verifica-se que a ‘duração do encharcamento’ afetou significativamente a TCR nas três avaliações, já o fator ‘cultivar’ teve diferença significativa ($p < 0,01$) na primeira e na última avaliação; nessas a cultivar Elba foi mais eficiente na produção de novos tecidos, o que resultou em maior TCR (Figura 19B).

Os resultados da interação para TCR (Tabela 21) denotam que o efeito do fator 'DE' sobre o fator 'cultivar', nas épocas avaliadas, ocorreu de forma semelhante.

Tabela 21 - Resumo da análise de variância e médias de cultivares e da duração do encharcamento para taxa de crescimento relativo (TCR) entre 17 e 22, 22 e 28 e entre 28 e 38 dias após o transplante (DAT). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios		
	TCR 17-22	TCR 22-28	TCR 28-38
Bloco	0,008740 ^{**}	0,000643 ^{ns}	0,000692 ^{ns}
Cultivar (C)	0,015645 ^{**}	0,003998 ^{ns}	0,038032 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,022808 ^{**}	0,004900 [*]	0,002213 [*]
Reg. Pol. Linear	0,117224 ^{**}	0,015513 ^{**}	0,012501 ^{**}
Reg. Pol. Quadr.	0,009783 [*]	0,008078 [*]	0,000471 ^{ns}
Desvio	0,002460 ^{ns}	0,008078 ^{ns}	0,000077 ^{ns}
C x DE	0,000467 ^{ns}	0,002082 ^{ns}	0,000952 ^{ns}
	0,001315	0,001777	0,000898
CV (%)	13,61	15,35	11,91
	Médias (g g ⁻¹ dia ⁻¹)		
Cultivar			
Elba	0,286a	0,265	0,282a
Irene	0,247b	0,284	0,222b
Duração do encharcamento			
0	0,320	0,269	0,222
6	0,336	0,245	0,232
12	0,298	0,253	0,249
18	0,260	0,278	0,258
24	0,265	0,269	0,258
30	0,234	0,275	0,270
36	0,152	0,334	0,273

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

As equações matemáticas (Figura 19A), obtidas mediante análise de regressão, indicam que os dados se ajustaram melhor ao modelo quadrático nas duas avaliações iniciais, e a linear na terceira avaliação. Nos períodos antecedentes à colheita (22-28 e 28-38 DAT) observa-se incremento da TCR na ordem de 3,24% e 18,22%, respectivamente, entre DE₀ e DE₃₆; já na avaliação inicial (17 e 22 DAT), ocorreu o inverso, ou seja, decréscimo da TCR de 52,50% entre DE₀ e DE₃₆.

Infer-se com base nos resultados, que as durações de encharcamento proporcionaram comportamento diferenciado nas plantas em relação a TCR, nas

distintas épocas de avaliação; na fase inicial (17 a 22 DAT), na medida em que ocorreu o incremento do estresse, deu-se redução na produção de material novo, por unidade de material preexistente, enquanto nas fases (22 a 28 e 28 a 38 DAT) ocorreu o inverso, ou seja, aumento na deficiência de O₂ propiciou a produção de mais massa nova; isto denota ser um indicativo de adaptação da cultura ao estresse, fazendo com que as plantas aumentassem a capacidade de suprir a deficiência de O₂, de outra forma.

Nota-se na Figura 19 C, o comportamento da taxa de crescimento relativo ao longo tempo, em função das durações de encharcamento. Verifica-se que no momento da colheita as plantas que tinham sido submetidas aos maiores tempo de deficiência de oxigênio do solo foram as que apresentaram as maiores TCR.

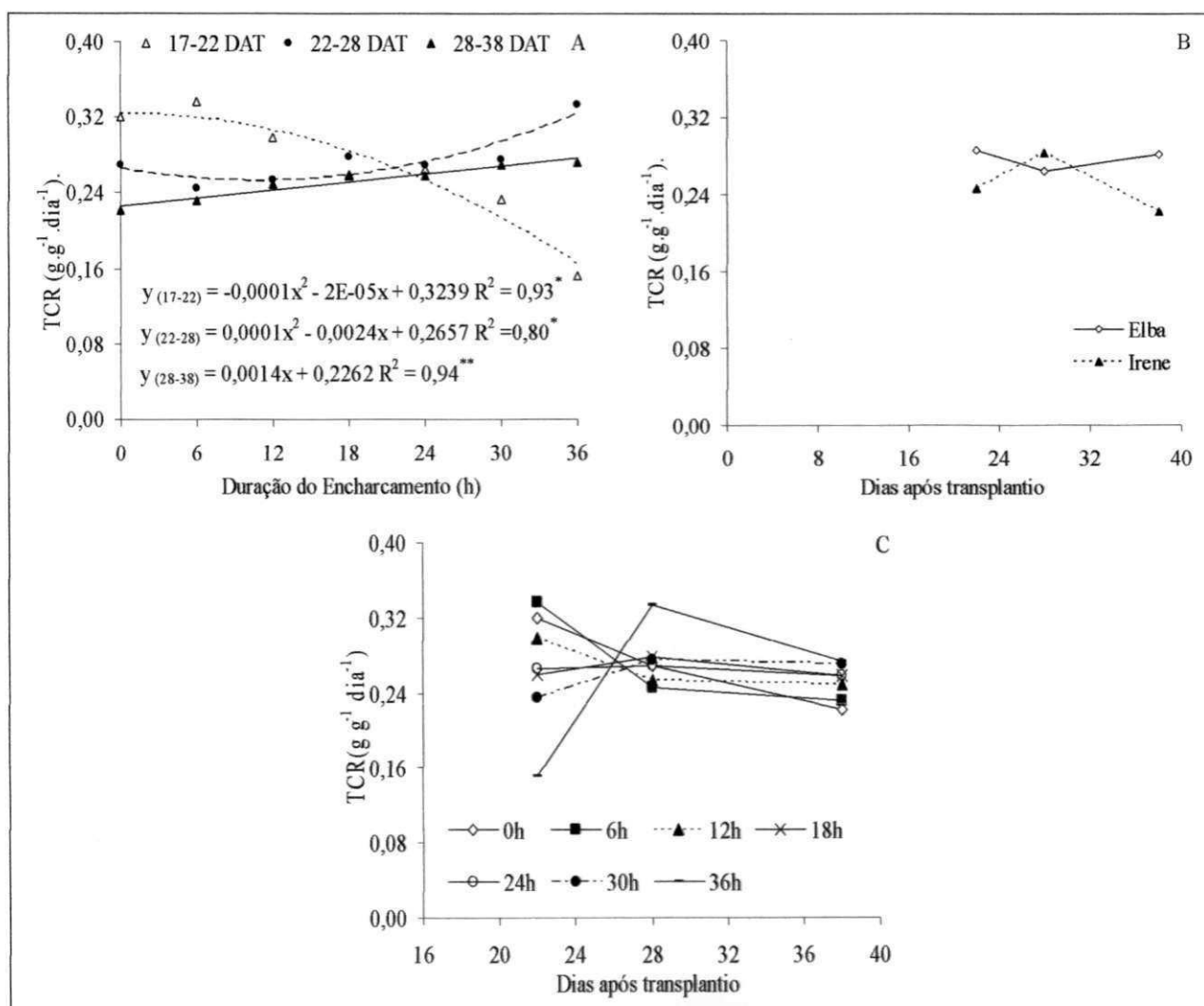


Figura 19 – Taxa de crescimento relativo (TCR) de plantas de alface em três épocas diferentes em função da duração do encharcamento (A), variação temporal da TCR para cultivar (B) e nível de encharcamento (C). Campina Grande, PB, 2007

4.2. Experimento II

4.2.1. Variáveis de Crescimento

4.2.1.1. Número de folhas (NF)

Nas avaliações realizadas aos 5 e 10 DATr houve efeito significativo da duração do encharcamento (DE) sobre o número de folhas, as quais também variaram em função do genótipo, mas sem ser significativo o efeito da interação entre esses fatores. Segundo as equações de regressão (Figura 20A), o modelo a que melhor se ajustaram os dados, aos 5 DATr, foi o linear e quadrático aos 10 DATr, com reduções no maior tempo de duração do encharcamento (DE_{48}) de 14,12% e 9,47%, respectivamente, em relação a DE_0 . De acordo com Beltrão et al. (1997), a redução ou deficiência total de oxigênio no solo causa, entre outras modificações, o fechamento dos estômatos com conseqüente redução na taxa de fotossíntese, o que se pode relacionar à redução no número de folhas emitidas.

Segundo Fagéria (1989), as reduções do tamanho e do número de folhas são mecanismos usados pelas plantas para manter a absorção de água e reduzir a taxa de transpiração, quando da exposição a estresses hídricos.

Não houve diferença significativa do fator 'duração do encharcamento' sobre o número de folhas na avaliação realizada no momento da colheita (32 DAT que corresponde a 20 DATr inicial), Tabela 22; no entanto, foi significativa a interação C x DE na avaliação final, denotando-se pelos dados do desdobramento, contidos nas Tabelas 23 e 24, que o efeito do estresse anoxítico foi diferente entre os genótipos. Embora não tenha variado o NF na cv. Elba, em todos os tempos de 'DE', este genótipo produziu mais folhas que a 'Irene'; entretanto, neste último genótipo o NF aumentou, linearmente, da ordem de 0,03 folhas por cada incremento de 1 hora na duração do encharcamento, conforme se depreende da equação contida na Figura 20A.

Quanto ao número de encharcamento (um - NE_1 ou dois - NE_2), reduziu-se o número de folhas (NF) em 3,15% quando as plantas foram expostas a dois encharcamentos.

Nas três épocas em que se avaliou esta variável, a cultivar Elba foi significativamente ($p < 0,05$ aos 5 DATr e $p < 0,01$ em 10 e 20 DATr) maior que a

Irene, com acréscimos de 7,69%, 6,77% e 11,91%, respectivamente; verifica-se que a diferença foi ampliada na última avaliação, o que pode ser indicativo de maior recuperação pós estresse da 'Elba' (Tabela 22 e Figura 20 C).

De acordo com o desdobramento do fator 'C' em cada duração do encharcamento, verifica-se que as condições de estresse por encharcamento impostas à alface (Tabela 23) resultaram, em todos os tempos, em superioridade da Elba sobre a Irene em relação ao NF; no entanto, com o aumento do 'DE' a diferença entre as duas foi sendo reduzida, a ponto de que para DE₄₈ a Elba superou em apenas 6,15% a Irene, denotando que com o tempo de exposição à anoxia as cultivares tendem a responder de forma mais semelhante (Tabela 23 e Figura 20B).

Tabela 22 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para número de folhas (NF) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrado médio		
	NF 5	NF 10	NF 20
Bloco	0,100000 ^{ns}	0,700000 ^{ns}	0,437500 ^{ns}
Cultivar (C)	3,675000*	6,075000**	75,000000**
Duração do encharcamento (DE)	2,533333*	2,979167**	0,111111 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	7,704167**	5,104167	-
Reg. Pol. Quadr.	2,169643 ^{ns}	5,502976**	-
Reg. Pol. Cúbica	0,129762 ^{ns}	0,654762 ^{ns}	-
C x DE	0,133333 ^{ns}	1,137500 ^{ns}	2,777778*
Nº de encharcamento (NE)			6,750000**
C x NE			0,083333 ^{ns}
DE x NE			0,305556 ^{ns}
DE x NE x C			0,527778 ^{ns}
Resíduo	0,562963	0,496296	0,704167
Trat x Test. Elba			5,510417**
Trat x Test. Irene			0,001157 ^{ns}
Tratamento			7,293028**
CV (%)	7,94	5,12	3,77
	Médias		
Cultivar			
Elba	9,800000a	14,200000a	23,500a
Irene	9,100000b	13,300000b	21,000b
Número de encharcamento			
Um (NE ₁)			22,625a
Dois (NE ₂)			21,875b

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Tabela 23 – Desdobramento da interação duração do encharcamento e cultivar (DE x C) e médias para número de folhas (NF), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios			
	Elba	Irene		
Duração do encharcamento				
Reg. Pol. Linear	2,70000 ^{ns}	4,033333 [*]		
Reg. Pol. Quadr.	0,000000 ^{ns}	0,000000 ^{ns}		
Reg. Pol. Cúbica	0,300000 ^{ns}	1,633333 ^{ns}		
Residou	0,704167	0,704167		
Valores médios				
Cultivar	DE ₁₂	DE ₂₄	DE ₃₆	DE ₄₈
Elba	24,000a	23,500a	23,500a	23,000a
Irene	20,333b	21,167b	20,833b	21,667b

(^{**}) Efeito significativo a 1% e (^{*}) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p<0,05)

Conforme a Tabela 22 ocorreu diferença significativa no contraste (Tratamento x Test. Elba); após o seu desdobramento (Tabela 24), observa-se que a testemunha, quando comparada com plantas sob um encharcamento (NE₁), diferiu estatisticamente do maior nível de encharcamento (DE₄₈); já em relação às plantas submetidas a dois encharcamentos (NE₂), com exceção de DE₁₂, todas foram significativamente inferiores à testemunha. Denota-se, com base nos resultados, sensibilidade da cultivar Elba, em termos de NF, a estresses anoxítico, sendo mais acentuados os sintomas quando da exposição das plantas a mais de um encharcamento durante o ciclo. Reduções no número de folhas também foram observadas por Silva et al. (2005) estudando o efeito de diferentes níveis de encharcamento (0 a 11 dias) sobre o crescimento do algodoeiro herbáceo.

Tabela 24 – Desdobramento do contraste (Tratamento x Test. Elba) e valores médios de número de folhas (NF) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface

Tratamentos	Quadrados Médios	Médias
	ELBA	
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	0,666667 ^{ns}	24,167
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	2,041667 ^{ns}	23,500
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	2,666667 ^{ns}	23,667
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	3,375000 [*]	23,333
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	2,041667 ^{ns}	23,667
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	5,041667 [*]	23,333
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	3,375000 [*]	23,000
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	8,166667 ^{**}	22,500
Testemunha de Elba	-	24,833
CV(%)	3,72	

(^{**}) Efeito significativo a 1% e (^{*}) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

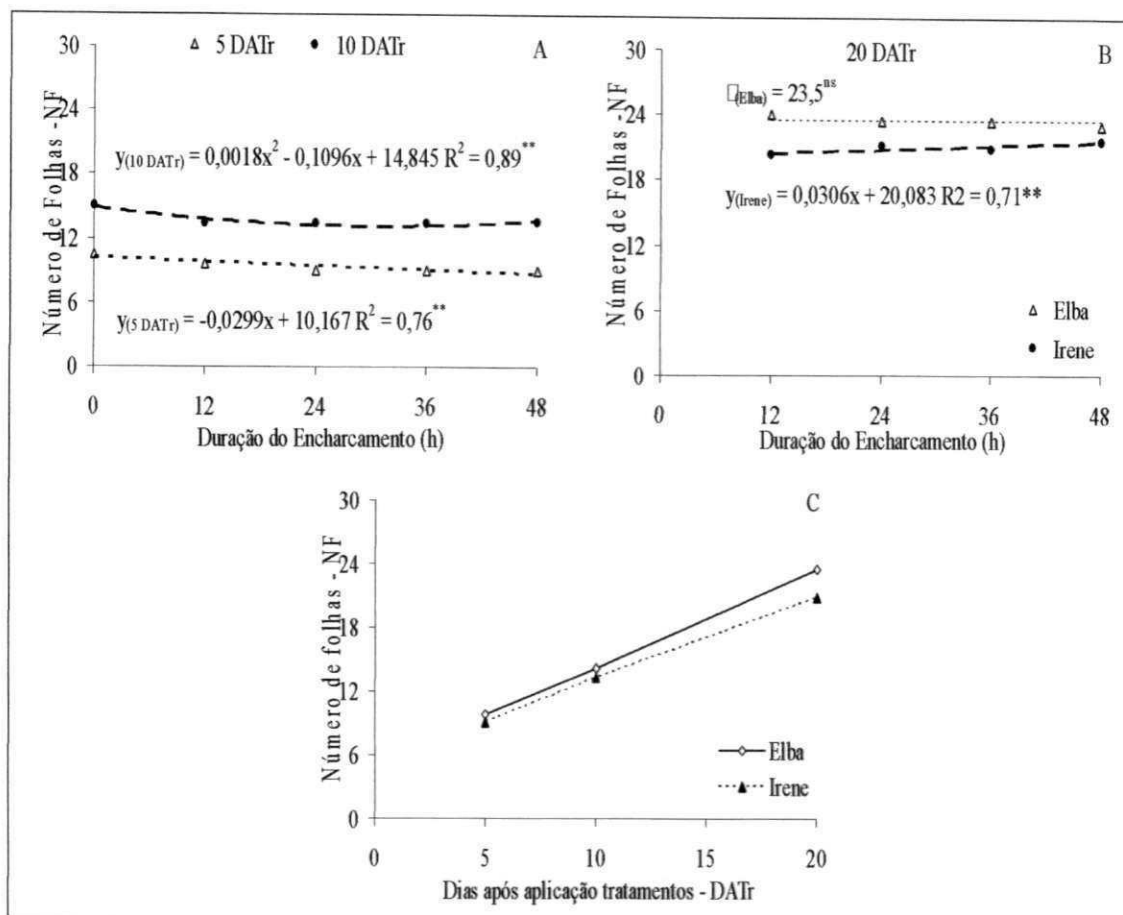


Figura 20 – Número de folhas de alfaca aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A), aos 20 DATr (B) e variação temporal do NF por cultivar (C). Campina Grande, PB, 2007

4.2.1.2. Diâmetro do caule (DC)

Conforme análise de variância (Tabela 25) o fator duração do encharcamento não afetou significativamente o diâmetro do caule das plantas em nenhuma das avaliações (5, 10 e 20 DATr), o que também aconteceu no primeiro experimento. Tais observações são diferentes das relatadas por Yamamoto et al. (1995) e Pimenta et al. (1996), que citam haver hipertrofia do caule de plantas, como consequência de alagamento, geralmente associada à formação de aerênquimas.

