

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS DE ALGAS MARINHAS EM
CAFEIRO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA E ESTRESSE SALINO**

MARCOS DE OLIVEIRA BETTINI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU - SP

Fevereiro - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS DE ALGAS MARINHAS EM
CAFEIRO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA E ESTRESSE SALINO**

MARCOS DE OLIVEIRA BETTINI

Orientador: Prof. Dr. Fernando Broetto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU - SP

Fevereiro - 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B563a Bettini, Marcos de Oliveira, 1970-
Aplicação de extratos de algas marinhas em cafeeiro sob deficiência hídrica e estresse salino / Marcos de Oliveira Bettini. - Botucatu : [s.n.], 2015
xxi, 171 f. : fots. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2015
Orientador: Fernando Broetto
Inclui bibliografia

1. Estresse (Fisiológico). 2. Fotossíntese. 3. Alga marinha. 4. Metabolismo. 5. Produção vegetal. I. Broetto, Fernando. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: APLICAÇÃO DE EXTRATOS DE ALGAS MARINHAS EM CAFEIEIRO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA E ESTRESSE SALINO

AUTOR: MARCOS DE OLIVEIRA BETTINI

ORIENTADOR: Prof. Dr. FERNANDO BROETTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. FERNANDO BROETTO

Departamento de Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu


Prof. Dr. MARCELO LEONARDO

Casa da Agricultura / Cati - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral


Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ TEIXEIRA FERNANDES

Pró-Reitoria de Pesquisa / Pós Graduação e Extensão - Universidade de Uberaba - MG


Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD

Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. JOSÉ RENATO ZANINI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 27 de fevereiro de 2015.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é fruto da necessidade interior em seguir estudando, aprendendo, aprimorando e experimentando novos conhecimentos, à medida do possível gerando e difundindo ciência aplicada.

Dedico esta tese de doutorado a minha mãe Maria das Dores e avó Maria Amélia (*in memorian*), mulheres especiais que sempre acreditaram que o crescimento pessoal e as mudanças sociais se realizam através do ensino. Enquanto vivas, me influenciaram desde jovem no caminho do estudo, infelizmente não puderam acompanhar com sua presença a conclusão, mas suas palavras e lembranças nunca me abandonaram durante esta longa jornada.

Também dedico a meu pai Rogério, que a cada momento ofereceu apoio total, presente, calmo e positivo, com humildade e indisfarçável orgulho aos desafios superados.

Especialmente dedico esta tese a meus filhos Arthur, Gabriel, Davi e Miguel Saluh, que representam o amanhã e foram privados pela presença do pai durante longos momentos. Tenho boa expectativa que este trabalho lhes sirva de inspiração e exemplo em seus próprios caminhos.

Amigos, profissionais e empresas que apoiaram também merecem minhas estimadas deferências. Com humildade disponho ao público e aos profissionais da área agrícola esta tese, acreditando que o conhecimento aqui apresentado, possa contribuir de forma sólida para o aprimoramento do conhecimento e aplicação de novas tecnologias em nossa agricultura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, como força maior que nos dá consciência da vida, confiança em superar obstáculos e realizar sonhos. Como estudar e trabalhar com AGRONOMIA. Paixão em desenvolver-se e desenvolver pessoas. Viver, praticar ciência e titular-se Doutor em Irrigação e Drenagem.

Agradeço a meu pai, irmãos, amores, filhos, familiares e amigos que estiveram a meu lado nesta jornada.

Ao Prof. Dr. Fernando Broetto, pela oportunidade, ensino, orientação, paciência, confiança, esforço e dedicação na realização deste trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa do laboratório de enzimas do Instituto de Biociências: MSc. Dayanne Fabrício Bressan, MSc. Edilson Ramos Gomes, MSc. Renata Bruna dos Santos Coscolin, MSc. Diogo Capelin, Msc. Érica Amanda de Barros e Augusto Santana Nascimento pela amizade, incentivo e participação ativa nos trabalhos da fase experimental e na redação da tese.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas pela antiga amizade, indicação, convite, aceitação e incentivo em meu retorno aos estudos e à Profa. Dra. Maria Márcia Pereira Sartori pelo total suporte e auxílio na orientação e condução das análises estatísticas.

A todos os professores das disciplinas cursadas, por suas ótimas aulas, dicas de vida, sugestões na fundamentação dos trabalhos, livros emprestados e boas horas de conversa e aos colegas e funcionários do IBB e da FCA-UNESP Botucatu pelo ensino, acolhimento, carinho e companheirismo.

A empresa ACADIAN SEAPLANTS LTDE e seus líderes por acreditarem positivo o apoio à ciência e por viabilizar meus estudos. Agradeço especialmente aos promotores técnicos: Fernando, Bruno, Caio, Thayne, Gabriel e Samir que acompanharam e ajudaram nas diversas fases de avaliação dos experimentos. Especialmente agradeço à amiga Dra. Ana Carolina de Negreiros Alves que ajudou diretamente na revisão de literatura e discussão sobre extratos de alga.

Por fim, agradeço aos clientes e colegas profissionais do mercado, que acreditaram, incentivaram e compraram minhas ideias. Em especial aos times da Valeagro, Agrocafé, Grão de Ouro e Produquímica, através de nossos negócios foram possíveis viabilizar o financiamento dos custos envolvidos.

Muito obrigado a todos!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XIX
RESUMO	1
SUMMARY	2
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 O cultivo de cafeeiro	5
2.2 Cultivares Obatã e Catuaí 99.....	6
2.3 Cafeicultura irrigada, fertirrigação e salinidade.....	7
2.4 Estresses ambientais.....	8
2.5 Deficiência hídrica (DH).....	10
2.6 Estresse salino	12
2.7 Algas marinhas na agricultura.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Localização dos experimentos	21
3.2 Plantio e adubação da cultura.....	23
3.3.1 Tratamento Alga 1 (A1)	23
3.3.2 Tratamento Alga 2 (A2)	24
3.4 Condições ambientais de cultivo.....	24
3.5 Delineamento experimental.....	26
3.5.1 Experimento 1 – Deficiência Hídrica	26
3.5.2 Experimento 2 – Estresse Salino	26
3.6 Sistema de irrigação	27
3.6.1 Manejo de irrigação no café.....	27
3.6.2 Monitoramento da tensão de água no solo.....	28
3.7 Extração de solução do solo	30
3.8 Parâmetros avaliados.....	31
3.8.1 Avaliação nutricional dos tecidos vegetais	31
3.8.2 Área foliar	31
3.8.3 Determinação da massa de matéria fresca e seca da parte aérea	31
3.8.4 Massa de matéria fresca e seca de raiz.....	31
3.8.5 Teor relativo de clorofila (TRC).....	32