Na Tabela 25, vê-se não ter ocorrido efeito interativo dos fatores (DE, C e NE), denotando que o efeito da DE e de NE sobre as cultivares, ocorreu de forma semelhante.

Quanto ao fator cultivar, verifica-se efeito significativo ($p < 0,01$) na última avaliação, quando a cv. Elba superou a Irene em 11,62%. Denota-se que este fato ocorra

devido a características próprias das cultivares. Observando a Figura 21, visualiza-se melhor o comportamento das cultivares, ao longo do tempo.

Os números de encharcamentos (NE) propiciaram comportamento diferenciado entre as plantas (Tabela 25) em relação ao DC, de forma que houve efeito significativo ($p < 0,05$), na avaliação realizada aos 20 DATr. As plantas, quando expostas a dois encharcamentos, desenvolveram maior diâmetro do caule (hipertrofia), sendo 3,28% superior às do encharcamento simples. Pires et al. (2002), após estudarem as adaptações morfológicas da soja em solo inundado, constataram que a hipertrofia do caule foi a característica mais evidente na diferenciação da tolerância à inundação entre cultivares.

Tabela 25 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamento para diâmetro do caule (DC) e altura de caule (AC) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios					
	DC 5	DC 10	DC 20	AC 5	AC 10	AC 20
Bloco	0,00348 ^{ns}	0,00904 ^{ns}	0,005502 ^{ns}	0,032160 ^{ns}	0,027771 ^{ns}	0,134090 ^{ns}
Cultivar (C)	0,00091 ^{ns}	0,00420 ^{ns}	0,374533 ^{**}	0,214207 ^{**}	1,121333 ^{**}	17,41225 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,01481 ^{ns}	0,02195 ^{ns}	0,006878 ^{ns}	0,014957 ^{ns}	0,050260 ^{ns}	0,059124 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,00026 ^{ns}	0,02282 ^{ns}	0,012327 ^{ns}	0,035770 ^{ns}	0,000042 ^{ns}	0,160684 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	0,00450 ^{ns}	0,06081 ^{ns}	0,007500 ^{ns}	0,017286 ^{ns}	0,001905 ^{ns}	0,004219 ^{ns}
Reg. Pol. Cúb.	0,02724 ^{ns}	0,00208 ^{ns}	0,000807 ^{ns}	0,003386 ^{ns}	0,099548 ^{ns}	0,012470 ^{ns}
C x DE	0,00275 ^{ns}	0,02346 ^{ns}	0,032033 ^{ns}	0,019797 ^{ns}	0,053260 ^{ns}	0,022102 ^{ns}
Nº encharcam. (NE)			0,002344 [*]			0,005230 ^{ns}
C x NE			0,002133 ^{ns}			0,427519 ^{**}
DE x NE			0,000511 ^{ns}			0,024224 ^{ns}
DE x NE x C			0,002544 ^{ns}			0,010319 ^{ns}
Resíduo	0,003733	0,009067	0,004671	0,024470	0,021081	0,053652
Trat x Test. Elba			0,008091 ^{ns}			1,673056 ^{**}
Trat x Test. Irene			0,004492 ^{ns}			0,356891 ^{**}
Tratamento			0,026671 ^{**}			1,409493 ^{**}
CV (%)	6,61	7,68	4,24	15,62	8,63	7,42
	Médias (cm)					
Cultivar						
Elba	0,919	1,252	1,700a	1,086a	1,877a	3,722a
Irene	0,930	1,228	1,523b	0,917b	1,490b	2,518b
Nº de encharcamento						
Um (NE ₁)			1,586b			3,141
Dois (NE ₂)			1,638a			3,098

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Quanto aos contrastes ‘Tratamento x Test. Elba’ e ‘Tratamento x Test. Irene’ também não foi visto diferença significativa (Tabela 25).

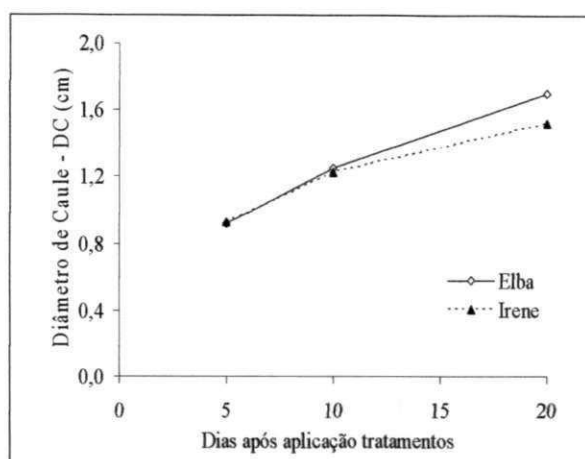


Figura 21 – Variação temporal do diâmetro de caule de cultivares de alface em Campina Grande, PB, 2007

4.2.1.3. Altura de caule (AC)

Segundo Bueno (1998), o comprimento e o diâmetro do caule são duas características de relativa importância para a cultura da alface, uma vez que é indesejável, para a indústria, um caule que apresente grandes proporções.

De acordo com a análise de variância (Tabela 25) dos dados de altura de caule, não houve efeito significativo do fator duração do encharcamento sobre esta variável, nas três épocas de avaliação (5, 10 e 20 DATr); porém, houve diferença significativa ($p < 0,01$) em todas as épocas para o fator cultivar; a cv Elba foi superior à Irene, em todas elas, apresentando acréscimos de 18,43%, 25,97% e 47,82% aos 5, 10 e 20 DATr, respectivamente (Tabela 25). Este aumento do crescimento da parte aérea pode ser uma característica da própria cultivar devido algumas enrolarem suas folhas para formar cabeça (Irene) enquanto outras como a Elba, as folhas crescem sem formação de cabeça.

Em relação ao fator número de encharcamento (NE), verifica-se que o mesmo não influenciou significativamente a variável altura de plantas; porém, houve interação entre os fatores ‘C x NE’ aos 20 DATr (Tabela 25 e Figura 22B), indicando que o efeito do número de encharcamentos sobre a variável AC, variou em função das cultivares. Deste modo, na Tabela 26 está exposto o desdobramento do efeito das cultivares dentro dos números de encharcamento e vice-versa; pode-se observar que a

cultivar Elba, quando exposta a um e dois encharcamentos do solo, apresentou um acréscimo, em altura, em relação à Irene de 38,59% e 57,99%, respectivamente; esta cultivar não diferiu estatisticamente quando exposta às duas condições de encharcamento; já a Irene apresentou uma redução em tamanho do caule, de 9,62% quando da aplicação de dois encharcamentos 'NE₂' em relação a 'NE₁', mostrando-se mais sensível à ocorrência de mais de um estresse durante o ciclo. Na Figura 22A pode visualizar melhor o comportamento das cultivares em relação aos números de encharcamentos ao longo do tempo.

Na Tabela 25 se observa efeito significativo do contraste envolvendo tratamentos e as testemunhas, em que, após o desdobramento (Tabela 27) as testemunhas de Elba e Irene foram superiores às plantas expostas aos outros tratamentos, em termos de AC. Em relação à Irene, vê-se que os tratamentos DE₁₂ e DE₃₆ (em NE₁ e NE₂) não diferiram estatisticamente da testemunha, devido, possivelmente, à variação que houve entre as médias dentro de cada tratamento; no entanto, as médias foram inferiores à testemunha. Segundo Bradford & Yang (1981) alguns sintomas apresentados por plantas sob estresse anoxítico, como redução do crescimento, podem ser considerados mecanismos fisiológicos de adaptação a esta situação.

Tabela 26 – Desdobramento da interação (C x NE) e médias para altura de caule (AC), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Valores médios (cm)	
	NE ₁	NE ₂
Cultivar		
Elba	3,649aA	3,795aA
Irene	2,633bA	2,402bB

Médias seguidas de mesma letra na vertical e na horizontal não diferem entre si (p<5%); Letras minúsculas na vertical comparam as cultivares e letras maiúsculas na horizontal comparam os números de estresse dentro de cada cultivar

Tabela 27 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de altura de caule (AC) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface

Tratamentos	ELBA		IRENE	
	QM	Médias (cm)	QM	Médias (cm)
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	1,550417**	3,497	0,185504 ^{ns}	2,530
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	0,721067**	3,613	0,487350**	2,537
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	1,215000**	3,753	0,178538 ^{ns}	2,703
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	0,862604**	3,730	0,322017*	2,758
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	0,866400**	3,820	0,047704 ^{ns}	2,312
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	0,707267**	3,755	0,326667*	2,418
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	0,920417**	3,827	0,022817 ^{ns}	2,415
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	0,817704**	3,775	0,275204*	2,453
Testemunha	-	4,513	-	2,882
CV(%)				6,88

(*) Efeito significativo a 1% e () a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

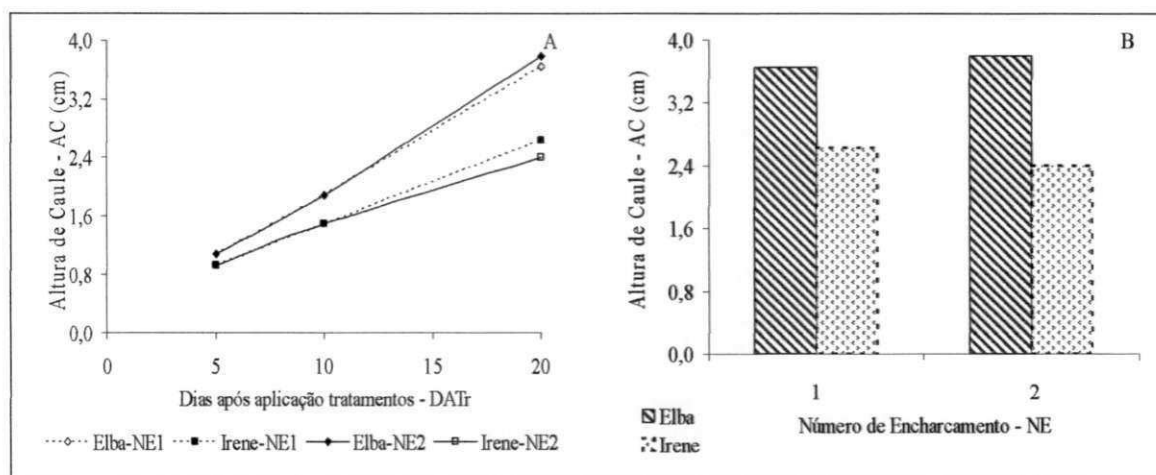


Figura 22 – Altura de caule de cultivares de alface em variação temporal (A) e por número de encharcamento (B). Campina Grande, PB

4.2.1.4. Fitomassa fresca (FFPA) e seca da parte aérea (FSPA)

Tem-se, na Tabela 28, o resumo da análise de variância para fitomassa fresca da parte aérea, em avaliações realizadas aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Nas cultivares se observou efeito significativo ($p < 0,01$) apenas na última avaliação; já no fator duração do encharcamento foi verificada efeito significativo ($p < 0,01$) nas três épocas de avaliação e para o fator número de encharcamento não foi constatado efeito estatístico significativo para a época em que foi analisado (20 DATr); houve, ainda, efeito significativo ($p < 0,01$) da interação entre cultivar e duração do encharcamento, nas avaliações feitas aos 5, 10 e 20 DATr, assim como interação significativa ($p < 0,01$) entre 'C x NE x DE' aos 20 DATr.

Conforme o desdobramento do fator duração do encharcamento 'DE' em cada cultivar 'C' aos 5 e 10 DATr (Tabela 29), observa-se que as condições de estresse por deficiência de oxigênio no solo imposto à alfaca, resultaram em reduções da FFPA a partir de DE_0 . Segundo as equações de regressão (Figura 23A e 23B) aos 5 DATr, o fator 'DE' afetou a FFPA de forma quadrática para Elba e linear para Irene, provocando reduções de 47,24% (Elba) e 37,96% (Irene) para DE_{48} , comparado a DE_0 ; aos 10 DATr houve decréscimos da FFPA, onde os dados se ajustaram melhor ao modelo linear (Elba) e quadrático (Irene), com reduções de 24,38% (Elba) e 27,78% (Irene) nas DE_{48} , respectivamente, comparados a DE_0 . De acordo com os decréscimos observados, verifica-se que, após certo tempo pós-estresse, as cultivares tendem a apresentar maior tolerância ao encharcamento, de forma que as perdas vão sendo reduzidas. Severino et al. (2004), estudando a cultura da mamoneira sob estresse por encharcamento do solo (variando de 0 a 10 dias), citam que as plantas submetidas a encharcamento por curtos períodos de tempo, retornam o crescimento após a suspensão do estresse. Resultado semelhante quanto ao aumento da tolerância com o incremento de tempo para FFPA, foi verificado no primeiro experimento. Outros autores também constataram redução do crescimento da parte aérea quando da exposição a solos com baixo teor de oxigênio, entre eles Letey et al. (1962) com as culturas de feijão, girassol e algodão.

Na Tabela 30 consta o desdobramento da interação significativa aos 20 DATr, entre DE x NE x C, em relação à fitomassa fresca da parte aérea (FFPA); isto é sinal de que o efeito do encharcamento variou entre as cultivares e com os números de encharcamentos. Os modelos matemáticos com as devidas representações gráficas da FFPA, estão apresentados nas Figuras 23C e 23D.

Conforme as curvas de regressão para FFPA a partir do desdobramento houve diferença significativa para FFPA apenas para as interações 'DE x cv. Elba x NE_2 ' e 'DE x cv. Irene x NE_1 ' onde o modelo matemático que melhor ajustou os dados foi o linear, ocorrendo reduções da entre DE_{12} e DE_{48} de 17,45% e 31,53%, respectivamente. Denota-se, em relação aos resultados, que os efeitos sentidos pelas cultivares foram mais expressivos devido ao estresse inicial.

Tabela 28 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e seca (FSPA) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios					
	FFPA 5	FFPA 10	FFPA 20	FSPA 5	FSPA 10	FSPA 20
Bloco	1,8008 ^{ns}	24,2828 ^{ns}	605,7301*	0,0375 ^{ns}	0,0483 ^{ns}	0,7882 ^{ns}
Cultivar (C)	20,008 ^{ns}	21,5477 ^{ns}	28743,44**	0,0162 ^{ns}	0,1432 ^{ns}	12,1847**
Duração do encharcamento (DE)	170,461**	897,807**	1781,775**	0,2271**	0,8605**	0,2811 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	456,780**	527,622**	5049,920**	0,1438*	2,0377**	0,8106 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	184,379**	1405,69**	266,4919 ^{ns}	0,7014**	0,6171*	0,0109 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica	20,3434 ^{ns}	828,958**	28,9120 ^{ns}	0,0316 ^{ns}	0,3936 ^{ns}	0,0218 ^{ns}
Cv. x DE	25,9577*	393,470**	1716,021**	0,1141 ^{ns}	0,2294 ^{ns}	0,7052 ^{ns}
Nº encharcam. (NE)			205,8114 ^{ns}			0,1757 ^{ns}
C x NE			478,1719 ^{ns}			0,5064 ^{ns}
DE x NE			256,7081 ^{ns}			0,2162 ^{ns}
DE x NE x C			413,5458*			0,2174 ^{ns}
Resíduo	5,8618	46,9444	116,2237	0,0320	0,1263	0,4175
Trat x Test. Elba			4572,860**			12,6458**
Trat x Test. Irene			15459,23**			8,7129**
Tratamento			3990,369**			1,2213**
CV (%)	7,55	8,77	6,54	9,69	9,66	7,53
	Médias (g)					
Cultivar						
Elba	31,253	77,240	140,490b	1,821	3,747	9,087a
Irene	32,887	78,935	189,431a	1,868	3,609	8,079b
Nº de encharcamento						
Um (NE ₁)			170,940a			8,462
Dois (NE ₂)			158,981b			8,704

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Tem-se na Tabela 30, que a cultivar Irene superou a Elba, em termos de FFPA, quando da exposição a todas as durações de encharcamento (12, 24, 36 e 48 horas) tal como nas quantidades de encharcamentos (NE₁ e NE₂) dentro de 'DE'. Este resultado é muito importante do ponto de vista econômico, visto que, no momento da comercialização da alface, um dos pontos que favorecem o comércio é a quantidade de massa fresca do produto. Verifica-se ainda que as cultivares produziram menor quantidade de massa fresca após terem sido submetidas a dois encharcamento em relação a um encharcamento, assim como as durações de encharcamento provocaram reduções na massa fresca das culturas, à medida em que o tempo do encharcamento foi aumentado.

De acordo com a análise de variância (Tabela 28) as durações de encharcamento (DE) influenciaram significativamente ($p < 0,01$) e de forma negativa, a

fitomassa seca da parte aérea (FSPA), aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento. Para ambas as datas, os dados se ajustaram melhor ao modelo de regressão quadrática (Figura 24A), verificando-se decréscimos da FSPA aos 5 DATr de 9,21% e aos 10 DATr de 17,48% na duração de encharcamento mais elevada (48 horas) em comparação a testemunha. Na avaliação final não se constatou efeito do estresse anoxítico sobre as plantas como também não ocorreu interação significativa entre os fatores. Isso mostra que as cultivares tendem a recuperar a produção de massa vegetal com o passar do tempo de ocorrência do encharcamento, denotando certa tolerância. A FSPA aos 20 DATr da cultivar Elba foi significativamente superior à Irene; já em relação aos tipos de encharcamento, as plantas não diferiram significativamente (Tabela 28).

Com base nos citados decréscimos e resultado da avaliação final, observa-se que a tolerância da alface (cultivares Elba e Irene), frente ao aumento das durações e números de encharcamentos, foi crescente com o tempo, de forma que na análise final não se observou diferença significativa entre as plantas submetidas aos estresses, em relação à FSPA. Pires et al. (2002), trabalhando com a cultura da soja não verificaram diferença na matéria seca da parte aérea das plantas, pela inundação do solo, em relação à capacidade de campo.

Mingoti et al. (2006) em experimento com a cultura da alface submetida a períodos de inundação e velocidades de rebaixamento do lençol freático, também constataram que o período mais crítico em relação à produção de massa seca da parte aérea, foi o inicial, eles verificaram redução da FSPA das plantas estressadas superior a 35% em comparação com a testemunha.

Na Figura 23E e 24B visualiza-se melhor o comportamento das cultivares durante o período experimental em relação à FFPA e FSPA, respectivamente.

Observa-se haver diferença significativa nos contrastes (tratamentos versus testemunhas) para FFPA e FSPA (Tabela 28), de forma que se pode observar, no desdobramento (Tabela 31), que as testemunhas (Elba e Irene) diferiram estatisticamente ($p < 0,01$) dos tratamentos. Com base nas médias, tem-se que, com o aumento da duração e do número de encharcamento, houve redução acentuada da FFPA e da FSPA. Segundo Drew (1997), a produção de biomassa na planta é resultante da fotossíntese; portanto, sob alagamento, a taxa de crescimento relativo é reduzida; o autor cita ainda que, esses resultados têm sido verificados em plantas herbáceas e na

maioria das arbóreas. Comparando-se o presente trabalho com a citação, supõe-se que a alface tende a apresentar sintomas semelhantes.

Tabela 29 – Desdobramento da interação (DE x C) e médias para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios			
	5 DAE		10 DAE	
Duração do encharcamento	Elba	Irene	Elba	Irene
Reg. Pol. Linear	338,352083**	139,96800**	267,605*	260,044*
Reg. Pol. Quadr.	219,65720**	19,203810 ^{ns}	0,461 ^{ns}	2739,848**
Reg. Pol. Cúbica	0,321524 ^{ns}	33,926095*	160,269 ^{ns}	788,308**
Residou	5,861769	5,861769	46,944	46,9444

DE x C	Valores médios (g)			
	Elba	Irene	Elba	Irene
DE ₀	42,700a	40,100a	86,733b	108,467a
DE ₁₂	31,967a	30,600a	71,933a	55,633b
DE ₂₄	26,817b	33,600a	81,733a	72,350a
DE ₃₆	25,783b	31,067a	76,067a	73,325a
DE ₄₈	29,000a	29,067a	69,733b	84,900a

(*) Efeito significativo a 1% e (ˆ) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem entre si (p < 0,05)

Tabela 30 – Desdobramento da interação (DE x C x NE) e médias para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios			
	NE ₁		NE ₂	
Duração do encharcamento	Elba	Irene	Elba	Irene
Reg. Pol. Linear	423,738375 ^{ns}	5510,416667**	701,784000*	433,359375 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	18,875208 ^{ns}	592,207500*	116,563333 ^{ns}	46,610208 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica	12,742042 ^{ns}	30,104167 ^{ns}	66,992667 ^{ns}	20,126042 ^{ns}
Residou	116,223719	116,223719	116,223719	116,223719

Cultivar	Valores médios (g)							
	DE ₁₂		DE ₂₄		DE ₃₆		DE ₄₈	
	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂
Elba	153,0bA	152,1bA	143,3bA	134,8bA	140,8bA	134,3bA	136,1bA	129,5bA
Irene	233,6aA	187,0aB	203,3aA	183,2bB	179,8aA	181,3aA	177,6aA	169,7aA

(*) Efeito significativo a 1% e (ˆ) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p < 0,05). Médias seguidas de mesma letra na vertical e na horizontal não diferem entre si (p < 0,05); Letras minúsculas na vertical comparam as cultivares e letras maiúsculas na horizontal comparam os tipos de estresse dentro de cada cultivar

Tabela 31 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e seca (FSPA) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)

Tratamentos	Quadrados Médios			
	FFPA		FSPA	
	ELBA	IRENE	ELBA	IRENE
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	1252,815000**	1529,989891**	7,124568**	3,792389**
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	1332,060000**	9267,883224**	4,862250**	3,863075**
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	2231,081667**	5825,798241**	11,192458**	4,663400**
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	3327,615000**	10173,271974**	4,958959**	3,838480**
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	2535,870417**	11026,335491**	8,894081**	5,904880**
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	3398,640000**	10648,104774**	4,177257**	6,370139**
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	3141,881667**	11621,456641**	7,665695**	5,803338**
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	4123,881667**	13791,571041**	9,579857**	5,364294**
CV(%)	6,81		7,47	
Valores Médios (g)				
DE ₁₂ x NE ₁	153,000	233,633	9,085	8,297
DE ₂₄ x NE ₁	143,333	203,250	8,533	8,123
DE ₃₆ x NE ₁	140,783	179,833	8,829	7,902
DE ₄₈ x NE ₁	136,133	177,550	9,004	7,920
DE ₁₂ x NE ₂	152,100	186,967	9,464	8,282
DE ₂₄ x NE ₂	134,800	183,217	9,446	8,287
DE ₃₆ x NE ₂	134,300	181,317	9,596	7,826
DE ₄₈ x NE ₂	129,467	169,683	8,737	7,995
Testemunha	181,900	265,571	11,264	9,887

(*) Efeito significativo a 1% e (ˆ) a 5% de probabilidade; (ns) não significativo a 5% de probabilidade

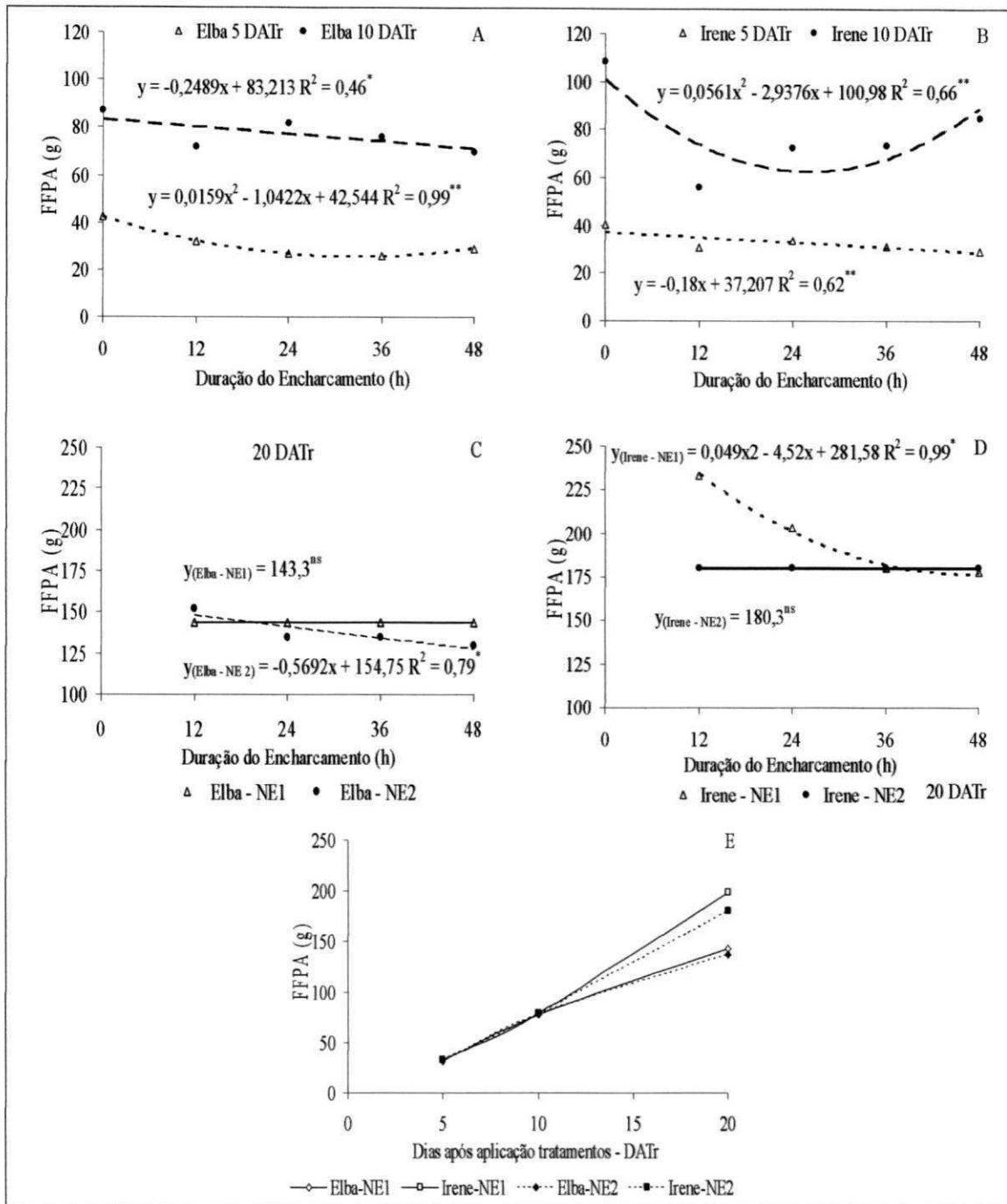


Figura 23 – Fitomassa fresca da parte aérea aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr na Cv. Elba (A) e na Cv. Irene (B), aos 20 DATr na Elba sob um encharcamento (NE₁) e dois (NE₂) (C) e na Irene (D) e variação temporal por cultivar (E). Campina Grande, PB, 2007

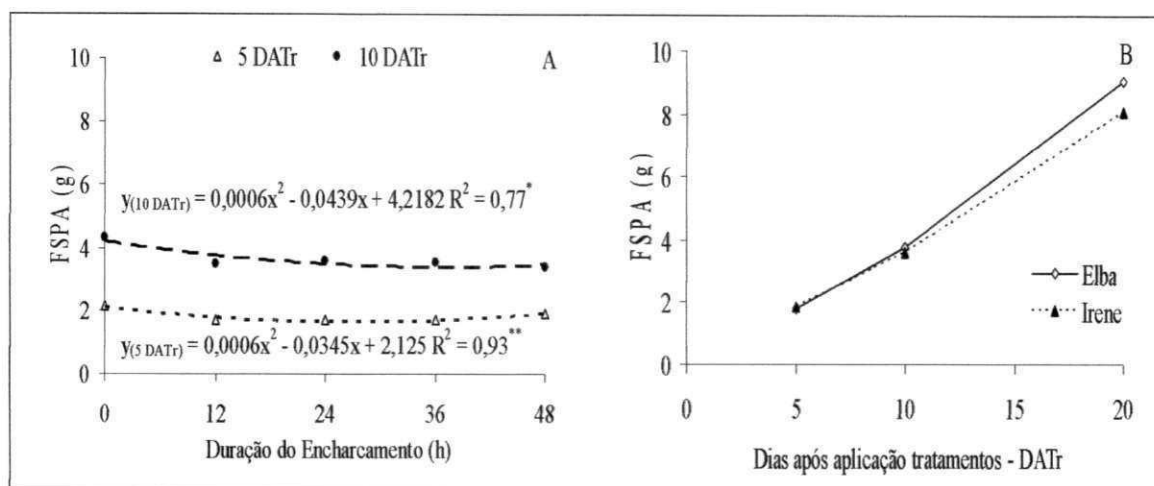


Figura 24 – Fitomassa seca da parte aérea aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal por cultivar de alface (B). Campina Grande, PB, 2007

4.2.1.5. Fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC)

Conforme análise de variância (Tabela 32) referente às avaliações realizadas aos 5, 10 e 20 DATr, constata-se que as durações do encharcamento (DE) afetaram significativamente ($p < 0,01$) a fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC) aos 5 e 20 DATr, respectivamente.

Observam-se na Tabela 32, valores significativos para a interação ‘DE x C’ em relação à FSF aos 5 DATr, indicando que o efeito dos níveis de encharcamento sobre a variável dependeu das cultivares e vice-versa. De acordo com o desdobramento da interação, o efeito do fator ‘DE’ em relação à ‘cv Elba’, foi quadrático, enquanto na ‘cv Irene’ foi linear, como pode ser melhor visualizado na Figura 25A. Conforme médias obtidas, houve decréscimos em relação a DE_0 de 0,29% para as plantas (Elba) expostas a DE_{48} , já para ‘DE em Irene’ os decréscimos foram de 21,71% para DE_{48} (Tabela 33); com os resultados, nota-se que as cultivares apresentaram comportamento diferenciado, dependendo da época; entretanto, no momento da colheita elas se mostram indiferente aos efeitos do estresse em relação à FSF, o que indica certa recuperação das mesmas.

Tabela 32 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios					
	FSF 5	FSF 10	FSF 20	FSC 5	FSC 10	FSC 20
Bloco	0,035343 ^{ns}	0,0285 ^{ns}	0,816390 ^{ns}	0,000398 ^{ns}	0,002596 ^{ns}	0,007558 ^{ns}
Cultivar (C)	0,014683 ^{ns}	0,0575 ^{**}	2,046828 [*]	0,000035 ^{ns}	0,019228 ^{**}	4,244136 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,234229 ^{**}	0,8328 ^{ns}	0,152025 ^{ns}	0,000537 ^{ns}	0,000623 ^{ns}	0,064280 ^{**}
Reg. Pol. Linear	0,177888 [*]	2,0111 ^{**}	0,401802 ^{ns}	0,001814 ^{ns}	0,000087 ^{ns}	0,070898 [*]
Reg. Pol. Quadr.	0,687402 ^{**}	0,6158 [*]	0,052404 ^{ns}	0,000071 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,111073 ^{**}
Reg. Pol. Cúbica	0,035812 ^{ns}	0,3522 ^{ns}	0,001870 ^{ns}	0,000131 ^{ns}	0,001202 ^{ns}	0,010868 ^{ns}
C x DE	0,097649 [*]	0,2289 ^{ns}	0,572907 ^{ns}	0,000702 ^{ns}	0,000292 ^{ns}	0,006936 ^{ns}
Nº encharcam. (NE)			0,154382 ^{ns}			0,036396 [*]
C x NE			0,599427 ^{ns}			0,004015 ^{ns}
DE x NE			0,201376 ^{ns}			0,069915 ^{**}
DE x NE x C			0,259087 ^{ns}			0,077617 ^{**}
Resíduo	0,0277	0,1088	0,3730	0,0006	0,0012	0,0118
Trat x Test. Elba			9,641070 ^{**}			0,203483 ^{**}
Trat x Test. Irene			7,310578 ^{**}			0,061482 [*]
Tratamento			1,355376 ^{**}			0,354007 ^{**}
CV (%)	9,55	9,45	7,79	23,39	18,39	14,65
	Médias (g)					
Cultivar						
Elba	1,72064	3,534743	8,048a	0,100497	0,212550a	1,039a
Irene	1,76488	3,447177	7,635b	0,102657	0,161917b	0,444b
Nº de encharcamento						
Um (NE ₁)			7,732			0,729
Dois (NE ₂)			7,950			0,754

(**) Efeito significativo a 1% e (*) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (P<0,05)

Observando-se as médias da FSF das cultivares aos 5 DATr (Tabela 32), vê-se que não houve diferença significativa entre as mesmas; no entanto, quando da realização do desdobramento da interação (Tabela 33), constatou-se que a cv Elba foi significativamente maior que a Irene em DE₄₈, e a Irene superou a Elba no DE₁₂ justificando, com isto o por quê da interação ter sido significativa. Pelos percentuais de decréscimos citados, verifica-se que as cultivares tendem a produzir menor massa seca com o incremento do nível de estresse. Alguns autores afirmam que a redução da massa seca da parte aérea das plantas é uma das mais afetada pelo encharcamento, em virtude desse estresse atuar sobre vários processos fisiológicos das plantas (Huang & Johnson, 1995; Huang et al., 1995; Albrecht et al., 1997); já de acordo com Pires et al. (2002), em trabalho realizado com a cultura da soja em condições de solo inundado (até 21 dias), verificou-se que o excesso de umidade no solo não afetou a produção de matéria seca, área foliar, teor de N nem matéria seca de nódulos. Conforme Joly & Brädle (1995), as

plantas das mais variadas espécies diferem muito em relação ao grau de tolerância ao estresse anoxítico.

Tabela 33 – Desdobramento da interação duração do encharcamento e cultivar (DE x C) e médias para fitomassa seca de folha (FSF), aos 5 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios				
	Elba	Irene			
Duração do encharcamento					
Reg. Pol. Linear	0,000063 ^{ns}	0,346387 ^{**}			
Reg. Pol. Quadr.	0,832550 ^{**}	0,067641 ^{ns}			
Reg. Pol. Cúbica	0,032581 ^{ns}	0,007854 ^{ns}			
Residou	0,028	0,028			
Valores médios (g)					
Cultivar	DE ₀	DE ₁₂	DE ₂₄	DE ₃₆	DE ₄₈
Elba	2,053a	1,464b	1,504a	1,609a	1,973a
Irene	2,081a	1,776a	1,725a	1,620a	1,622b

(^{*}) Efeito significativo a 1% e (^ˆ) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p < 0,05$)

Constata-se na Tabela 32, em relação à fitomassa seca do caule (FSC), efeito significativo ($p < 0,01$) da interação 'DE x C x NE' aos 20 dias após a aplicação dos encharcamentos cujo desdobramento está na Tabela 34. De acordo com o desdobramento, o fator 'DE' dentro de cada 'C' apresentou reduções significativas da FSC, sendo a cv. Elba superior à Irene, em todos os níveis (Figura 25C). Quanto ao número de encharcamentos vê-se diferença significativa apenas em relação à cultivar Elba que, em 'DE₁₂ x NE₁', as plantas foram superiores, em termos de FSC, às de 'DE₁₂ x NE₂' e no nível DE₃₆ ocorreu o inverso. Resultado concordando com a redução da massa seca do caule de plantas sob estresse anoxítico foi verificado também por Reis (2007), em estudo realizado com plantas jovens de Curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith) submetidas a alagamento por períodos variando de 0 a 20 dias.