3.8.6 Trocas gasosas	32
3.8.7 Análises bioquímicas	33
3.9 Análise estatística	35
4 RESULTADOS	36
4.1 Experimento 1 – Deficiência Hídrica	36
4.1.1 Relações hídricas	36
4.1.1.1 Tensiometria	36
4.1.1.2 Potencial hídrico foliar (PHF).....	39
4.1.2 Trocas gasosas	42
4.1.3 Análises de tecido vegetal	56
4.1.4 Clorofila	58
4.1.5 Biometria	60
4.2 Experimento 2 – Estresse salino.....	80
4.2.1 Relações hídricas	80
4.2.1.1 Tensiometria	80
4.2.1.2 Potencial hídrico foliar.....	81
4.2.2 Trocas gasosas	83
4.2.3 Análises de solo.....	92
4.2.4 Análises de solução do solo	93
4.2.6 Análises de tecido vegetal	93
4.2.7 Clorofila	99
4.2.8 Análises bioquímicas.....	101
4.2.8.1 Determinação do teor de proteínas solúveis totais (PST).....	101
4.2.8.2 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD).....	105
4.2.8.3 Análise da atividade da enzima catalase (CAT)	109
4.2.8.4 Teor de Prolina.....	111
4.2.9 Análises biométricas	114
5 DISCUSSÃO	126
5.1 Experimento 1 (DH).....	126
5.1.1 Potencial hídrico foliar (PHF).....	126
5.1.2 Teor relativo de clorofila, análise do tecido vegetal e trocas gasosas	128
5.1.3 Análises dos componentes principais (PCA) para os parâmetros biométricos..	129
5.2 Experimento 2 (ES).....	133
5.2.1 Potencial hídrico foliar e trocas gasosas	133

5.2.2 Análise de tecidos vegetais	134
5.2.3 Teor relativo de clorofila	134
5.2.4 Análises dos componentes principais (PCA) para os parâmetros bioquímicos. 135	
5.2.5 Análises dos componentes principais (PCA) para os parâmetros biométricos.. 138	
6 CONCLUSÕES	142
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
8 APÊNDICE	160

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Análise de solo Latossolo Vermelho Distrófico, textura média (Led) – série Patrulha (FCA/UNESP), antes da correção e fertilização.	22
Tabela 2. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação (NHC: D1- 25%; D2-50%; D3-100%) e aplicação de extratos de algas (A1, A2 e C) em 3 ciclos de avaliação: ciclo 1 (épocas 1, 2 e 3), ciclo 2 (épocas 4, 5 e 6) e ciclo 3 épocas 7, 8 e 9).	40
Tabela 3. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. .	41
Tabela 4. Assimilação líquida de CO ₂ A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	43
Tabela 5. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	44
Tabela 6. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	45
Tabela 7. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	45
Tabela 8. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. .	46
Tabela 9. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	47
Tabela 10. Concentração intercelular de CO ₂ C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	47
Tabela 11. Concentração intercelular de CO ₂ C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	48

Tabela 12. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicações de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	50
Tabela 13. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.....	50
Tabela 14. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	52
Tabela 15. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	52
Tabela 16. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	53
Tabela 17. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	54
Tabela 18. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.....	55
Tabela 19. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.....	55
Tabela 20. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, anteriores aos diferentes regimes hídricos.	56
Tabela 21. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, posteriores aos 3 ciclos do tratamento D1 – 25% NHC.....	57
Tabela 22. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, posterior aos 3 ciclos do tratamento D2 – 50% NHC.	57
Tabela 23. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, posterior aos 3 ciclos do tratamento D3 – 100% NHC.	58

Tabela 24. Teor relativo de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. .	59
Tabela 25. Teor de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	59
Tabela 26. Altura de plantas (cm) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	60
Tabela 27. Número de ramos de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	61
Tabela 28. Comprimento de ramos (cm) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	62
Tabela 29. Número de folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	63
Tabela 30. Área foliar (cm ²) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	64
Tabela 31. Massa fresca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	65
Tabela 32. Massa fresca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	66
Tabela 33. Massa fresca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	67
Tabela 34. Massa seca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	68

Tabela 35. Massa seca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	69
Tabela 36. Massa seca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	70
Tabela 37. Altura de plantas (cm) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	71
Tabela 38. Número de ramos de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	71
Tabela 39. Comprimento de ramos (cm) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	72
Tabela 40. Número de folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	73
Tabela 41. Área foliar (cm ²) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	74
Tabela 42. Massa fresca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	75
Tabela 43. Massa fresca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	76
Tabela 44. Massa fresca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	77
Tabela 45. Massa seca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	78

Tabela 46. Massa seca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	79
Tabela 47. Massa seca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.	79
Tabela 48. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5 e 6.	82
Tabela 49. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5 e 6.	83
Tabela 50. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	84
Tabela 51. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a diferentes tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7. ...	84
Tabela 52. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7. ...	85
Tabela 53. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	85
Tabela 54. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	86
Tabela 55. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7. ...	86

Tabela 56. Concentração intercelular de CO ₂ C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	87
Tabela 57. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre os tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7. ...	87
Tabela 58. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	88
Tabela 59. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	89
Tabela 60. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	89
Tabela 61. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	90
Tabela 62. Concentração intercelular de CO ₂ C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	90
Tabela 63. Concentração intercelular de CO ₂ C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	91

Tabela 64. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7. ...	91
Tabela 65. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7. ...	92
Tabela 66. Análises foliares para os tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.	94
Tabela 67. Análises de caules para os tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.	95
Tabela 68. Análises de raízes para os tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.	96
Tabela 69. Relação Na^+/K^+ nos tecidos vegetais (folhas, ramos e raízes) ao final dos ciclos ES1 e ES2 para os tratamentos salinos e com extratos de alga dos cvs. Obatã e Catuaí 99.	98
Tabela 70. Teor de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4 e 5.	100
Tabela 71. Teor de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4 e 5.	101
Tabela 72. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de proteína solúvel total ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	102
Tabela 73. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de proteína solúvel total ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	102
Tabela 74. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	103

Tabela 75. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	103
Tabela 76. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	103
Tabela 77. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	104
Tabela 78. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas na atividade da enzima superóxido dismutase ($\text{U SOD } \mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	105
Tabela 79. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas na atividade da enzima superóxido dismutase ($\text{U SOD } \mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	106
Tabela 80. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) na atividade da enzima superóxido dismutase ($\text{U SOD } \mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	107
Tabela 81. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) na atividade da enzima superóxido dismutase ($\text{U SOD } \mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	107
Tabela 82. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) na atividade da enzima superóxido dismutase ($\text{U SOD } \mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	107