Analisando-se a Figura 25B e D, observa-se melhor o comportamento das cultivares durante o período experimental em relação a FSF e FSC, respectivamente.

Tabela 34 – Desdobramento da interação (DE x C x NE) e médias para fitomassa seca de caule (FSC), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios							
	NE ₁		NE ₂					
	Elba	Irene	Elba	Irene				
Duração do encharcamento (DE)								
Reg. Pol. Linear	0,313493**	0,000000 ^{ns}	0,008449 ^{ns}	0,004183 ^{ns}				
Reg. Pol. Quadr.	0,325711**	0,009690 ^{ns}	0,006912 ^{ns}	0,006487 ^{ns}				
Reg. Pol. Cúbica	0,056980*	0,000936 ^{ns}	0,005920 ^{ns}	0,005861 ^{ns}				
Resíduo	0,011802	0,011802	0,011802	0,011802				
	Valores médios (g)							
Cultivar (C)	DE ₁₂		DE ₂₄		DE ₃₆		DE ₄₈	
	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂
Elba	1,45aA	0,99aB	0,85aA	1,02aA	0,89aB	1,11aA	0,95aA	1,04aA
Irene	0,45bA	0,50bA	0,41bA	0,48bA	0,38bA	0,40bA	0,46bA	0,47bA

(*) Efeito significativo a 1% e (**) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra na vertical e na horizontal não diferem entre si ($p < 0,05$); Letras minúsculas na vertical comparam as cultivares e letras maiúsculas na horizontal comparam os tipos de estresse dentro de cada cultivar

Verifica-se, com base na Tabela 32, haver diferença significativa entre os contrastes (Tratamentos x Testemunhas de Elba e Irene) para FSF e FSC. Analisando-se o desdobramento referente à FSF, encontram-se diferenças estatísticas ($p < 0,01$) entre as testemunhas (Elba e Irene) e os tratamentos. Com o aumento da 'DE' dentro de cada 'T₁' a Elba teve a FSF aumentada e em T₂ os valores foram superiores aos de T₁; no entanto, os resultados foram bastante inferiores aos da testemunha; em relação à Irene, o aumento do fator 'DE' dentro de cada número de encharcamento (NE) promoveu reduções da fitomassa seca de folhas, bem inferiores à testemunha. Observando os dados contidos na Tabela 35, contendo o desdobramento da FSC, constata-se que o comportamento foi diferente da FSF, de forma que a testemunha de Elba só não foi diferente estatisticamente das plantas expostas ao tratamento 'DE₁₂ x NE₁'; já em Irene praticamente não houve diferença significativa entre a testemunha e os tratamentos, ocorrendo apenas nos tratamentos 'DE₁₂ x NE₂' e 'DE₂₄ x NE₂'; entretanto, observando os dados médios, verifica-se que as testemunhas foram superiores às plantas estressadas; denota-se também, com base nesses resultados, a baixa resistência das cultivares ao encharcamento.

Tabela 35 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) e valores médios de fitomassa seca de folha (FSF) e de caule (FSC) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface

Tratamentos	Quadrados Médios			
	FSF		FSC	
	ELBA	IRENE	ELBA	IRENE
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	8,021138**	3,117316**	0,026560 ^{ns}	0,033056 ^{ns}
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	3,273771**	3,431787**	0,156574**	0,012760 ^{ns}
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	7,711654**	3,715112**	0,323222**	0,053837 ^{ns}
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	3,498892**	3,301084**	0,126978**	0,020254 ^{ns}
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	6,068897**	4,704573**	0,269134**	0,068117*
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	3,203097**	5,238060**	0,064574*	0,055334*
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	5,406453**	5,003331**	0,196711**	0,029653 ^{ns}
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	7,631935**	4,691123**	0,110582**	0,022558 ^{ns}
CV(%)	7,71		14,09	
Valores Médios (g)				
DE ₁₂ x NE ₁	7,637	7,849	1,448	0,448
DE ₂₄ x NE ₁	7,682	7,717	0,851	0,407
DE ₃₆ x NE ₁	7,938	7,520	0,891	0,383
DE ₄₈ x NE ₁	8,051	7,464	0,953	0,455
DE ₁₂ x NE ₂	8,472	7,778	0,992	0,504
DE ₂₄ x NE ₂	8,422	7,807	1,024	0,480
DE ₃₆ x NE ₂	8,488	7,422	1,108	0,404
DE ₄₈ x NE ₂	7,694	7,522	1,044	0,473
Testemunha	9,949	9,291	1,315	0,596

(**) Efeito significativo a 1% e (*) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

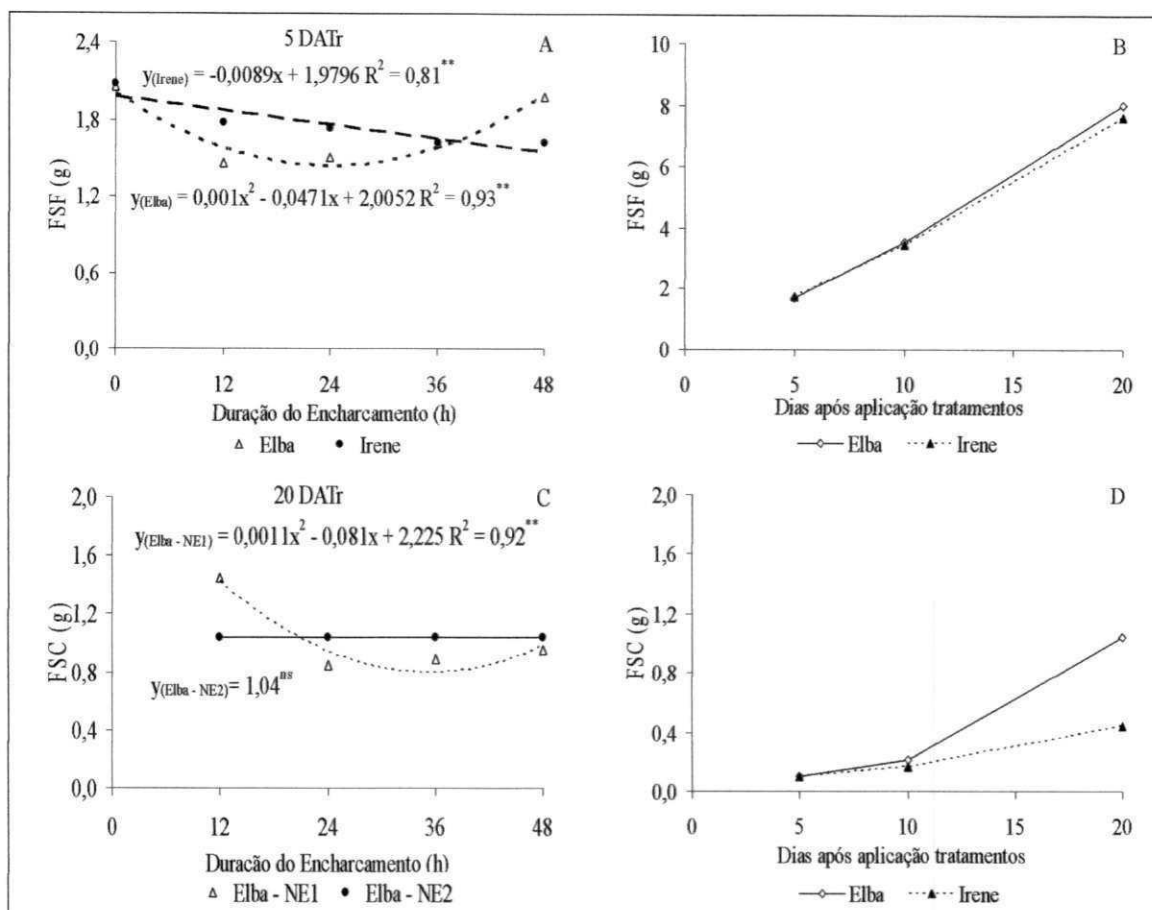


Figura 25 – Fitomassa seca de folha (FSF) de cultivares de alface aos 5 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal por cultivar (B), fitomassa seca de caule (FSC) aos 20 DATr (C) e variação temporal das cultivares em relação a FSC (D). Campina Grande, PB, 2007

4.2.1.6. Fitomassa seca de raiz (FSR) e total (FST)

Constata-se, através dos dados da Tabela 36, ter sido interativo o efeito dos fatores DE (duração do encharcamento) e C (cultivares) indicando, para a variável fitomassa seca de raiz que, o efeito do encharcamento variou entre as cultivares. Conforme a Figura 26A, contendo as curvas de regressão e os modelos matemáticos, pode-se visualizar melhor este resultado.

Na Tabela 37 consta o desdobramento da interação ‘DE x C’ aos 20 DATr, onde verifica-se que em todos as durações de encharcamento a Elba apresentou uma fitomassa seca de raiz superior à da Irene; no entanto, as plantas da cultivar Irene não mostraram diferença significativa em relação a ‘DE’ (Figura 26A); a Elba decresceu em FSR com o aumento do tempo de encharcamento, a partir de DE₁₂. Segundo Rodrigues et al. (1993) a redução do O₂ em solos inundados afeta o crescimento das raízes e da parte aérea; já Tessmer et al. (2004), trabalhando com a cultura do feijão (cv. IAPAR-

31) submetido a inundação do solo por períodos variando de 0 a 6 dias, concluiu que as raízes não foram afetadas pelas condições de restrição de O₂; neste trabalho, a cv Elba foi mais sensível ao encharcamento que a Irene, em relação à produção de FSR. Vê-se ainda, na Tabela 36, interação significativa entre os fatores 'DE x NE'. Conforme a Tabela 38, na qual consta o desdobramento, para os maiores níveis de encharcamento DE₃₆ e DE₄₈, as plantas expostas a um encharcamento, desenvolveram significativamente melhor que as do estresse duplo, mostrando que essas, quando sujeitas à condição de deficiência de oxigênio no solo por tempo prolongado e por mais de um período durante o seu ciclo, tendem a reduzir a produção de massa seca de raiz o que, certamente, compromete os demais órgãos da planta; tal resultado condiz com o apresentado por Vartapetian & Jackson (1997), em que, de acordo com os autores, o estresse causado pela falta de O₂ se intensifica com o tempo e com a passagem de hipoxia para anoxia.

Tabela 36 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para fitomassa seca de raiz (FSR) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	QM	
	FSR 20	FST 20
Bloco	3,375853*	7,375621**
Cultivar (C)	334,905219**	474,888718**
Duração do encharcamento (DE)	2,531911*	4,257397*
Reg. Pol. Linear	4,321508*	8,874645*
Reg. Pol. Quadr.	2,502990 ^{ns}	2,844567 ^{ns}
Desvio	0,771233 ^{ns}	1,052978 ^{ns}
C x DE	4,415927*	1,590316 ^{ns}
Nº de encharcamento (NE)	3,924940**	5,433611*
C x NE	2,299939 ^{ns}	4,964604 ^{ns}
DE x NE	2,200083*	2,521235 ^{ns}
DE x NE x C	0,756066 ^{ns}	1,167459 ^{ns}
Resíduo	0,691100	1,226572
Trat x Test. Elba	5,321390*	1,560711 ^{ns}
Trat x Test. Irene	1,221278 ^{ns}	16,458267**
Tratamento	22,700155**	33,353044**
CV (%)	13,21	7,45
Médias (g)		
Cultivar		
Elba	8,933a	18,020a
Irene	3,650b	11,729b
Nº de encharcamento		
Um (NE ₁)	6,595a	15,056
Dois (NE ₂)	5,988b	14,692

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Tabela 37 – Desdobramento da interação ‘DE x C’, ‘DE x NE’ e médias para fitomassa seca de raiz (FSR), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios			
	Elba		Irene	
Duração do encharcamento (DE)				
Reg. Pol. Linear	1,863518 ^{ns}		2,479975 ^{ns}	
Reg. Pol. Quadr.	3,683233 [*]		0,101270 ^{ns}	
Reg. Pol. Cúbica	8,463079 ^{**}		2,779476 ^{ns}	
Resíduo	0,691100		0,691100	
Valores médios (g)				
Cultivar (C)	DE₁₂	DE₂₄	DE₃₆	DE₄₈
Elba	9,96a	7,87a	9,21a	8,69a
Irene	3,99b	4,19b	2,99b	3,44b
Quadrados médios				
Duração do encharcamento (DE)	NE₁		NE₂	
Reg. Pol. Linear	0,025784 ^{ns}		9,612944 ^{**}	
Reg. Pol. Quadr.	0,104412 ^{ns}		3,664453 [*]	
Reg. Pol. Cúbica	0,509212 ^{ns}		0,279175 ^{ns}	
Resíduo	0,691100		0,691100	
Valores médios (g)				
Nº de encharcamento	DE₁₂	DE₂₄	DE₃₆	DE₄₈
Um (NE ₁)	6,68a	6,32a	6,74a	6,64a
Dois (NE ₂)	7,28a	5,74a	5,46b	5,48b

(^{**}) Efeito significativo a 1% e (^{*}) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p < 0,05$)

A fitomassa seca total (FST) foi influenciada significativamente ($p < 0,05$) pelo fator duração do encharcamento, aos 20 DATr (Tabela 36). Utilizando-se a equação de regressão, tem-se que o modelo que melhor ajustou os dados foi o linear (Figura 26C), verificando-se decréscimo da FST de 0,21% por aumento unitário da duração (hora) do encharcamento. Várias causas são atribuídas para justificar as disfunções que levam a redução do crescimento e desenvolvimento de plantas em solo com deficiência de O₂. Para Pezeshki (1994) a manutenção da energia metabólica seria a causa primária; o desbalanço nutricional e hormonal e suas relações com o crescimento de raízes e parte aérea, também são bastante documentados em plantas crescendo em condições de anoxia. Em função do citado, acredita-se na possível ocorrência de algum desses fatores para que a redução da FST tenha ocorrido neste trabalho.

Pode-se observar, ainda na Tabela 36, que as médias em relação ao número de encharcamento não diferiram; já as cultivares (Elba e Irene) tiveram resultados diferenciados, de forma que a Elba apresentou superioridade em termos de fitomassa seca total, comparada à Irene. Atentando-se para o resultado referente à FFRPA, constata-se o contrário, ou seja, a Irene apresentou maiores médias indicando que a Irene possui maior teor de água em suas folhas e conseqüentemente, é mais tenra, o que a favorece, do ponto de vista comercial; no entanto, é mais perecível.

Verifica-se haver diferença significativa nos contrastes (tratamentos versus Testemunha Elba) para FSR e (Tratamento x Testemunha Irene) em FST, segundo a Tabela 36. Analisando-se o desdobramento dos dados de FSR (Tabela 38), pode-se observar que as plantas quando da exposição a mais de um encharcamento e por maior tempo durante o ciclo, tiveram uma menor produção de massa radicular; quanto à fitomassa seca total (FST) o desdobramento expõe diferença significativa entre a Testemunha Irene e tratamentos, em todos os tratamentos dentro do NE₂, e em DE₁₂, DE₂₄ e DE₄₈ dentro de NE₁; na verdade a cv. Irene teve menor FST na maioria dos tratamentos em comparação com a testemunha, denotando que a cultivar de alface (Irene) quando exposta a condições adversas de disponibilidade de oxigênio no solo reduz a produção de massa seca em toda a planta.

Tabela 38 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba) para FSR, (Tratamento x Test. Irene) para FST e valores médios das variáveis (FSR e FST) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)

Tratamentos	FSR		FST	
	ELBA		IRENE	
	QM	Médias (g)	QM	Médias (g)
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	3,935142*	9,140	4,301321 ^{ns}	12,520
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	16,019736**	7,840	7,045567*	12,921
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	0,153536 ^{ns}	9,837	2,505770 ^{ns}	11,543
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	0,214061 ^{ns}	9,252	8,305502*	11,947
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	8,053660**	10,788	10,697756**	12,046
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	1,712966 ^{ns}	7,898	24,704293**	11,860
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	4,496965*	8,589	7,702701*	10,155
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	0,537124 ^{ns}	8,119	17,070247**	10,840
Testemunha	-	7,520	-	14,213
CV(%)	13,74		7,36	

(*) Efeito significativo a 1% e (ˆ) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

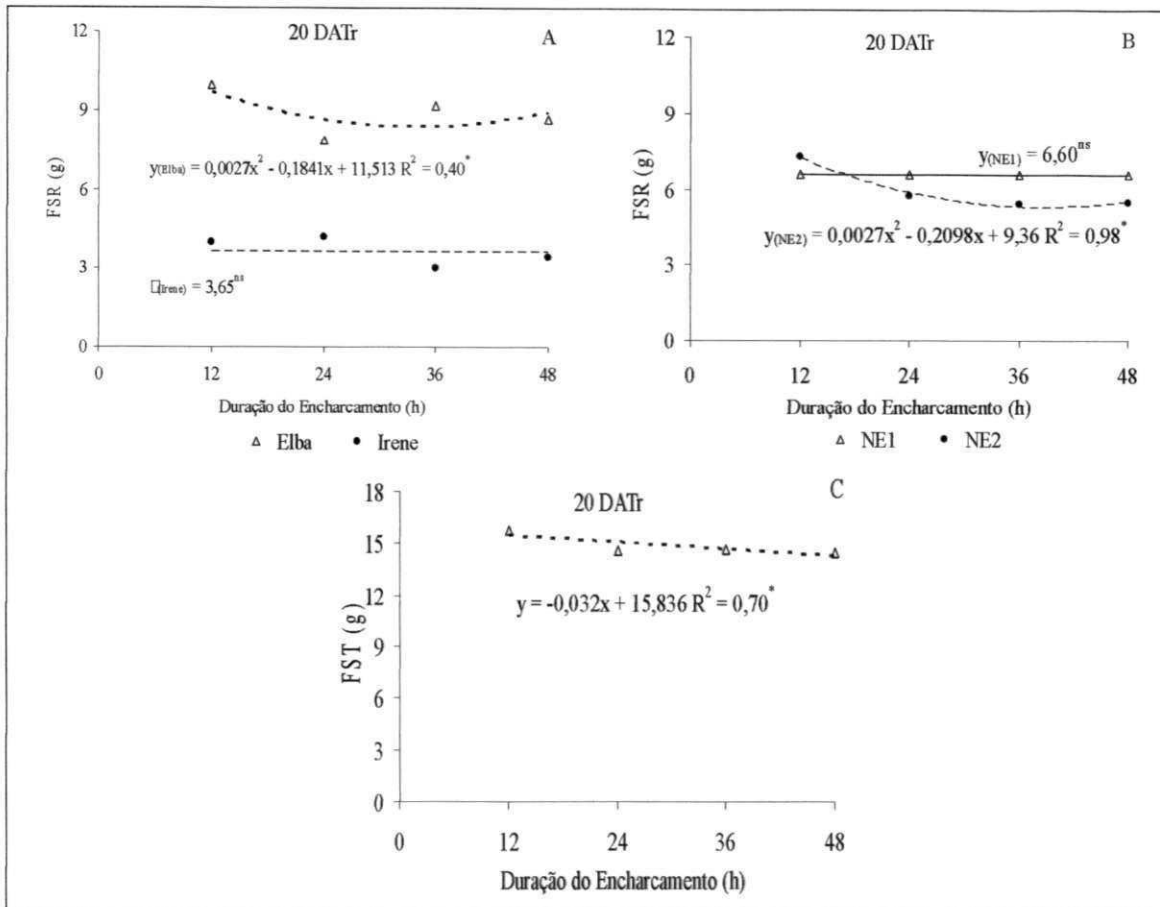


Figura 26 – Fitomassa seca de raiz (FSR) das cultivares de alface aos 20 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A), comportamento das cultivares em relação aos números de encharcamentos (B) e fitomassa seca total aos 20 DATr (C). Campina Grande, PB, 2007

4.2.1.7. Área foliar (AF)

Para a área foliar, o resumo da análise de variância expressa que nas avaliações efetuadas aos 5, 10 e 20 DATr (Tabela 39) houve efeito significativo ($p < 0,01$ nas duas iniciais e $p < 0,05$ na última análise) do fator encharcamento (DE) sobre as cultivares (C). Em relação ao fator número de encharcamento, não se constatou efeito significativo aos 20 DAE.

Conforme modelos matemáticos quadráticos (Figura 27A), a área foliar das plantas submetidas a DE_{48} decresceram 10,79% e 20,39% aos 5 e 10 DATr, respectivamente, comparados a DE_0 ; A literatura aponta outros trabalhos, nos quais se verifica redução da área foliar pelo excesso de umidade no solo; Crane & Davies (1988) estudando o comportamento de plantas de *Rabbiteye blueberry*, Huang et al. (1994) com a cultura do *Triticum aestivum*, Lizaso e Ritchie (1997) e Romero et al. (2003) com a

Zea mays observaram, a exemplo deste trabalho, redução da AF a medida em que o tempo de encharcamento foi prolongado.

Conforme os dados da Tabela 39, houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação entre 'cultivar x duração do encharcamento x número de encharcamento' aos 20 DATr. O desdobramento desta interação está apresentado na Tabela 41 e os modelos matemáticos são melhor visualizados na Figura 27B e 27C. O efeito do encharcamento variou entre as cultivares e com a quantidade de encharcamentos; tal como no primeiro experimento, verifica-se que a área foliar das plantas decresceu com o aumento das durações de encharcamento; no entanto, com o passar do tempo as plantas denotaram tolerância ao estresse.

Observa-se, na Tabela 40, que a cultivar Elba superou a Irene, em termos de área foliar, quando da exposição as durações de encharcamento (12, 24, 36 e 48 horas); na Figura 27D tem a exposição do comportamento das cultivares ao longo do tempo. Em se tratando da exposição das plantas a mais de um encharcamento, sendo um na fase inicial de desenvolvimento e outro próximo à colheita constata-se, em relação a AF, que a fase inicial é mais crítica, ou seja, as plantas sofrem mais; já quando as plantas apresentaram um desenvolvimento maior, o efeito do estresse não foi tão sentido por elas. Conforme Kawase (1981), o tempo de permanência do sistema radicular submerso e o estágio de desenvolvimento da cultura, são fatores determinantes para a reação da cultura ao estresse.

Para Levitt (1980), o murchamento das folhas é frequentemente o primeiro sintoma a ser notado, sobretudo se o estresse é imposto rapidamente e em condições atmosféricas favoráveis à transpiração; este sintoma proporciona a redução da AF.

Tessmer et al. (2004) desenvolvendo trabalho com a cultura do feijoeiro sob inundação (2, 4 e 6 dias) constataram, para esses períodos de estresse, que não ocorreram diferenças estatísticas significativas entre as plantas com relação à área foliar, demonstrando que, possivelmente, elas conseguiram desenvolver mecanismos de adaptação à situação de déficit de O_2 no solo; já conforme Magalhães et al. (2005) em estudos com a cultura do milho a redução da área foliar pode ser um possível mecanismo de adaptação das plantas ao estresse.

Nota-se, na Tabela 39, efeito significativo do contraste envolvendo os tratamentos e as testemunhas (Elba e Irene); conforme os desdobramentos do contraste

(Tabela 41) a testemunha de Elba diferiu estatisticamente dos tratamentos DE₃₆ e DE₄₈ em NE₁ e dos DE₂₄ e DE₄₈ em NE₂, sendo os decréscimos observados da ordem de 9,02%, 7,57%, 17,10% e 21,22% respectivamente; entretanto, vendo-se as médias, conclui-se que a testemunha foi superior a todos os tratamentos. Em relação à Irene, com exceção DE₁₂NE₁, a testemunha foi significativamente superior a todos os outros tratamentos, sendo 26,19% superior ao tratamento DE₄₈NE₂.

p

Tabela 39 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e de números de encharcamentos para área foliar (AF) aos 5, 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	QM		QM
	AF 5	AF 10	AF 20
Bloco	31192,965 ^{ns}	35441,018 ^{ns}	88079,212 ^{ns}
Cultivar (C)	330092,112 ^{**}	1357229,465 ^{**}	16153450,685 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	99842,571 ^{**}	393415,361 ^{**}	508094,7847 [*]
Reg. Pol. Linear	59294,634 [*]	1036993,570 ^{**}	198341,191 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	296231,903 ^{**}	204037,672 [*]	586898,043 [*]
Reg. Pol. Cúbica	21921,874 ^{ns}	166315,100 [*]	739045,120 [*]
C x DE	19750,031 ^{ns}	61929,334 ^{ns}	351885,528 ^{ns}
Nº encharcamento (NE)			75662,327 ^{ns}
C x NE			62895,907 ^{ns}
DE x NE			146528,640 ^{ns}
DE x NE x C			441824,900 [*]
Resíduo	9079,290	37436,620	146944,790
Trat x Test. Elba			1231693,425 ^{**}
Trat x Test. Irene			2172817,368 ^{**}
Tratamento			1455306,022 ^{**}
CV (%)	9,69	8,73	8,93
	Médias (cm ²)		
Cultivar			
Elba	1088,630a	2429,979a	4872,926a
Irene	878,839b	2004,580b	3712,702b
Nº de encharcamento			
Um (NE ₁)			4378,435
Dois (NE ₂)			4207,193

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (ns) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Tabela 40 – Desdobramento da interação (DE x C x NE) e médias para área foliar (AF), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios							
	NE ₁		NE ₂					
	Elba	Irene	Elba	Irene				
Duração do encharcamento								
Reg. Pol. Linear	163919,347 ^{ns}	197359,014 ^{ns}	1194275,214 ^{**}	58322,377 ^{ns}				
Reg. Pol. Quadr.	167573,568 ^{ns}	748947,370 [*]	60200,259 ^{ns}	145,276 ^{ns}				
Reg. Pol. Cúbica	253046,243 ^{ns}	52943,697 ^{ns}	564392,376 ^{ns}	55207,213 ^{ns}				
Resíduo	146944,790	146944,790	146944,790	146944,790				
Valores médios (cm ²)								
Cultivar	DE ₁₂		DE ₂₄		DE ₃₆		DE ₄₈	
	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂	NE ₁	NE ₂
Elba	4948,7aA	5414,6aA	4557,1aA	4602,8aA	5051,3aA	4902,6aA	5132,4aA	4374,1aB
Irene	4286,1bA	3531,2bB	3552,9bA	3465,2bA	3616,5bA	3709,6bA	3882,6bA	3657,6bA

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra na vertical e na horizontal não diferem entre si ($p < 0,05$); Letras minúsculas na vertical comparam as cultivares e letras maiúsculas na horizontal comparam os tipos de estresse dentro de cada cultivar

Tabela 41 – Desdobramento dos contrastes (Tratamento x Test. Elba e Tratamento x Test. Irene) para área foliar (AF) e valores médios da variável aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)

Tratamentos	ELBA		IRENE	
	QM	Médias (cm ²)	QM	Médias (cm ²)
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	547026,06898 ^{ns}	4948,657	162617,536540 ^{ns}	4286,109
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	28556,40843 ^{ns}	4557,083	1763252,360187 ^{**}	3552,933
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	1486422,8032 ^{**}	5051,271	1693150,377074 ^{**}	3616,459
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	1353038,4770 ^{**}	5132,383	1984244,070759 ^{**}	3882,583
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	376917,1140 ^{ns}	5414,570	1496727,107255 ^{**}	3531,162
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	633738,8266 [*]	4602,797	1230675,885857 ^{**}	3465,225
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	264806,6089 ^{ns}	4902,553	805461,128746 [*]	3709,581
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	2083128,6593 ^{**}	4374,094	1376092,437039 ^{**}	3657,560
Testemunha	-	5552,547	-	4615,368
CV(%)	8,43			

(^{**}) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (^{*}) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$

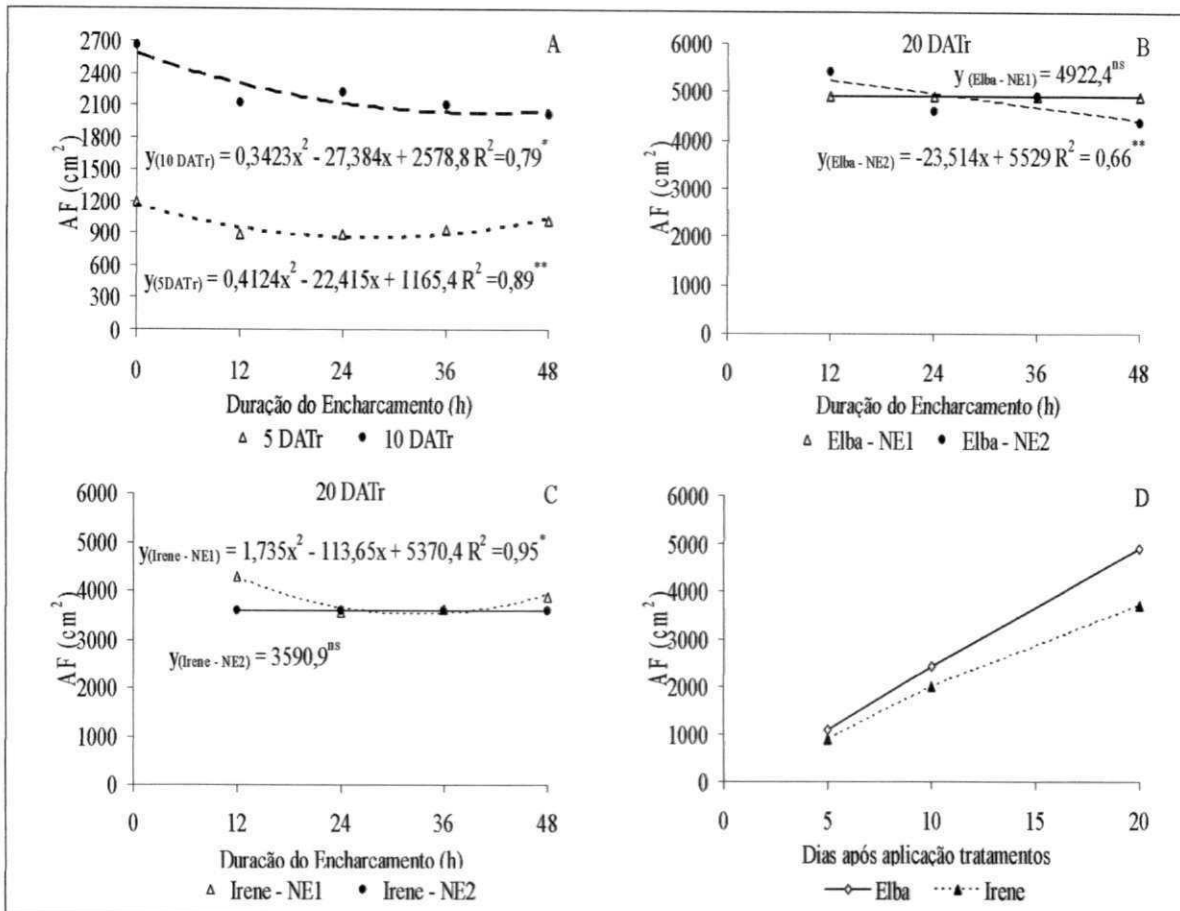


Figura 27 – Área foliar de cultivares de alface aos 5 e 10 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A), da cv. Elba (B) e Irene (C) aos 20 DATr sob diferentes números de encharcamentos e variação temporal por cultivar (D). Campina Grande, PB, 2007

4.2.2. Variáveis Fisiológicas

4.2.2.1. Relação raiz parte aérea (R/PA)

De acordo com a análise de variância (Tabela 42) para a relação raiz parte aérea (R/PA), as durações de encharcamento no solo não afetaram significativamente a R/PA; entretanto, houve efeito significativo entre as cultivares ($p < 0,01$) e número de encharcamento ($p < 0,05$) sobre a R/PA, aos 20 DATr. Constata-se que a cultivar Elba foi 117,92% superior à Irene, em termos de R/PA, indicando que as reservas armazenadas no seu sistema radicular foram mais utilizadas no favorecimento do crescimento da parte aérea que o ocorrido com a Irene. Segundo Yamamoto et al. (1995) o alagamento do solo reduz a alocação de biomassa para o sistema radicular e para a parte aérea, alterando a relação R/PA.

Os números de encharcamentos (NE) propiciaram comportamento diferenciado entre as plantas, de foram que teve efeito significativo ($p < 0,05$) na

avaliação realizada aos 20 DATr. As plantas, quando expostas a dois encharcamentos, apresentaram uma R/PA 13,02% menor que as do estresse simples, cujo fato pode ter ocorrido em razão da fitomassa seca de raiz ter decrescido com o incremento de 'DE', e devido a não se ter verificado diferença significativa em termos da fitomassa seca da parte aérea. Observa-se também que não houve efeito interativo entre os fatores 'DE x NE x C', indicando que os fatores ocorreram de forma isolada.

Conforme Taiz & Zeiger (2004) a relação entre a matéria seca da raiz e da parte aérea expressa um balanço funcional entre taxa fotossintética e a absorção de água pelas raízes em que, em condições normais, ocorre certo equilíbrio. Para Goss (1973), a relação R/PA é uma correlação de desenvolvimento expressando o fato de que o crescimento radicular pode afetar o da parte aérea e vice-versa.

4.2.2.2. Razão de área foliar (RAF)

Segundo o resumo da análise de variância apresentado na Tabela 42, a razão de área foliar (RAF) sofreu efeito significativo ($p < 0,05$) das durações do encharcamento (DE) e do fator cultivar ($p < 0,01$); foi significativo o efeito para a interação entre número de encharcamento (NE) e cultivares (C), indicando que o efeito dos estresses variaram entre as cultivares e afetou a RAF, a nível de $p < 0,05$ de probabilidade.

Conforme estudo de regressão, nota-se ter sido linear o efeito do encharcamento sobre a RAF, aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos. Pelo modelo matemático obtido (Figura 28A), a RAF cresceu com o aumento da duração do encharcamento, havendo incremento relativo de 17,69 entre DE₄₈ e DE₁₂; este comportamento, por outro lado, pode ser explicado em razão da área foliar ter sido mais afetada que a fitomassa seca total, o que contribui para o aumento da RAF, haja vista ser esta variável determinada pela relação entre AF e FST. Na medida em que a folha cresce, menor é a quantidade de material fotossintetizado retido no limbo foliar, ou seja, maior é a exportação de fotoassimilados para as outras partes da planta; contudo, como a razão de área foliar é um indicador da dimensão relativa do aparelho assimilador (relaciona a AF com a matéria seca resultante da fotossíntese), altos valores de RAF indicam que os produtos fotoassimilados estão sendo mais utilizados para a formação do aparelho fotossintético.