Tabela 83. Valores médios para tratamentos com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) na atividade da enzima superóxido dismutase ($U\ SOD\ \mu g\ prot^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	108
Tabela 84. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas atividade da enzima catalase ($Kat\ \mu g\ prot^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	110
Tabela 85. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas atividade da enzima catalase ($Kat\ \mu g\ prot^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	110
Tabela 86. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de prolina ($\mu M\ prolina\ g^{-1}\ MF$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	112
Tabela 87. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de prolina ($\mu M\ prolina\ g^{-1}\ MF$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	112
Tabela 88. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de prolina ($\mu M\ prolina\ g^{-1}\ MF$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	113
Tabela 89. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de prolina ($\mu M\ prolina\ g^{-1}\ MF$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.	113
Tabela 90. Altura de plantas (cm) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	114
Tabela 91. Comprimento de ramos (cm) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	115

Tabela 92. Números de folhas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	115
Tabela 93. Área foliar (cm ²) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	116
Tabela 94. Massa fresca de folhas (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	117
Tabela 95. Massa fresca de caule (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	117
Tabela 96. Massa fresca de raiz (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	118
Tabela 97. Massa seca de folhas (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	119
Tabela 98. Massa seca de caule (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	119
Tabela 99. Massa seca de raiz(g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	120
Tabela 100. Altura de planta (cm) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	121
Tabela 101. Comprimento de ramos (cm) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação..	121
Tabela 102. Números de folhas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	122
Tabela 103. Área foliar (cm ²) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	122
Tabela 104. Massa fresca de folhas (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação..	123
Tabela 105. Massa fresca de caule (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação..	124
Tabela 106. Massa fresca de raiz (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	124
Tabela 107. Massa seca de folhas (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	125

Tabela 108. Massa seca de caule (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	125
Tabela 109. Massa seca de raiz (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.	126

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Plantas de café dos cv. Obatã e Catuaí, em fase de pré-condicionamento.....	21
Figura 2. Curva de retenção de água no solo utilizada durante os experimentos.....	23
Figura 3. Déficit de pressão de vapor registrado em 2013 para o experimento 1. Segmentos em vermelho indicam os ciclos de DH e em azul os períodos de recondicionamento.....	25
Figura 4. Déficit de pressão de vapor para o experimento 2 conduzido em 2014. Segmentos em vermelho demarcam os ciclos de ES em azul os períodos de recondicionamento.....	25
Figura 5. Manejo de água no solo, por tensiometria.	29
Figura 6. Extratores de solução instalados nos vasos.....	30
Figura 7. Avaliação de trocas gasosas com IRGA no cafeeiro.	32
Figura 8. Valores de tensão de água no solo para o ciclo DH1, onde os tratamentos D1- 25% da NHC, D2- 50% da NHC e D3- 100% da NHC e TAS (tensão de água no solo). Fevereiro 2013.....	37
Figura 9. Valores de tensão de água no solo (TAS) para o ciclo DH2, onde os tratamentos D1- 25% da NHC, D2- 50% da NHC e D3- 100% da NHC. Março 2013.....	38
Figura 10. Valores de tensão de água no solo (TAS) para o ciclo DH3 , onde os tratamentos D1- 25% da NHC, D2- 50% da NHC e D3- 100% da NHC. Março/Abril 2013.	39
Figura 11. Tensão de água no solo durante experimento com tratamentos salinos e de extratos de alga em dois cultivares de cafeeiro (2014).....	80
Figura 12. Aspecto das plantas cv. Obatã, tratamento salino ao final do ciclo ES2. Planta com tratamento de alga A1 com melhor aspecto. Planta controle apresentando necrose intensa e crescimento comprometido.	98
Figura 13. Aspecto das plantas cv. Obatã, tratamento sem sal ao final do ciclo ES2. Planta com tratamento de alga A1 com melhor aspecto.....	99
Figura 14. Aspecto do experimento ao final do ciclo DH1. Com o conjunto de plantas à direita para os tratamentos D1-25%NHC, ao centro D2-50%NHC e à esquerda para D3-100% NHC. Em fitas azuis A1, vermelhas A2 e brancas C. Cultivar Obatã nas linhas à direita e Catuaí 99 linhas à esquerda.	127
Figura 15. Aspecto de plantas de café que receberam os tratamentos na época 6 do ciclo DH2, a planta controle apresenta murcha pronunciada.....	128

Figura 16. Tratamento D1 na época 6. Plantas controle apresentam murcha parcial e menor crescimento que plantas que receberam extratos de algas.....	129
Figura 17. Análise de componentes principais por cultivares. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. V1 e V2, representam os cv. Obatã e Catuaí 99, respectivamente.	130
Figura 18. Análise de componentes principais por lâminas de irrigação. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. D1, D2 e D3 representam as lâminas de irrigação de 25, 50 e 100 % da NHC, respectivamente.....	131
Figura 19. Análise de componentes principais por lâminas de irrigação. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. Onde, o Ciclo DH1 é representado em área foliar; o ciclo DH2 é representado em área foliar 1 e o Ciclo DH3 é representado em área foliar 2.....	131
Figura 20. Análise de componentes principais por tratamento de extrato de algas. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente.	132
Figura 21. Aspecto geral do experimento na época 9 para o tratamento D1-25%NHC, D2-50%NHC e D3-100% NHC com respectivo gradiente de turgescência.....	133
Figura 22. Análise de componentes principais para variável cultivar, V1 e V2, representam os cv. Obatã e Catuaí 99, respectivamente.	135
Figura 23. Análise de componentes principais para variável tratamento salino.	136
Figura 24. Análise de componentes principais para variável tratamento salino indicando a resposta das componentes Prolina e SOD em função do aumento da salinidade.....	136
Figura 25. Análise de componentes principais para variável extrato de algas.....	137
Figura 26. Análise de componentes principais para variável ciclo de ES.....	138
Figura 27. Análise de componentes principais por cultivares. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. V1 e V2 representam os cv. Obatã e Catuaí 99, respectivamente.	139
Figura 28. Análise de componentes principais por tratamento salino. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente.	139
Figura 29. Análise de componentes principais por tratamento de extrato de algas. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente.	140
Figura 30. Análise de componentes principais para os tratamentos com extratos de alga. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. Onde,	

área foliar representa a avaliação anterior ao ES1, área foliar_1 a avaliação após o ciclo ES1 e área foliar_2 a avaliação ao final de ES2. 141

APLICAÇÃO DE EXTRATOS DE ALGAS MARINHAS EM CAFEIEIRO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA E ESTRESSE SALINO. Botucatu, 2015. 173 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: MARCOS DE OLIVEIRA BETTINI

Orientador: FERNANDO BROETTO

RESUMO

O presente estudo relacionou os efeitos da aplicação de dois extratos de algas marinhas às características biométricas, relações hídricas, trocas gasosas e alterações bioquímicas em dois cultivares de café e sua interferência na tolerância à deficiência hídrica (DH) e estresse salino (ES). Foram conduzidos dois experimentos em blocos causalizados, em estufa com mudas de cafeeiro em vasos de 5 L irrigados por gotejamento, com 3 repetições por tratamento. O primeiro experimento sobre DH comparou três níveis de irrigação: D1-25%, D2-50% e D3-100% da necessidade hídrica da cultura em dois cultivares (Obatã e Catuaí 99) e dois tratamentos de extratos de algas e controle, sendo aplicados três ciclos DH, intercalados com dois períodos de condicionamento. O segundo experimento de ES estudou o efeito da salinidade induzida com NaCl para as mesmas cultivares e para os mesmos tratamentos com extratos de alga. Neste caso foram aplicados dois ciclos de estresse salino intercalados com um período de condicionamento. Os tratamentos com extratos de alga foram: Alga 1 – Aplicações semanais de soluções do extrato líquido solúvel da alga *Ascophyllum nodosum*. Alga 2 – Uma aplicação via solo da combinação de extratos sólidos das algas *Ascophyllum nodosum* e *Lithothamnium calcareum*. Os tratamentos com DH e ES apresentaram menor potencial hídrico foliar, assimilação de carbono, transpiração e área foliar, independentemente dos cultivares. A aplicação de extratos de alga induziu tolerância a estresses hídrico e salino. Plantas de cafeeiro tratadas com extratos de algas apresentaram maior área foliar, maior massa de raízes, maior potencial de água na folha, menor relação Na^+/K^+ , assimilação de carbono e alterações na atividade de enzimas antioxidativas.

Palavras chave: *Ascophyllum nodosum*, estresse abiótico, fotossíntese, *Lithothamnium calcareum*, metabolismo, produção vegetal.

SEAWEED EXTRACTS APPLICATION IN COFFEE PLANTS UNDER WATER RESTRICTIONS AND SALT STRESS. Botucatu, 2015. 173 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCOS DE OLIVEIRA BETTINI

Adviser: FERNANDO BROETTO

SUMMARY

The effects of two seaweed extract were evaluated in terms of biometric characteristics, water relations, gas exchange and biochemical parameters for two coffee cultivars (Obatã e Catuaí 99). In order to have a better understanding how these products interfere in drought and salt stress tolerance. Two greenhouse trials arranged in randomized blocks with three replications per treatment were conducted with coffee transplants in 5 L pots under drip irrigation. The first drought stress experiment compared three irrigation levels (25%, 50% and 100% of water demand) in both coffee cultivars with two different seaweed extracts treatments and control. This experiment received three drought stress cycles of fifteen days interspersed with two periods of fifteen days of reconditioning. The second salt stress experiment induced with NaCl used same cultivars and seaweed extracts treatments in the first trial. In this case two salt stress cycles of thirty days interspersed with one thirty day period for reconditioning were applied. Seaweed extracts treatments were: A1 - Weekly Applications of diluted *Ascophyllum nodosum* soluble liquid extract. A2 - One combined application of *Ascophyllum nodosum* and *Lithothamnium calcareum* solid extracts. Water deficiency and salt stress treatments presented lower foliar water potential, net photosynthesis, transpiration and leaf area for both cultivars. Seaweed extracts application induced salt and drought stress tolerance. Coffee plants treated with seaweed extracts presented higher leaf area, root weight, stem water potential, carbon assimilation, lower rate Na^+/K^+ , and changes in antioxidant enzymes activities.

Keywords: Abiotic stress, *Ascophyllum nodosum*, crop production, *Lithothamnium calcareum*, metabolism, photosynthesis.

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma planta pertencente à família Rubiaceae, sendo que seus frutos possuem elevado valor nutritivo e econômico, usados como matéria prima para a produção da bebida mais consumida no mundo, o café.

A espécie é cultivada em mais de 75 países, sendo o Brasil o maior produtor seguido por Vietnam, Indonésia, Colômbia e Etiópia. Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação esses países contribuíram com 64,44% da produção mundial de café (FAO, 2013). No Brasil, os principais estados produtores de café arábica foram Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Paraná, com respectivamente, 55%, 24,6%, 8,1%, 3,8% e 3,4% da produção nacional (CONAB, 2013).

Perdas de até 70% na produção cafeeira estão associadas a estresses abióticos como seca, salinidade e outros. De forma que a irrigação das lavouras cafeeiras é muito importante e pode proporcionar ganhos de produção de 35 a 70 sacas ha⁻¹ de café beneficiado em condições comerciais. Desta forma, os resultados agrônômicos e econômicos justificam o crescente uso de irrigação na cafeicultura. O manejo adequado da irrigação e o uso eficiente da água proporcionam maiores produtividades e qualidade de grãos (FERNANDES e SANTINATO, 2010). Portanto, técnicas e equipamentos para auxiliar o manejo da irrigação são imprescindíveis. Dentre elas, a tensiometria é uma técnica que possibilita o monitoramento de tensão de água no solo indicando o momento de irrigar e quanto irrigar (BRAGA e CALGARO, 2010). A restrição hídrica asseverada

por aumentos no consumo e períodos de escassez mais intensos transformou-se num desafio cada vez maior para os profissionais da agricultura irrigada.

A salinidade que não é um problema natural das regiões cafeeiras tornou-se um problema grave nas áreas irrigadas com manejo impróprio da fertirrigação. De tal forma que a utilização correta de técnicas de manejo de irrigação e fertirrigação evitam problemas, proporcionam melhores resultados agrícolas e trazem economia de água, energia e fertilizantes.

De tal forma que as técnicas e soluções complementares ao uso racional da irrigação e da fertirrigação contribuem com relevância à produção agrícola no cenário de escassez hídrica. Os extratos de algas marinhas estão associados à indução de tolerância a estresses hídrico e salino em plantas.