Apresentam-se, na Tabela 43, o desdobramento do efeito do fator cultivar (C) dentro da quantidade de encharcamento (NE) e vice-versa. Nota-se que a cv. Irene, quando exposta a dois estresses pelo encharcamento do solo, apresentou uma superioridade em relação à Elba de 37,17%; já na exposição das cultivares ao estresse simples, não se constatou efeito significativo entre elas, mas se nota que nessas condições a Irene investiu mais na formação do aparelho fotossintético; também não se verificou diferença significativa em relação à Elba, quando da exposição aos números de estresses (um e dois); já a Irene apresentou uma RAF maior quando foi submetida a encharcamentos duplos. Vê-se, na Figura 28B, o comportamento da RAF das cultivares em função do número de encharcamentos.

Tabela 42 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para relação raiz/parte aérea (R/PA), razão de área foliar (RAF) e taxa de assimilação líquida (TAL) aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	QM		
	R/PA 20	RAF 20	TAL 20
Bloco	0,023299 ^{ns}	5,803351 ^{ns}	3,3308E-0008 ^{ns}
Cultivar (C)	3,399481 ^{**}	2480,995798 ^{**}	0,000004 ^{**}
Duração do encharcamento (DE)	0,020844 ^{ns}	364,386499 [*]	4,4111E-0007 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,031694 ^{ns}	1052,498849 ^{**}	0,000001 ^{**}
Reg. Pol. Quadr.	0,028519 ^{ns}	20,086763 ^{ns}	0,000000 ^{ns}
Desvio	0,002319 ^{ns}	20,573885 ^{ns}	0,000000 ^{ns}
C x DE	0,039184 ^{ns}	256,053868 ^{ns}	5,8300E-0007 ^{ns}
Nº encharcamento (NE)	0,119800 ^{**}	1221,687110 ^{**}	3,9166E-0007 ^{ns}
C x NE	0,013002 ^{ns}	654,983140 [*]	3,2835E-0007 ^{ns}
DE x NE	0,028149 ^{ns}	174,405246 ^{ns}	2,0664E-0007 ^{ns}
DE x NE x C	0,007894 ^{ns}	59,678516 ^{ns}	1,9569E-0008 ^{ns}
Resíduo	0,009999	117,596052	1,5397E-0007
Trat x Test. Elba	0,268978 ^{**}	458,384189 [*]	0,000000 ^{ns}
Trat x Test. Irene	0,000140 ^{ns}	32,209776 ^{ns}	0,000000 ^{ns}
Tratamento	0,237375 ^{**}	430,692684 ^{**}	5,1676689E-0007 ^{**}
CV (%)	13,92	16,75	20,08
	Médias		
Cultivar	-	(cm ² g ⁻¹)	(g cm ⁻² dia ⁻¹)
Elba	0,985a	57,549b	0,0023a
Irene	0,452b	71,928a	0,0017b
Nº de encharcamento			
Um (NE ₁)	0,768a	59,693b	0,0021
Dois (NE ₂)	0,668b	69,783a	0,0018

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

A Tabela 44 expõe o resultado significativo dos contrastes entre Tratamentos e Testemunha de Elba, para a relação raiz parte aérea (R/PA) e razão de área foliar (RAF). Conforme desdobramento dos contrastes para R/PA, a testemunha diferiu significativamente de todos os tratamentos em que, de acordo com as médias, verificase que a mesma apresentou valores inferiores aos tratamentos, principalmente em relação às plantas submetidas a um encharcamento. Referente à RAF, nota-se que a testemunha diferiu estatisticamente apenas dos tratamentos DE₁₂ e DE₂₄ em NE₁ e DE₁₂ em NE₂.

Tabela 43 – Desdobramento da interação (C x NE) e médias para razão de área foliar (RAF), aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Valores médios (cm ² g ⁻¹)	
	NE ₁ (um)	NE ₂ (dois)
Cultivar		
Elba	56,198aA	58,810bA
Irene	63,189aB	80,666aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si ($p < 0,05$); Letras minúsculas na vertical comparam as cultivares e letras maiúsculas na horizontal comparam os tipos de estresse dentro de cada cultivar

Tabela 44 – Desdobramento dos contrastes ‘Tratamento x Test. Elba’ para relação raiz/parte aérea (R/PA) e para razão de área foliar (RAF) e valores médios das variáveis aos 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)

Tratamentos	R/PA		RAF	
	ELBA		ELBA	
	QM	Médias	QM	Médias(cm ² g ⁻¹)
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	0,177525**	1,011	638,741981*	50,024
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	0,341046**	0,921	933,729798**	57,015
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	0,097061**	1,112	279,244653 ^{ns}	53,386
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	0,043949*	1,028	247,021904 ^{ns}	64,365
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	0,296597**	1,144	447,548267*	45,710
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	0,076639*	0,838	199,372035 ^{ns}	57,827
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	0,195727**	0,893	59,434746 ^{ns}	59,131
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	0,103310**	0,929	7,745521 ^{ns}	72,932
Testemunha	-	0,667	-	70,659
CV(%)		14,67		15,91

(**) Efeito significativo a 1% e (*) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

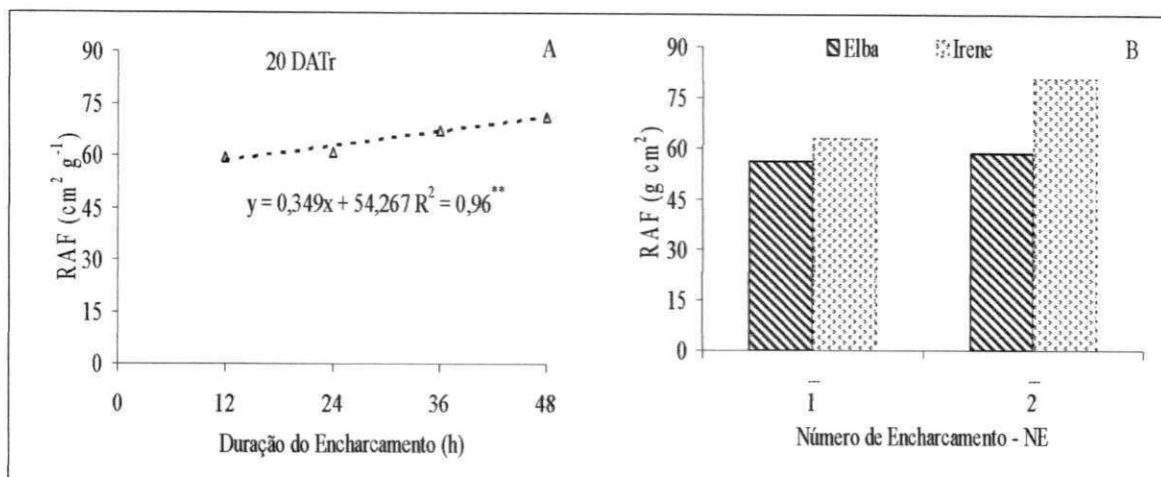


Figura 28 – Razão de área foliar aos 20 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e comportamento das cultivares em função dos números de encharcamentos – NE (B). Campina Grande, PB, 2007

4.2.2.3. Taxa de assimilação líquida (TAL)

Observando-se o resumo dos dados dessa variável aos 20 DATr, na Tabela 42, verificou-se que a taxa de assimilação líquida não foi afetada significativamente pelo fator duração do encharcamento (DE) nem pelo número de encharcamento (NE); no entanto, foi significativo ($p < 0,01$) o efeito entre as cultivares sobre a TAL.

Nota-se, com base nas médias (Tabela 42), que a cultivar Elba apresentou uma TAL de 35,29% superior a cv. Irene, indicando que, sob condições de estresse anoxítico, esta realizou a fotossíntese de forma mais eficiente, isto é, produziu mais matéria seca por unidade de área foliar ao longo do tempo.

Para esta variável não se encontrou efeito significativo entre contrastes (tratamentos e testemunhas de Elba e de Irene).

4.2.2.4. Taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR)

A análise de variância e os dados médios observados para a taxa de crescimento absoluto (TCA), em avaliações realizadas entre 0-5, 5-10 e 10-20 dias após a aplicação do tratamento (DATr) estão resumidos na Tabela 45, constatando-se que a TCA não sofreu efeito significativo das durações do encharcamento (DE) durante os intervalos de tempo que antecederam a colheita 5-10 e 10 a 20, ocorrendo diferença a nível de $p < 0,05$, apenas na primeira avaliação (0-5 DATr). Segundo Boru et al. (2003) a disponibilidade inadequada de oxigênio para as raízes é o principal fator limitante do crescimento de plantas expostas ao estresse por excesso hídrico. Avaliando os

resultados denota-se que as cultivares tenderam a recuperar seu crescimento pós estresse, assim como, verifica-se que os efeitos do encharcamento foram mais intensos quando ocorrido aos 12 DAT já que na avaliação final não se encontrou diferença significativa

Com base nas equações apresentadas na Figura 29A, tem-se que, entre 0 e 5 DATr e segundo equação quadrática, houve um decréscimo 14,65% entre DE_0 e DE_{48} . Viana (2000) estudando o comportamento da cultura da alface sob condições de estresse salino, verificou também que, com passar do tempo, as plantas tendem a apresentar maior tolerância em termos de TCA, ou seja, em ambos os estresses as plantas indicam tolerância com o tempo.

Em nenhuma das avaliações se notou efeito significativo de interação entre os fatores (DE, NE e C). Pode-se observar ainda na Tabela 45, que a TCA sofreu efeito significativo ($p < 0,01$) para o fator 'C' na última avaliação (10-20 DATr); a cultivar Elba foi 16,20% maior que a Irene, em termos de TCA, nesta análise (Tabela 45 e Figura 29B). Com base no exposto, pode-se inferir que a Elba apresentou uma velocidade média de crescimento ao longo do período observado maior que a Irene, mostrando-se mais eficiente na recuperação das atividades de crescimento pós-estresse.

A taxa de crescimento relativo (TCR) sofreu efeito quadrático ($p < 0,01$) das durações do encharcamento (Tabela 45) apenas na avaliação realizada entre 0-5 dias após a aplicação do encharcamento (DATr). Foi interativo o efeito dos fatores 'DE' e 'C', na avaliação inicial (0-5 DATr), significando que, em todas as variáveis de crescimento relativo, o efeito do encharcamento variou entre as cultivares.

De acordo com este resultado constata-se para mais uma variável que no período próximo a colheita a cultura tende a recuperar seu crescimento, assim como, verifica-se que a ocorrência de deficiência de O_2 próximo a coleta final das plantas induzem menor efeito do que quando ocorre próximo ao transplante.

Conforme equações matemáticas (Figura 30A), obtidas mediante análise de regressão do desdobramento dos dados, verifica-se que as cultivares se comportaram de forma diferente ao estresse anoxítico; analisando-se a cv. Elba vê-se que os dados se ajustaram melhor a curva quadrática e a Irene a linear (0-5 DATr); Os desdobramentos e as médias observadas da TCR, na avaliação inicial, referentes a cada duração do encharcamento (DE) e cultivares (C), estão apresentadas na Tabela 46. No período

inicial a Elba diferiu estatisticamente da Irene, apenas em DE₄₈, em que a mesma foi superior em 48,20%, em termos de TCR.

Reis (2007) desenvolvendo trabalho com a cultura da *Ananas erectifolius* L. B. Smith, submetida a alagamentos variando de 0 a 20 dias, também notou decréscimos da TCR quando as plantas foram expostas ao estresse anoxítico, de foram que as plantas jovens, quando expostas a períodos de alagamento de 20 dias, proporcionaram uma redução na TCR de 78,6% em relação às plantas não submetidas a alagamento. Conforme Dias Filho & Carvalho (2000), a produção de biomassa é resultante, praticamente, da fotossíntese; portanto, sob alagamento a taxa de crescimento relativo também é reduzida.

Tabela 45 – Resumo da análise de variância e médias de cultivares e dos números de encharcamentos para taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) entre os períodos (0-5, 5-10 e 10-20 dias após a aplicação do tratamento - DATr). Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados Médios					
	TCA 0 - 5	TCA 5 - 10	TCA 10 -20	TCR 0 - 5	TCR 5 - 10	TCR 10 -20
Bloco	0,00150 ^{ns}	0,00158 ^{ns}	0,011889 ^{ns}	0,000382 ^{ns}	0,000372 ^{ns}	0,001156 ^{ns}
Cultivar (C)	0,00052 ^{ns}	0,01022 ^{ns}	0,068933 ^{**}	0,002268 [*]	0,001312 ^{ns}	0,001112 ^{ns}
Duração do encharcamento (DE)	0,00908 ^{**}	0,01524 ^{ns}	0,002539 ^{ns}	0,002632 ^{**}	0,000824 ^{ns}	0,000300 ^{ns}
Reg. Pol. Linear	0,00575 [*]	0,04396 [*]	0,003737 ^{ns}	0,002044 [*]	0,000799 ^{ns}	0,000035 ^{ns}
Reg. Pol. Quadr.	0,02806 ^{**}	0,00011 ^{ns}	0,003251 ^{ns}	0,007600 ^{**}	0,002088 ^{ns}	0,000776 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica	0,00127 ^{ns}	0,00844 ^{ns}	0,000631 ^{ns}	0,000443 ^{ns}	0,000204 ^{ns}	0,000090 ^{ns}
C x DE	0,00456 ^{ns}	0,01689 ^{ns}	0,020543 ^{ns}	0,001503 [*]	0,002739 ^{ns}	0,002930 ^{ns}
Nº encharcam. (NE)			0,001674 ^{ns}			0,000786 ^{ns}
C x NE			0,007130 ^{ns}			0,000527 ^{ns}
DE x NET			0,009940 ^{ns}			0,002268 ^{ns}
DE x NE x C			0,003053 ^{ns}			0,000375 ^{ns}
Resíduo	0,00128	0,00767	0,006180	0,000390	0,00093	0,000910
Trat x Test. Elba			0,070919 ^{**}			0,000584 ^{ns}
Trat x Test. Irene			0,013045 ^{ns}			0,000787 ^{ns}
Tratamento			0,015473 [*]			0,001080 ^{ns}
CV (%)	16,93	23,88	15,50	11,83	21,85	16,80
	Médias (g)					
Cultivar						
Elba	0,216	0,385	0,545a	0,176a	0,146	0,184
Irene	0,207	0,348	0,469b	0,158b	0,133	0,175
Nº de encharcamento						
Um (NE ₁)			0,486			0,172
Dois (NE ₂)			0,528			0,187

(**) Efeito significativo a $p < 0,01$ e (*) a $p < 0,05$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo a $p < 0,05$ de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ($p < 0,05$)

Ainda na Tabela 45, a TCR sofreu efeito significativo do fator 'C' na avaliação de 0-5 DATr; verifica-se que a 'Elba' foi superior a 'Irene', em termos de TCR, denotando que a Elba apresenta uma eficiência maior em produzir material novo, por unidade de material preexistente.

Nas Figuras 29B e 30B observa-se o comportamento das culturas em termos de TCA e TCR em relação ao tempo em que se desenvolveu o experimento.

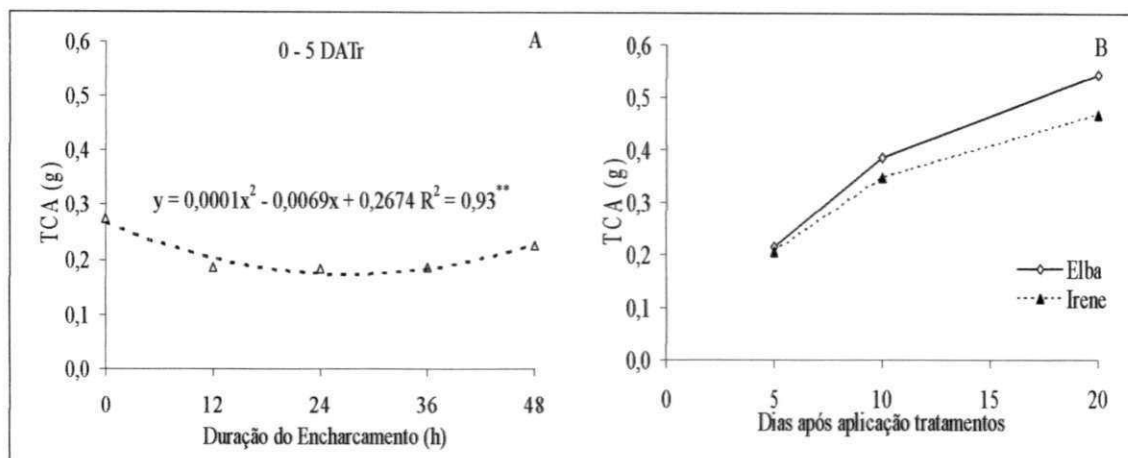


Figura 29 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) de cultivares de alface entre o período 0 – 5 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal das cultivares (B). Campina Grande, PB, 2007

Tabela 46 – Desdobramento da interação (DE x C) e médias para taxa de crescimento relativo (TCR), entre 0 e 5 dias após a aplicação do tratamento (DATr) na alface. Campina Grande, PB, 2007

Função de Variação	Quadrados médios				
	Elba	Irene			
Duração do encharcamento					
Reg. Pol. Linear	0,000015 ^{ns}	0,004605 ^{**}			
Reg. Pol. Quadr.	0,010459 ^{**}	0,000442 ^{ns}			
Reg. Pol. Cúbica	0,000429 ^{ns}	0,000082 ^{ns}			
Resíduo	0,000390	0,000390			
Valores médios (g)					
DE x C	DE₀	DE₁₂	DE₂₄	DE₃₆	DE₄₈
Elba	0,211a	0,146a	0,152a	0,163a	0,206a
Irene	0,192a	0,162a	0,155a	0,144a	0,139b

(^{**}) Efeito significativo a 1% e (^{*}) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p < 0,05$)

O contraste entre tratamentos e testemunha de Elba referente à TCA determinado entre 10 e 20 DATr (Tabela 45) foi estatisticamente significativo. Segundo

o desdobramento (Tabela 47) a testemunha só não foi significativamente superior aos tratamentos DE₂₄ e DE₄₈ em NE₁. Verifica-se que todas as plantas expostas a mais de um encharcamento apresentaram uma TCA inferior à testemunha, tal como, ocorreu com o aumento da duração dentro de NE. Denota-se, com base nos resultados, que o encharcamento reduz a capacidade das plantas em continuar seu processo de crescimento.

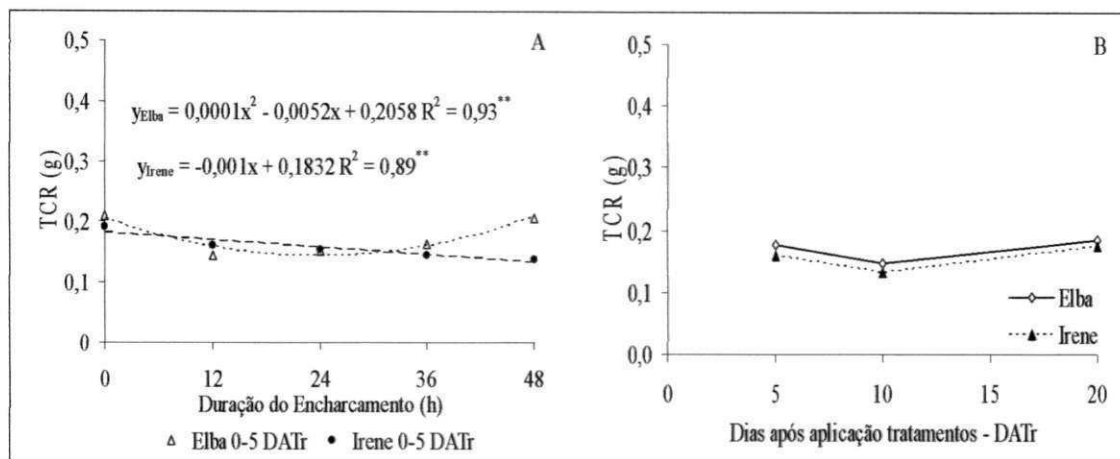


Figura 30 – Taxa de crescimento relativo das cultivares nos períodos 0 - 5 dias após a aplicação do tratamento – DATr (A) e variação temporal das cultivares (B). Campina Grande, PB, 2007

Tabela 47 – Desdobramento do contraste (Tratamento x Test. Elba) e valores médios de taxa de crescimento absoluto (TCA) no período entre 10 e 20 dias após a aplicação do tratamento (DATr)

Tratamentos	Quadrados Médios	
	ELBA	Médias (g)
Test. x DE ₁₂ x NE ₁	0,055567*	0,515
Test. x DE ₂₄ x NE ₁	0,008969 ^{ns}	0,462
Test. x DE ₃₆ x NE ₁	0,090713**	0,493
Test. x DE ₄₈ x NE ₁	0,023503 ^{ns}	0,578
Test. x DE ₁₂ x NE ₂	0,069579**	0,631
Test. x DE ₂₄ x NE ₂	0,028244*	0,583
Test. x DE ₃₆ x NE ₂	0,025453*	0,571
Test. x DE ₄₈ x NE ₂	0,049078**	0,527
Testemunha de Elba	-	0,708
CV(%)	15,44	

(**) Efeito significativo a 1% e (*) a 5% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

5. CONCLUSÕES

- Com exceção da fitomassa fresca da parte aérea, a cv. Elba é superior à 'Irene' em todas as variáveis de crescimento, independente das durações e das condições de encharcamento do solo;
- Não existe diferença entre as cultivares de alface 'Elba' e 'Irene', quanto à tolerância à anoxia;
- O excesso de umidade no solo por mais de um período pós-transplântio assim como por uma duração superior a seis horas provoca, em plantas de alface, redução de número de folhas, altura de caule, fitomassa fresca e seca da parte aérea e fitomassa seca de raiz;
- A fitomassa fresca da parte aérea é a variável mais sensível para se avaliar o efeito do estresse anoxítico em alface;
- O aumento do tempo de exposição das plantas à condição de anoxia ocasiona decréscimo da área foliar, no entanto, com o passar do tempo pós estresse, as plantas tendem a se recuperar;
- Os danos ocasionados pelo estresse anoxítico são menos acentuados quando o encharcamento ocorre próximo à fase de colheita, por recuperarem as plantas parte de seu crescimento;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECH, G.; BIEMELT, T. S.; BAUMGARTNER, S. Accumulation of fructans following oxygen deficiency stress in related plant species with different flooding tolerance. *New Phytologist*, Cambridge, v. 136, n. 1, p. 137-144, May 1997.

ARMSTRONG, W.; BRÄENDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. *Acta Botanica Neerlandica*. Oxford, v.43, n.4, p. 307-358, Dec. 1994.

ASARAF, M.; CHISHTI, S. N. Water logging tolerance of some accessions of lentil. *Tropical Agriculture*, Trinidad & Tobago, v. 70, n. 1, p. 60-67, jan. 1993.

BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. *Crop Science*, Madison, v. 39, n. 1, p. 143-149, jan. 1999.

BARBOSA, A. P.; SHIGIHARA, R.; TEIXEIRA, N. T.; BOTTEON, R. G.; LIMA, A. L. Adubação foliar com fertilizante orgânico em alface cultivada em hidroponia (sistema NFT). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. *Anais ... Brasília: SBCS, 1999.*

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Redox chemistry of soil. *Advances in Agronomy*. San Diego, v. 50, p. 151-208, 1993.

BARUCH, Z. Responses to drought and flooding in tropical forages grasses. II. Leaf water potential, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenate activity. **Plant and Soil**. Dordrecht, v. 164, p. 87-96, 1994.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Aeracion del suelo. In: CONGRESSO DE FÍSICA DE SOLO. México: Centro Regional de Ayuda Técnica. 1973. p. 243-250.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVÊDO, D. M. P.; NÓBREGA, L. B.; SANTOS, J. W. Modificações no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo sob saturação hídrica do substrato em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 32, n. 7, p. 701-708, 1997.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal, FUNEP, 2003. 41p.

BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-aeration following hypoxia or anoxia leads to activation of the antioxidative defense system in roots of wheat seedlings. **Plant Physiology**, New York, v. 116, n. 2, p. 651-658, feb. 1998.

BLOKHINA, O.B., Anoxia and oxidative stress: lipid peroxidation, antioxidant status and mitochondrial functions in plants. PhD Thesis, Helsinki University, Finland. 2000.

BLOOM, C. W. P.; VOESENEK, L. A. C. J.; Van DER SMAN, A. J. M. Responses of total submergence in tolerant and intolerant diverse species. In: JACKSON, M. B., BLACK, C. R. (ed). **Interacting stresses on plants in a changing climatic**. Berlim: Springer-Verlang. 1993. p.243-266.

BORU, G.; GINKEL, M. VAN.; TRETOWAN, R. M.; BOERSMA, L.; KRONSTAD, E. W. Oxygen use from solution by wheat genotypes differing in tolerance to waterlogging. **Euphytica**, Netherlands, v. 132, n. 2, p. 151-158, 2003.

BRADFORD, K. J.; YANG, S. F. Physiological responses of plants to waterlogging. **HortScience**, St. Joseph, v. 16, n. 1, p. 25-30, Feb. 1981.

BRAENDLE, R.; CRAWFORD, R. M. M. Plants as amphibians. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 21, p. 56-78, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **I – Levantamento exploratório, reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II – Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: A/CONTAP/USAID/BRASIL. 1972. 683p. Boletim DPFS, EPE-MA, 15 – Pedologia, 8.

BRESLER, E.; McNEAL, B. L.; CARTER, D. L. **Saline and sodis: principles, dynamics and modeling**. Berlin: Springer-Verlag, 1982. 249p.

BUENO, C. R. **Adubação nitrogenada em cobertura via fertirrigação por gotejamento para a alface americana em ambiente protegido**. Lavras: UFLA, 1998. 54p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia).

CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo**. 3.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 252p.

CASTONGUAY, Y.; NADEAU, P.; SIMARD, R. R.; SIMARD, R. R. Effects of flooding on carbohydrate and ABA level in roots and shoots of alfalfa. **Plant Cell Environment**, Oxford, v. 16, p. 695-702, 1993.

CATI. **Manual técnico das culturas**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI. Manual 08, p.13-18, 1997.

CEAGESP – Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. Programa paulista para melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. Classificação de alface. Programa de adesão voluntária, São Paulo, 2001.

CEASA/Campinas. Padronização / Alface. <http://www.ceasacampinas.com.br> 05 abr. 2006.

CERMEÑO, Z. S. **Estufas – instalações e manejo**. Lisboa. Litexa Editora, Ltda. 355p. 1990.

CHRIKOVA, T.V.; BELONOGOVA, V.A., Nitrate reductase activity and productivity of grain crops under waterlogged conditions. **Soviet Soil Science**. Washington, v. 22, p.19–29. 1991.

COBB, B. G.; KENNEDY, R. A. Distribution of alcohol dehydrogenase in roots and shoots of rice (*Oryza sativa*) and *Enchinochloa* seedlings. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, p. 633-638, 1987.

COELHO, E. F.; FILHO, J. C.; CARVALHO, J. P. de.; CUPERTINHO, J. L.; CAMPOS, D. G. Drenagem de várzeas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte – MG, v. 3, n. 151, p. 23-25, 1988.

COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Ed. Moderna. 1982. 368p.

COSTA, C. A.; CASALI, V. W. D.; LOURES, E. G.; CECON, P. R.; JORDÃO, C. P. Teor de metais pesados em alface (*Lactuca sativa* L.) adubada com composto orgânico de lixo urbano. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 238, p. 629-640, 1994.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. A. A evolução da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, 2005.

CRANE, J. H.; DAVIES, F. S. Periodic and seasonal flooding effects on survival, growth, and stomata conductance of young Rabbit eye Blueberry plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 113, n. 4, p. 488 - 493, 1988.

CRAWFORD, R. M. M. Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. **Advances in Ecological Research**, San Diego, v. 23, n. 1, p. 93-185, 1992.

CRAWFORD, R. M. M.; BRAENDLE, R. Oxygen deprivation stress in a changing environment. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 295, p. 145-159, 1996.

CRUCIANI, D. E. Caracterização agronômica de coeficientes de drenagem para elaboração de projetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., Fortaleza: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 1981. p. 500-514.

CRUCIANI, D. E. Caracterização agronômica do coeficiente de drenagem para a elaboração de projetos com cultura de milho (*Zea mayz* L.). **ITEM Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v. 22, n. 22, p. 28-31, 1985.

CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na agricultura**. 4. ed. São Paulo: Ed. Nobel, 1987. 337p.

CRUCIANI, D. E.; MINAMI, K. Susceptibilidade do pimentão (*Capsicum annum*, L.) a inundações temporárias do sistema radicular. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 39, p. 137-150, 1982.

DAVIES, D. D. Anaerobic metabolism and the production of organic acids. In: DAVIES, D. D. (ed.) **The biochemistry of plants: a comprehensive treatise**. New York: Academic Press, v. 2, p. 581-611, 1980.

DEL ROSARIO, D. A.; FAJARDO, F. F. Waterlogging resistenc in crops. **Philippine Agriculturist**, Philippines, v. 74, n. 1, p. 51-58, 1991.

DIAS FILHO, M. B.; CARVALHO, C. J. R. Physiological and morphological response of *Brachiaria spp* to flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 35, n. 10, p. 1959-1966, 2000.

DONGEN, J. T. VAN, SCHURR, U., PFISTER, M.; GEIGENBERGER, P., Phloem metabolism and function have to cope with low internal oxygen. **Plant Physiology**. New York, v. 131, p.1529-1543. 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Tradução: Greyi, H. R.; Metri, J. E. C.; Damasceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (Estudos FAO, Irrigação e drenagem, 24).

DREW, M. C. Soil aeration and plant root metabolism. **Soil Science**. Baltimor, v. 154, p. 259-268, 1992.

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 48, p. 223-250, 1997.

DREW, M. C.; MORGAN, P. W. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 5, n. 3, p. 123-127, 2000.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Sistema brasileiro de classificação dos solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Fertirrigação de Hortaliças**. Brasília: Embrapa hortaliças, 2004. 13p. (Circular Técnica, 32).

ENGELAAR, W. M. H.; VAN BRUGEN, M. W.; VAN DER HOEK, W. P. M.; HUYSER, M. A. H.; BLOM C. W. P. M. Roots porosities and radial oxygen losses of *Rumex* and *Plantago* species as influenced by soil pore diameter and soil aeration. **New Phytologist**, London, v.125, p. 565-574, 1993.

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA/DPU, 1989. 425P. (EMBRAPA_CNPAF. Documento, 18).

FERNANDES, P. D. **Análise de crescimento e desenvolvimento vegetal**. Campina Grande: UFPB – DEAg, 2002. 52p.

FERNANDES, P. D. Metabolismo do algodoeiro em ambientes adversos. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO. 2005, Salvador. **Anais...** V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2005.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 2.ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 2000. 437p.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal 1**. 2^a.ed. São Paulo: EPU, 1985. 362p.

FIGUERÊDO, S. F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão de água no solo para a cultura do feijoeiro**. Piracicaba: ESALQ, 1998. 94p. (Dissertação de Mestrado).

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2003. 412p.

FLECHA, P. A. N. **Sensibilidade das culturas da batata (*Solanum tuberosum* L.) e da alface (*Lactuca sativa* L.) ao excesso de água no solo**. Piracicaba: ESALQ, 2004. 68p. (Dissertação de Mestrado).

FURLANI, P. R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 481, p. 777-778, 1999.

GASTAL, M. F. C. Excesso de água no solo – efeitos em soja. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v. 3, n. 1, p. 93-110, 2000.

GIBBERD, M.R., GRAY, J.D., COCKS, P.S.; COLMER, T.D. Waterlogging tolerance among a diverse range of trifolium accessions is related to root porosity, lateral root formation and 'aerotropic rooting'. **Annals of Botany**, London, v. 88, p. 579-589, 2001.

GLINSKI, J.; STEPNIEWSKI, W. **Soil aeration and its role for plants**. Florida: CRC Press, 1986. 228p.

GOSS, J. A. **Physiology of plants and their cells**. New York: Pergamon. 457p. 1973.

GOTTO, R.; TIVELLI, S. W. (org.). **Produção em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 319p.

GRABLE, A. R. Soil aeration and plant growth. **Advances in Agronomy**, New York, v. 18, p. 57-106, 1966.

GRANGEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO, A. M.; NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S. L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface em condições de semi-árido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.2, p.190-194, 2006.

HARRIS, D. G.; BAVEL, C. H. M. van Growth, yield, and water absorption of tobacco plants as affected by composition of the root atmosphere. **Agronomy Journal**, Madison, v. 49, n. 1, p. 11-14, 1957.

HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; ROSA JÚNIOR, E. J.; SILVA, C. G. Foram de adição ao solo da cama-de-frango de corte semi-decomposta para a produção de taro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia v. 34, n. 2, p. 111-117, 2004.

HOOKE, D. D. Adaptation to flooding with flesh water. In: KOZLOWSKY, T. T. (ed.) **Flooding and plant growth**. Madison: Wisconsin Academic Press. 1984. 356p.

HOSNER, J.F.; LEAF, A. L. The effect of soil saturation upon the dry weight, ash content and nutrient absorption of various bottom land tree seedlings. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.26, p. 1-4, 1962.

HUANG, B.; JOHNSON, J. W. Root respiration and carbohydrate status of two wheat genotypes in response to hipoxia. **Annals of Botany**, London, v. 75, n. 4, p. 427-432, 1995.

HUANG, B.; JOHNSON, J. W.; NeSMITH, S.; BRIDGES, D. C. Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotypes to waterlogging and nutrient supply. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 45, n. 271, p. 193-202, 1994.

HUANG, B.; JOHNSON, J. W.; NeSMITH, S.; BRIDGES, D. C. Nutrient accumulation and distribution of wheat genotypes in response to waterlogging and nutrient supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 173, n. 1, p. 47-54, 1995.

HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edgard Arnold, 1982. 248p.

IAC. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Boletim 200. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, IAC, 2005. 396p.

JACKSON, M.B.; Ethylene and responses of plants to soil water logging and submergence. **Annual Review of Plants Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 36, p. 145-174, 1985.

JACKSON, M.B.; ARMSTRONG, W., Foramation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. **Plant Biology**. v.1, p.274-287, 1999.

JACKSON, M.B.; DREW, M. C. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: KOZLOWSKI, T. T. (ed.) **Flooding and plant growth**, San Diego: Academic Press, p. 47-127, 1984.

JANIESCH, P. Ecophysiology adaptations of higher plants in natural communities to water logging. In: Ecological responses to environmental stresses. (Rozema, J.; Verkleij, J. A. C.) (ed.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 50-60, 1991

JOLY, C. A. Flooding tolerance in tropical trees. In: **Plant life under oxygen deprivation** (Jackson, M. B.; Davies, D. D.; Lambers, H.) (ed.) The Hague. Academic Publishing, 1991. p. 23-34.