A aplicação de extratos de algas também é relacionada à maior absorção de nutrientes, maior formação de raízes laterais e maior desenvolvimento das plantas em geral. Dentre vários relatos científicos, Spann e Little (2011) comprovaram que aplicações de extratos da alga *Ascophyllum nodosum* aumentaram a eficiência no uso da água em plantas cítricas na Flórida. No Brasil existe um considerável aumento no uso dos extratos de algas marinhas nos mais diversos cultivos e sua aplicação na cafeicultura apresenta resultados muito positivos.

No contexto acima, a aplicação de extratos de algas marinhas pode favorecer o maior desenvolvimento e induzir a tolerância a estresses abióticos no cafeeiro, como deficiência hídrica e salinidade, sendo que tais mecanismos de ação podem estar relacionados a diferenças genótípicas.

Visando o aprofundamento desses estudos, conduziram-se dois experimentos para verificar os efeitos de aplicações de extratos de algas marinhas em cultivares de cafeeiro submetidos à deficiência hídrica e salinidade. Nestes experimentos, avaliaram-se parâmetros de crescimento, relações hídricas, nutrição, trocas gasosas e alterações bioquímicas com objetivo de estabelecer correlações entre os tratamentos e o desenvolvimento das plantas das plantas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O cultivo de cafeeiro

O café é a bebida mais consumida no Brasil e no mundo ocidental. O fato de ser uma bebida tão popular, aliado à sua importância econômica, explica o interesse por estudos sobre o café, desde a sua produção, composição até seus efeitos na saúde humana. Dentre as diversas substâncias presentes na composição química do café, além dos nutrientes, destaca-se a cafeína. Muitos estudos têm verificado a influência de seus constituintes na saúde, principalmente a cafeína e ácidos clorogênicos relacionados a pressão arterial e na proteção cardiovascular, por suas propriedades antioxidantes (ABRAHÃO et al., 2010).

O Brasil se destaca como maior produtor e exportador de café mundial, com área planta superior a 2.100.000 hectares, com produtividade média nacional subindo de 12 para 18 sacas de 60 Kg ha⁻¹. As lavouras irrigadas apresentam médias de produção superior a 35 sacas ha⁻¹ e lavouras modelo atingem até 70 sacas ha⁻¹. (FERNANDES e SANTINATO, 2010). Fernandes (2012) explica que os inegáveis resultados agrônômicos e econômicos justificam o crescente uso de irrigação na cafeicultura, atualmente com mais de 260.000 hectares de cafeicultura irrigada. E que o manejo adequado da irrigação proporciona maior produtividade do cafeeiro, além do uso eficiente da água e de energia.

Segundo Matiello et al. (2012), o setor cafeeiro tende a maior adoção de tecnologias que reduzem custos e melhoraram a produção. Com custos em constante elevação é preciso planejar as lavouras através cultivares que permitam escalonamento de colheita e melhores produções em clima desfavorável. A irrigação é uma técnica cada vez mais utilizada na redução dos grandes prejuízos causados por estiagens mais frequentes e intensas.

2.2 Cultivares Obatã e Catuaí 99

A maioria das lavouras cafeeiras no Brasil é implantada com cultivares da espécie *Coffea arabica*, caracterizadas por bebida de alta qualidade e grande aceitação pelo mercado.

Carvalho e Monaco, 1972 descrevem que as primeiras hibridações com plantas das cultivares ‘Caturra Amarelo’ e ‘Mundo Novo’, feitas em 1949 e posteriores seleções resultaram nos cultivares Catuaí Amarelo e Catuaí Vermelho que associaram a rusticidade e a produtividade do ‘Mundo Novo’ ao porte reduzido de ‘Caturra’, característica muito importante, por viabilizar os cuidados à lavoura e facilitar a colheita.

O lançamento pelo IAC dos cultivares Catuaí, plantas de porte baixo, rústicas e de alta produtividade, no início da década de 1970, modernizou os sistemas de produção e viabilizou a utilização de novas áreas para a cafeicultura. E o cultivo de café em regiões outrora improdutivas, como o Cerrado. Destacando-se o plantio da linhagem Catuaí 99 na região de Franca-SP e da linhagem Catuaí 144 no Triângulo Mineiro.

O cultivar Obatã, lançado oficialmente no ano 2000, foi originado por hibridações de linhagens Villa Sarchi e híbridos Timor. O cv. Obatã é resistente à ferrugem e possui sementes maiores que as dos cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. Como características principais, o cultivar apresenta porte baixo, brotos novos de coloração verde e com boa qualidade de bebida (FAZUOLI, 2012). Além disso, o Obatã. é muito exigente em nutrição e mais sensível à seca do que o cultivar Catuaí, sendo indicado principalmente para cultivos irrigados.

2.3 Cafeicultura irrigada, fertirrigação e salinidade

O cafeeiro é muito exigente em água, variando conforme o estágio fenológico da cultura e outros parâmetros como umidade relativa do ar, velocidade do vento, evapotranspiração de referência e área foliar média (CASTANHEIRA, 2013). A deficiência hídrica causa severas perdas na produção de café, sendo capaz de elevar em 45% o índice de grãos malformados quando tal deficiência coincide com a fase de granação (MARCONATO, 2012), afetando e reduzindo o crescimento vegetativo e a produção da safra seguinte. Sendo assim, o uso de irrigação é fundamental e crescente nas regiões e épocas com regime de pluviosidade irregular (FERNANDES et al., 2012).

A irrigação tem sido utilizada mesmo nas regiões consideradas tradicionais para o cafeeiro, como o sul de Minas Gerais, Zona da Mata de Minas Gerais, Mogiana Paulista, Espírito Santo, etc. Trabalhos de pesquisa demonstram que a produtividade média com o uso da irrigação (médias de pelos menos 3 safras) tem sido 50% maior, quando comparada com as lavouras de sequeiro em Lavras e Viçosa, MG, regiões consideradas aptas climaticamente ao cultivo do cafeeiro, sem a necessidade de irrigação (FERNANDES et al., 2012).

Visando proteger-se das oscilações climática dos últimos anos os produtores vêm se utilizando de sistemas de irrigação cada vez mais sofisticados. Em geral a irrigação do cafeeiro é feita por dois métodos: aspersão e irrigação localizada. A irrigação e os aumentos de produtividade a ela associados possibilitaram a expansão da cultura em outras regiões de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo e no cerrado do Centro Oeste segundo, Figueirêdo et al. (2006). Os produtores que utilizam métodos de irrigação pressurizados também adotam a fertirrigação como forma complementar de fertilizar usa lavouras (LEITE JÚNIOR, 2003). A fertirrigação possibilita otimizar o uso de insumos através da aplicação frequente e parcelada de fertilizantes através do sistema. A técnica proporciona ganhos de produtividade e qualidade à cultura, pois permite a adubação em doses, épocas e localização ideais ao cultivo, bem como maior eficiência dos fertilizantes (VILLAS BÔAS et al. 2003; ZANINI et al., 2002). Estes autores também alertaram que o uso impróprio da fertirrigação pode resultar, em aumento da salinidade. Como exemplo, aplicações excessivas de cloreto de potássio provocam desequilíbrio de cátions e estresse salino em cafeeiros na região do Cerrado mineiro e do Espírito Santo onde há maior adoção no uso de irrigação e fertirrigação.

Medeiros e Gheyi (1994) também explicam que a salinização de áreas irrigadas é consequência de problemas associados a água de qualidade inadequada e ao manejo inapropriado do sistema solo-água-planta. E que os efeitos salinos nas diferentes espécies, variam entre espécies e mesmo genótipos da mesma espécie. Uma vez que há espécies que produzem rendimentos aceitáveis, em níveis relativamente altos de condutividade elétrica e outras que são sensíveis e não se estabelecem em condições salinas moderadas (AYERS e WESTCOT, 1999).

Diante da relevância da cafeicultura no Brasil, técnicos e produtores requerem melhores informações sobre as respostas deste cultivo à salinidade e para o correto manejo da fertirrigação. Karasawa et al. (2000), observaram o efeito de cinco níveis de condutividade elétrica na água (1,5; 2,0; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m⁻¹) durante o desenvolvimento de mudas de café no estágio de palito de fósforo. Verificando que todas as plantas morreram na ordem decrescente da concentração de sais na água de irrigação. Evidenciando que a cultura é muito susceptível à salinidade nesta fase. Em trabalho com irrigação por gotejamento, Matiello (1999) observou que plantas jovens suportaram bem a salinidade na água de irrigação até 2,0 dS m⁻¹ em região com boa distribuição de chuvas. Por outro lado, Figueirêdo (2006) verificou que o crescimento inicial do cafeeiro foi prejudicado, paralisado e até levando plantas à morte quando irrigadas com água salina a partir de 1,2 dS m⁻¹ de condutividade elétrica.

2.4 Estresses ambientais

A evolução das plantas superiores se caracteriza por constante adaptação a estresses bióticos e abióticos. As plantas têm sobrevivido graças à sua enorme flexibilidade em adaptar-se às distintas condições de crescimento proporcionadas pela grande diversidade de ambientes do planeta.

O termo estresse é definido como um desvio relevante das condições ótimas para o desenvolvimento das plantas, aumentando seu gasto energético para suportá-lo. A intensidade e o tempo de duração dos agentes estressores induzem respostas reversíveis ou irreversíveis em todos os níveis funcionais do organismo, podendo influenciar em novos padrões fisiológicos de maneira positiva ou negativa (NOGUEIRA et al., 2005).

Para suportar estresses ambientais, como períodos de seca, por exemplo, os vegetais desenvolveram mecanismos de tolerância que podem variar com o genótipo (SHVALEVA et al., 2006; CHAVES et al., 2002). Nogueira, 2005 *apud* Bray afirma que pelo menos 130 genes de *Arabidopsis thaliana* são ativados e envolvidos nos mecanismos de tolerância à falta de água em nível de metabolismo celular. Estes mecanismos incluem alterações morfológicas, fisiológicas e algumas características estruturais e fisiológicas, tais como inibição no crescimento, controle sobre a transpiração e fechamento estomático (NOGUEIRA et al., 2005) e aumento na profundidade do sistema radicular. Além disso, em condições de estresse intenso e seca prolongada podem induzir a produção de espécies reativas de oxigênio nas células (BROETTO et al., 2002) com efeito devastador para o sistema de membranas celulares. Durante o processo de falta de água nos tecidos, alguns metabólitos podem auxiliar as células na preservação da integridade estrutural e funcional de suas membranas. Entre estes, destacam-se a prolina, glicina betaína e alguns açúcares (SMIRNOFF, 1998).

O envolvimento de compostos secundários com a tolerância à DH tem sido relatado em inúmeros trabalhos. Compostos secundários como as quinonas, polióis, flavonoides, fenóis e carotenoides estão envolvidos nas respostas antioxidantes durante a DH (FARRANT, 2000; HOEKSTRA et al., 2001; OLIVER et al., 2001). Um dos principais mecanismos moleculares de dano às células sensíveis a DH é o ataque das espécies reativas de oxigênio (também conhecidas por radicais livres) a fosfolipídios, DNA e proteínas. Por sua vez, a célula tem como mecanismo para combater estes radicais livres a produção e aumento na atividade de enzimas do sistema de resposta antioxidativo, como: polifenol oxidase, catalase, superóxido dismutase, lipoxigenase, glutathione redutase e ascorbato peroxidase (HOEKSTRA et al., 2001; OLIVER et al., 2001; PASTORI; FOYER, 2002). Os radicais livres originam-se de formas parcialmente reduzidas ou ativadas, de espécies altamente reativas de O₂, produzidas em maior taxa nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos de plantas em plantas sob DH (OLIVER et al., 2001). E o mecanismo de tolerância a este estresse se dá através de solutos anfífilicos, que além de carboidratos, incluem compostos secundários como alcaloides, flavonoides e outros compostos fenólicos. À medida que a planta perde água, solutos anfífilicos são deslocados do citoplasma aquoso para a fase lipídica das membranas celulares, mantendo a fluidez e evitando o enrijecimento das mesmas (HOEKSTRA et al., 1997; GOLOVINA et al., 1998; OLIVER et al., 2001; HOEKSTRA et al., 2001; HOEKSTRA; GOLOVINA, 2002).

Os efeitos da DH e estresse salino são enfatizados por diversos autores sobre diferentes parâmetros fisiológicos (HERMS e MATTSON, 1992; KRAMER e BOYER, 1995; LARCHER, 1995; LEONARDO, 2003). Os estresses progressivos em nível moderado ou severo afetam a capacidade fotossintética das plantas. A consequência imediata seria a redução e posterior interrupção no suprimento de CO₂ com prejuízo no acúmulo de matéria seca, vital para o desenvolvimento vegetativo. A taxa de fotossíntese líquida nas folhas é raramente sensível a estresse leve, ao contrário da expansão foliar. A razão para isto é que a fotossíntese é muito menos sensível a alterações de turgidez do que a expansão foliar (COSTA, 2001).