JOLY, C. A. Flooding tolerance: a reinterpretation of Crawford's metabolic theory. **Proc. R. Soc. Edin.** 102B: 1994. p. 343-354.

JOLY, C. A. The hole of oxygen diffusion to the root system on the flooding tolerance of tropical trees. **Revista Brasileira de Biologia**, São Paulo, v. 56, p. 375-382, 1996

JOLY, C. A; BRÄENDLE, R. Fermentation and adenylate metabolism of *Hedychium coronarium* J. G. Koenig (Zingiberaceae) and *Acorus calamus* L. (Araceae) under hypoxia. **Functional Ecology**. v. 9, p. 505-510, 1995.

JOLY, C. A.; CRAWFORD, R. M. M. Variation in tolerance and metabolic responses to flooding in some tropical trees. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 33, p. 799-809, 1982.

JUSTIN, S. H. F. W.; ARMSTRONG, W. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. **New Phytologist**, Cambridge, v. 106, n. 3, p. 465-495, July, 1987.

KAWASE, M. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. **HortScience**, St. Joseph, v. 16, n. 1, p. 30-34, 1981.

KAWASE, M.; WHITMOYER, R.E., Aerenchyma development in waterlogged plants. **American Journal Botanic**. v. 67, p. 18-22, 1980.

KNOTT, J. E.; TAVERNETTI, A. A. **Production of head lettuce in California**. Berkeley: Agricultural Extension Service, 1944. 51p. (Circular, 128).

KOLB, R. M. **Respostas metabólicas e morfo-anatômicas de sementes e plantas de *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (*Bignoniaceae*) à hipoxia**. Campinas: UEA, 1988. (Dissertação de Mestrado).

KOZLOWSKI, T. T. **Water deficit and plant growth**. New York: Academic Press. cap. 4, p. 191-233, 1976.

KOZLOWSKI, T. T. **Responses of wood plants to flooding**. In: flooding and plant growth (Kozlowski, T. T.) (ed.) London: Academic Press, 1984. p. 129-163.

KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology**, Victoria, v.1, 1997.

KRAMER, J. P. Development of root system. In: **Water relations of plants**, New York: Academic Press. 1983. chap. 6, p. 146-186.

KRAMER, J. P.; JACKSON, W. T. Causes of injury to flooded tobacco plants. **Plant Physiology**, New York, v. 29, n. 2, p. 241-245, 1954. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.gov>. Acesso em 20 fev. 2008.

KVET, J.; ONDOCK, J. P.; NECAS, J. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CASTSKY, J.; JARVIS, P. G. (ed.). **Plant photosynthetic production**. The Hague: Dr. W. Junk, 1971. p.343-384.

LANGE, O. L. **Flora**, v. 140, p. 39-97, 1953.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LEMKE-KEYES, C. A.; SACHS, M. M. Anaerobic tolerant null: mutant that allows Adh1 nulls to survive anaerobic treatment. **Journal of Heredity**, Washington, v. 80, n. 4, p. 316-319, 1989.

LETEY, J.; STOLZY, H. BLANK, G. B. Effects of duration and timing of low soil oxygen content of shoot and root growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, n. 1, p. 34-37, 1962.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt, and other stresses**. New York: Academic Press, 1980. 607p.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proc. Natl. Science Counc.**, v.25, p.148-157, 2001.

LIZASO, J.I.; RITCHIE, J.T. Maize shoot and root response to root zone saturation during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 125-134, 1997.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Mecanismos de tolerância à inundação de plantas de *Talauma ovata* St. Hil. (Magnoliaceae), uma espécie típica de Mata de Brejo. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 18, p. 177-183, 1995.

LOPES, S. J. **Modelos referentes à produção de sementes de alface sob hidroponia.**

Piracicaba: ESALQ, 2002. 129p. (Tese de Doutorado).

LOUREIRO, M. F.; JAMES, E. K.; SPRENT, J. I.; FRANCO, A. A. Stem and root nodules on the tropical wetland legume *Aeschynomene fluminensis*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 130, p. 531-544, 1995.

MACLEOD, K. W.; DONOVAN, L. A.; STUMPF, N. J.; Responses of woody seedlings to elevate flood water temperatures. In: HOOK, D. D.; MCKEE, W. H.; SMITH, H. K.; GREGORY, J.; BURREL, V. G.; DEVOE, M. R.; SOJKA, R. E., GILBERT, S.; BANKS, R.; STOLZI, L. H.; BROOKS, C.; MATTHEUS, T. D.; SHEAR, T. H. (ed). *The ecology and management of wetlands*. Portland; Timber Press. 1987. p. 441-451.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M. G. (coord.) **Fisiologia vegetal**, São Paulo: EPU / EDUSP, 1985. p.331-350.

MAGALHÃES, P. C.; COELHO, C. H. M.; GAMA, E. E. G.; BORÉM, A. **Avaliação dos ciclos de seleção da variedade de milho BRS 4154 – saracura para tolerância ao encharcamento do solo.** Sete Lagoas - MG: Embrapa Milho e Sorgo. 2005. 4p. (Circular Técnica, 67).

MALTBY, E. Wetlands their status and role in the biosphere. In JACKSON M. B.; DAVIES, D. D.; LAMBERS, A. (ed). **Plant life under oxygen deprivation: ecology, physiology and biochemistry**, The Hague: SPB Academic, 1990, p. 3-21.

MARCHI, E. C. S. **Influência da adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo.** Lavras: UFLA, 2006. 46p. (Tese de Doutorado).

MARSCHINE, H. **Mineral nutrition of higher plants.** San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H. E. P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 271p.

MARTOVANI, J. L.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; CHIBA, M. K.; BRAZ, L. T. Calagem e adubação com vermicomposto de lixo urbano na produção e nos teores de metais pesados em alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 494-500, 2003.

MATTOS, K. M. C. **Efeito da temperatura do ar das canaletas e da estufa sobre o crescimento da alface (*Lactuca Sativa* L.) em sistema hidropônico em função do material de cobertura da bancada**. Piracicaba: ESALQ, 2000. 66p. (Dissertação de Mestrado).

McNAMARA, S. T.; MITCHEL, C. A. Adaptative stem adventitious root responses of two tomato genotypes to flooding. **HortScience**, St. Joseph, v. 25, p. 100-103, 1990.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; COLLI, S.; MÜLLER, C. Estudos sobre tolerância ao alagamento em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. In: Medri, M. E.; Bianchini, E.; Shibatta, O. A.; Pimenta, J. A. (ed.). **A bacia do rio Tibagi**, Londrina, 2002. p. 133-172.

MEDRI, M. E.; CORREA, M. A. Aspectos hidrológicos e bioquímicos de *Joanesia princips* e *Spatodea campanulata* crescendo em solos na capacidade de campo, encharcado e alagado, v. 6, p. 147-154, 1985.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 217p.

MINGOTI, R.; FLECHA, P. A. N.; DUARTE, S. N.; CRUCIANI, D. E. Efeito da velocidade de rebaixamento do nível freático em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da alface. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, 2006.

MOCQUOT, B.; PRAT, C.; MOUCHES, C.; PRADET, A. Effect of anoxia on energy charge and protein synthesis in rice embryo. **Plant Physiology**, Rockville, v. 69, n.3, p. 636-640, 1981.

MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. **Processamento mínimo de alface crespa**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 2006. 7p. (Circular Técnica, 36).

MUSGRAVE, M. E.; VANHOY, M. A. A growth analysis of waterlogging damage in mung bean. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n. 8, p. 2391-2395, 1989.

NAKAGAU, J.; KAMITSUJI, M. K.; PIERI, J. C.; VILLAS BÔAS, R. L. Efeitos do bagaço, decomposto por ação de biofertilizante na cultura da alface. **Científica**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 169-177, 1993.

NAKATA, H.; COELHO, M. A. **Geografia geral: Geografia física, geografia humana e geografia econômica**. São Paulo, Ed. Moderna. 1978. 257p.

NICOULAUD, B. A. L.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Rendimento e absorção de nutrientes por alface em função da calagem e adubação mineral e orgânica em solo "Areia Quartzosa hidromórfica". **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 6-9, 1990.

PANG, J.; ZHOU, M.; MENDHAM, N.; SHABALA, B. S. Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. **Australian Journal of agricultural Research**, Melbourne, v. 55, n. 8, p. 895-906, 2004.

PANKHURST, C.E.; SPRENT, J.I. Surface features of soybean nodules. **Protoplasm**, v. 85, p. 85-98, 1975.

PATWARDHAN, A. S.; NIEBER, J. L.; MOORE, I. D. Oxygen, carbon dioxide, and water transfer in soils: Mechanisms and crop response. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 5, p. 1383-1395, 1988.

PERALTA, P.; GESHI, N.; YAMAGUCHI, J.; AKAZAWA, T. Effect of anoxia on the induction of α -amylase in cereal seeds. **Plant Physiology**, New York, v. 191, p. 402-408, 1993.

PEZESHKI, S. R. Plant response to flooding. In: WILKISON, R. E. (ed.) **Plant environment interactions**, New York: M. Dekker, 1994. cap. 10, p.289-321.

PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E. Aspectos da morfo-anatomia e fisiologia de *Jacarandá puberula* Cham. (Bignoniaceae) em condições de hipoxia. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 19, p. 215-220, 1996.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 425-430, 2001.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

PONNAMPERUMA, F. N. Effects of flooding on soils. In: (ed.) **Flooding and plant growth**, Orlando: Academic Press, 1984, chap. 2, p. 1-44.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances of Agronomy**, New York, v.24, p. 29-96, 1972.

QUEIROZ, W. N.; SILVA, M. I. de L.; LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Efeitos de diferentes níveis de encharcamento do solo no crescimento do algodoeiro herbáceo – Parte 2. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO. 2005, Salvador. **Anais... V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO**, 2005.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae – their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v.7, p.171-175, 1967.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1991. 343p.

RAYMOND, P.; AL-ANI, A.; PRADET, A. ATP production by respiration and fermentation, and energy charge during aerobiosis and anaerobiosis in twelve fatty and starchy germinating seeds. **Plant Physiology**, New York, v. 79, p. 879-884, 1985.

REGEHR, D. L.; BAZZAZ, F. A.; BOGGESE, W. R. Photosynthesis, transpiration, and leaf conductance of populus deltoids in relation to flooding and drought. **Photosynthetica**, n. 9, p. 52-61, 1975.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. 505p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

REID, D. M.; BRADFORD, K. J. Effects of flooding on hormone relations. In: Kozlowski, T. T. (ed.) **Flooding and plant growth**, London: Academic Press, 1984, p. 195-219.

REIS, I. N. R. S.; SANTOS FILHO, B. G.; CASTRO, C. V. B.; LAMEIRA, C. N.; ROSSATO, V. Análise de crescimento e produção de plantas jovens de Curauá (*Ananás erectifolius* L. b. Smith) submetidas ao alagamento. **Revista Brasileira de Biociência**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 504-506, 2007.

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. de.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES Jr., J. C. Efeitos de tipos de bandejas e idade de transplântio de mudas sobre o desenvolvimento e produtividade da alface americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 558-563, 2003.

RICCI, M. S. F. Produção de alface adubada com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.2, n.1, p.56-58, 1994.

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762p.

RODRIGUES, T. J. D.; RODRIGUES, L. R. A.; REIS, R. A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMA DE PASTAGENS, 2., Jaboticabal, 1993. **Anais ...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. P. 17-61.

ROMERO, J. L.; MAGALHÃES, P. C.; ALVES, J. D.; DURÃES, F. O. M.; VASCONCELLOS, C. A. Efeito do cálcio sobre algumas características biofísicas e morfológicas de plantas de milho BRS-4154 submetidas ao alagamento do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.21-33, 2003.

ROWSE, H. R. The effects of irrigation on the length, weight, and diameter of lettuce roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 40, p. 381-391, 1974.

RYDER, E. J. **Lettuce, endive and chicory**. Wallingford: CAB Publishing: 1999. 208p. (Crop Production Science, 9).

SÁ, J. S. de. **Influência do manejo do nível freático e doses de nitrogênio em culturas sob hipoxia no solo**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 142p. (Tese de Doutorado).

SALE, P. J. M. The response of summer lettuce to irrigation at different stages of growth. **Journal Hort. Science**, London, v. 41, p. 43-52, 1966.

SAMMIS, T. W.; KRATKI, B. A.; WU, I. P. Effects of limited irrigation on lettuce and Chinese cabbage yields. **Irrigation Science**, Berlin, v. 9, p. 187-198, 1988.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.) **Floodind and plants growth**, Madson: Wisconsin Academic Press, 1984. 356p.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 11, n.1, p. 17-29, 2007.

SANTIAGO, E. F.; PAOLI, A. A. S. O aumento em superfície em *Adélia membranifolia* (Müll. Arg.) Pax & K. Hoffm. e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. , em resposta ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 26, p.503-513, 2003.

SANTOS, R. H. S.; CASALI, V. W. D.; CONDÉ, A. R.; MIRANDA, L. C. G. Qualidade da alface cultivada com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 29-32, 1994.

SCHINEIDER, L. **Rendimento e qualidade da alface em função da adubação nitrogenada, orgânica e mineral**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983. 69p. (Dissertação de mestrado).

SCHUSSLER, E.E. & LONGSTRETH, D.J., Changes in cell structure during the foramtion of root aerenchyma in *Sagittaria lancifolia* (Alismataceae). **American Journal of Botany**, v. 87, p. 12-19, 2000.

SCHWALEN, H. C.; WHARTON, M. F. **Lettuce irrigation studies**. Tucson: University of Arizona, 1930. p. 463-517. (Bulletin, 133).

SETTER, T. L.; ELLA, E. S. Relationship between coleoptile elongation and alcoholic fermentation in rice exposed to anoxia. I. Importance of treatment conditions and different tissues. **Annals of Botany**, Oxford, v. 74, p. 265-271, 1994

SEVERINO, L. S.; LIMA, C. L. D.; BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; FARIAS, V. de A. Mamoneira submetida a encharcamento do solo. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2004. Campina Grande. **Anais... I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA**, 2004.

SU, P. H.; WU, T. H.; LIN, C. H. Root sugar level in flooded luffa and bitter melon is not referential to flooded tolerance. **Bot. Bull. Acad. Sin.**, v. 39, p. 175-179, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto alegre: Artmed, 2006. 719p.

TEIXEIRA YAÑEZ, L. D.; SALA, F. C.; COSTA, C. P.; KIMATI, H. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Piracicaba, v.21, n.5, p.17-21, 2003.

TESSMER, M. A.; NASCIMENTO, R. do.; TRECHA, C. O.; AMARANTE, L.; COLARES, D. S. Influência do alagamento sobre o desenvolvimento da área foliar e volume de raízes de plantas de feijão. In: XIII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Universidade Federal de Pelotas – RS, 2004. CD dos **Anais** do XIII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2004.

TRANI, P. E.; TAMISO, L. G.; TESSARIOLI NETO, J.; HASS, F. J.; TAVARES, M.; BERTON, R. S. Adubação da alface de verão sob cultivo protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42, 2000. São Pedro. **Anais...** São Pedro: SOB/FCAV-UNESP, 2000. p.762-764.

VARTAPETIAN, B. .B; JACKSON, M. B. Plant adaptation to anaerobic stress. **Annals Botany**, Oxford, v. 42, n. 244, p. 1437-1447, 1991.

VARTAPETIAN, B. .B; JACKSON, M. B. Plant adaptation to anaerobic stress. **Annals of Botany**, (Suplement A) v. 79, p. 3-20, 1997

VIANA, S. B. A. **Estresse salino na germinação, fase de muda e produção de alface (*Lactuca sativa* L.)**. Campina Grande: UFPB, 2000. 127p. (Dissertação de mestrado).

VIDIGAL, S. M.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. F. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica. I – ensaio de campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 42, n. 239, p. 80-88, 1995.

VOESENEK, L.A.C.J., VAN DER SMAN, A.J.M., HARREN, F.J.M. & BLOOM, C.W.P.M. An amalgamation between hormone physiology and plant ecology: a review on flooding resistance and ethylene. **Journal Pl. Growth Reg.**, v.11, p. 171-188, 1992.

WATERS, I.; MORRELI, S.; GREENWAY, H.; COLMER, T. D. Effects of anoxia on wheat seedling. 2 - Influence of O₂ supply prior to anoxia on tolerance to anoxia, alcoholic fermentation and sugar levels. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 244, p.1437-1447, 1991.

WHALE, D. M.; HEILMEIER, H.; MILBRODT, H. The application of growth analysis to structure experimental designs and a new procedure for estimating unit leaf rate and its variance. **Annual Botanical**, Oxford, v.56, p.631-650, 1985.

WILLIAMSOM, R. E.; KRIS, G. J. Response of agricultural crops to flooding depth of water table and soil gaseous composition. **Transaction of ASAE**, St. Josept, v. 13, n. 3, p. 216-220, 1970.

YAMAMOTO, F.; SAKATA, T.; TERAZAWA, K. Physiological, morphological and anatomical responses of *Fraxinus mandshurica* seedlings to flooding. **Tree Physiology**, v.15, p.713-719, 1995.

YURI, J. E.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J.; RESENDE, G. M.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. **Alface Americana: cultivo comercial**. Lavras: UFLA, 2002. 49p. (Texto Acadêmico, 13).

YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; RODRÍGUES JÚNIOR, J. C.; MOTTA, J. H.; SOUZA, R. J. Efeito de composto orgânico sobre a produção e características comerciais de alface americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 127-130, 2004.

ZHANG, J.; DAVIES, W. J. ABA in roots and leaves of flooded pea plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 38, p. 649-659, 1987.