2.5 Deficiência hídrica (DH)

A importância da água para os seres vivos é o resultado das suas propriedades físicas e químicas (KLAR, 1991). A água é o doador de H⁺, que são absorvidos e depois assimilados pelas plantas durante a fotossíntese. Também é um solvente para muitas substâncias, como sais inorgânicos, açúcares e ânions orgânicos e é o ambiente onde acontecem todas as reações metabólicas das células. Água na forma líquida permite a difusão e fluxo de massa de solutos e, portanto, é essencial para o transporte e distribuição de nutrientes e metabólitos. A água é importante nos vacúolos de células vegetais exercendo pressão sobre o protoplasma e a parede celular, mantendo assim a turgescência em folhas, raízes e outras partes da planta (SANCHEZ-DIAZ e AGUIRREOLEA, 1993). A quantidade de água presente nos tecidos vegetais é, provavelmente, a medida mais acessível do seu estado hídrico. Além disso, o parâmetro termodinâmico, normalmente usado para descrever o estado energético da água nas plantas é o potencial hídrico (Ψ), definido como: $\Psi = (\mu_w - \mu_{0w}) / V_w$, sendo μ_w o potencial químico da água no sistema, μ_{0w} o potencial químico da água pura à mesma pressão e temperatura e a V_w o volume parcial molar da água expresso como $V_w = 18,05 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ (NOBEL, 1999; PASSIOURA, 1982). Com esta definição, Ψ tem dimensões de pressão, normalmente expressos em kilo ou Mega Pascal (kPa e MPa). O potencial hídrico da água livre é considerado nulo, caindo para valores negativos, quando advém qualquer fator que reduz sua disponibilidade físico-química.

Para medir o Ψ , utiliza-se a técnica de câmara de pressão, descrita por Scholander et al. (1965). Este instrumento é mais adequado para uma leitura rápida e

fácil do potencial hídrico em condições de campo (BENNETT, 1990; SPOMER, 1985). A DH é o principal problema ambiental em regiões de clima seco ou semi-árido, o qual se impõe como fator limitante à produção vegetal, causando grandes impactos econômicos (ABRISQUETA, 2010, SHAO et al., 2008; SAVÉ et al., 1999).

Todos os aspectos de crescimento e desenvolvimento são afetados pela DH nos tecidos das plantas. As consequências da DH iniciam com redução no volume celular, aumento na concentração de solutos e a gradativa desidratação do protoplasto, afetando primeiramente o crescimento e a seguir a inibição do metabolismo de proteínas, redução na atividade da redutase do nitrato e desencadeamento na síntese de ácido abscísico, promovendo fechamento estomático. Com aumento na intensidade da desidratação, processos catabólicos se acentuam e aceleram a senescência foliar (LARCHER, 2000; TAIZ e ZEIGER, 2011).

Campohermoso (2011) descreve que as plantas apresentam três vias principais e padrões de adaptação à deficiência hídrica:

1- Mecanismos de evitação da seca, quando as plantas aceleram ou encurtam seu ciclo de desenvolvimento de forma a completá-lo antes da estação seca, adaptações que podem significar máximo crescimento e máxima eficiência no uso de água, mas que não são considerados mecanismos de resistência.

2- Mecanismos tolerantes à seca, caracterizados por modificações que permitam suportar certo grau de desidratação de tecidos sem reduções drásticas de suas atividades vitais. Kramer e Boyer (1995) destacam redução na expansão foliar, aumento nos teores de açúcares em raízes e aminoácidos em folhas. Apesar de que não sejam totalmente desvendados, Solominos (2010) sugere a influência de reguladores de crescimento, de ajuste osmótico e de maior elasticidade celular como mecanismos de tolerância a nível molecular, de estrutura de membranas e enzimáticos.

3- Mecanismos de evitação da desidratação, caracterizados por tecidos que reagem contra a sua desidratação, como maior crescimento de raízes, redução da condutância estomática e da transpiração nas folhas.

Em resposta a tais situações, algumas espécies recorrem ao ajustamento osmótico como forma de tolerância a desidratação severa. O ajustamento osmótico pode ser alcançado com o acúmulo de solutos inorgânicos (principalmente K^+) nos vacúolos e compostos orgânicos (trehaloses, prolina, polióis, outros) no citosol de

forma a manter o equilíbrio hídrico da célula, sendo a prolina um dos compostos mais bem estudados como resposta de plantas a DH (NOGUEIRA, 2005).

Kramer e Boyer (1995) explicam que ligeira desidratação no solo causa elevação na concentração de ácido abscísico e alteração na condutividade hidráulica da raiz e do xilema, que podem induzir o fechamento estomático e redução da expansão foliar (YORDANOV et al., 2000) em momentos de alto déficit de pressão de vapor. A equipe de Boyer acredita que a diminuição da atividade fotossintética por desidratação moderada é um efeito metabólico e a concentração intercelular de carbono se mantém alta e até aumenta com a seca. Em contrapartida, Cornic (2000) indica que esta limitação na fotossíntese é principalmente ocasionada devido à menor difusão de CO₂ para o interior da folha causada pelo fechamento estomático sem limitação metabólica.

Taiz e Zeiger, 2011 enfatizam que a tolerância à desidratação dos tecidos consiste na economia de água através da redução na transpiração (fechamento estomático, enrolamento e mudança de ângulo foliar, espessamento de cutículas e abscisão de folhas) e aumento na capacidade de absorção de água (aprofundamento do sistema radicular, aumento na relação raiz/parte aérea).

2.6 Estresse salino

A resposta das plantas à salinidade é um fenômeno complexo, envolvendo alterações em processos fisiológicos, bioquímicos e nutricionais. (KRAMER e BOYER, 1995). Estas respostas inclusive causam mudanças morfológicas e alterações no crescimento que muitas vezes causam impacto negativo na produtividade das plantas. Deste modo, a sobrevivência e a produtividade eficiente de plantas em ambientes salinos ou salinizados ocasionam mudanças adaptativas na absorção, transporte e distribuição de íons nos diferentes órgãos da planta e sua compartimentação dentro das células segundo Munns e Termaat (1986).

Compostos bioquímicos como pigmentos fotossintéticos, açúcares e proteínas têm seus teores alterados pela salinidade. O acúmulo de aminoácidos livres, principalmente prolina, aumenta devido à presença de NaCl em comparação com as plantas crescidas em meio não salino para algumas espécies. O acúmulo de prolina é rápido e parece ser uma adaptação ao estresse salino (BERTELI et al., 1995), defendendo

os tecidos vegetais contra estresse osmótico e/ou atuando como protetor enzimático (SOLOMON et al., 1994; LIU e ZHU, 1997).

Prolongadas exposições e maiores concentrações de NaCl agravam ainda mais os efeitos da salinidade. Quando o estresse salino é mais severo, o ajustamento osmótico envolve maior gasto de energia devido à síntese de solutos orgânicos (RODRÍGUEZ et al., 1997). Os solutos orgânicos no citosol contribuem para o equilíbrio osmótico intracelular. Altas concentrações de íons orgânicos no vacúolo contribuem na proteção de enzimas no citosol quando a concentração de íons aumenta (GREENWAY e MUNNS, 1980).

O citosol de plantas não halófitas, em condição não salina, apresentam de 1,0 a 3,0 dag kg⁻¹ de K⁺ e 0,01 a 0,1 dag kg⁻¹ de Na⁺. Tratando-se de ambiente iônico no qual muitas enzimas alcançam o seu ótimo. A toxicidade iônica ocorre quando a aumento nas concentrações e acúmulo de íons prejudiciais, especialmente Na⁺, Cl⁻ ou SO₄⁻², nas células. A alta relação Na⁺/K⁺ e também a elevada concentração total de sais inibe a síntese proteica e inativam enzimas (TAIZ e ZEIGER, 2011).

Compostos e íons inorgânicos são importantes na preservação do potencial hídrico das plantas. Mecanismos que resultam no acúmulo de compostos orgânicos e na exclusão de Na⁺ e Cl⁻ de tecidos ativos da parte aérea das plantas estão relacionados à tolerância das culturas ao estresse salino (CHEESEMAN, 1998). Esta exclusão ocorre por acúmulo preferencial de íons tóxicos em tecidos relativamente tolerantes da raiz ou da parte aérea (BOURSIER et al., 1987).

A redução do crescimento e produtividade observada em muitas plantas submetidas à excessiva salinidade está frequentemente associada à diminuição na sua capacidade fotossintética (NEVES et al., 2009). O crescimento das plantas é diretamente afetado pelos efeitos da salinidade, de tal forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons parâmetros de avaliação no grau de estresse e na capacidade das plantas em superar estresses salinos (MORAIS et al., 2011). Segundo Echer et al. (2010) decréscimo na turgescência pode causar decréscimo na taxa de crescimento, sendo que, pequenas diminuições no conteúdo de água e na turgescência podem reduzir a velocidade do crescimento ou até impedi-lo completamente.

Prisco; Filho (2010), explicam que a redução do crescimento em algumas plantas pode ser resultado do elevado nível salino na água de irrigação, afetando o equilíbrio iônico, a composição nutricional e fitohormonal, processos fisiológicos, reações

bioquímicas ou mesmo reduzindo a taxa fotossintética (MAHMOUD e MOHAMED, 2008; SUCRE et al., 2011).

Alterações no potencial osmótico, toxicidade iônica e desequilíbrio na absorção de nutrientes são efeitos marcantes da salinidade nas plantas, provocam redução generalizada em seu crescimento e graves prejuízos à agricultura (TÁVORA et al., 2001; SOUZA et al., 2008; AHMED et al., 2010). Entretanto, segundo Ayers e Westcot (1999), as culturas não respondem igualmente à salinidade, e tal diferença está relacionada à melhor capacidade de adaptação osmótica de algumas espécies, que mantém alta absorção de água mesmo em condições de salinidade. Adaptação que é muito útil, permitindo a seleção de culturas mais tolerantes e capazes de produzir bem, mesmo sob ambiente com relativa salinidade. (GARCÍA et al., 2011; NAZAR et al., 2011).

2.7 Algas marinhas na agricultura

Existem cerca de um milhão de espécies de algas marinhas, algumas distribuídas nos reinos Bacteria, Plantae, Chromista e Protozoa. Algas marinhas são organismos avasculares, filamentosos, autotróficos uni ou pluricelulares. Entre elas, merece destaque por sua importância agrícola a espécie *Ascophyllum nodosum*, alga parda pertencente ao reino Chromista, classe *Phaeophyceae*, família *Fucaceae*, gênero *Ascophyllum*, que abriga cerca de 18 espécies atualmente (GUIRY, 2012; GUIRY e GUIRY, 2014).

O uso de algas marinhas na agricultura remete à antiguidade. Entre os primeiros relatos encontrados, estão os escritos no livro do romano Lucius Junius Collumela, que recomendava para o cultivo do repolho a cobertura do solo com algas marinhas durante o transplante e após, quando a planta atingisse a 16ª folha. Outros relatos ainda do império Romano, indicam o uso junto a raízes de romã e plantas cítricas ou em compostagem com outros compostos orgânicos objetivando melhor desenvolvimento vegetativo destas plantas (CRAIG, 2011).

Mais recentemente fazendeiros usavam algas marinhas como fontes de matéria orgânica, fertilidade e condicionadores de solo e ainda hoje muitos agricultores incluem produtos de algas marinhas em seus programas de cultivo. Entretanto, pesquisadores estão descobrindo ainda mais razões para o uso de extratos de algas na agricultura. Pesquisas com extratos da alga *Ascophyllum nodosum*, comprovaram melhor

estabelecimento inicial das plantas, aumento na resistência a estresses como seca, temperatura, salinidade, doenças e insetos, maior desenvolvimento de raízes, plantas com coloração verde mais intensa e maiores níveis nutricionais, maiores produtividades e melhores colheitas. Os extratos desta alga marinha também afetam as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, aumentando a capacidade de retenção de umidade e promovendo o desenvolvimento de microrganismos do solo benéficos aos cultivos, atributos que também influenciam o crescimento e a sanidade das plantas (NORRIE e HILTZ, 1999).

As pesquisas sobre algas que embasaram o uso atual de algas na agricultura, no entanto, tiveram início durante o período da Segunda Guerra Mundial. O governo britânico, com objetivos militares, passou a investir no desenvolvimento de fontes locais de fibras, projeto a cargo do bioquímico, Dr. Reginald F. Milton. Infelizmente, as fibras de alginato de cálcio e berílio são rapidamente biodegradadas em clima quente e úmido e o projeto fora encerrado. O pesquisador então iniciou pesquisas de métodos para obter um fertilizante líquido baseado nestas algas. Em 1947 patenteou um método de extração alcalina em alta temperatura, que foi o princípio das demais pesquisas e métodos que surgiram posteriormente (MILTON, 1952; CRAIG, 2011).

Atualmente estão disponíveis para uso agrícola extratos de diversas espécies de algas como *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria* spp., *Ecklonia máxima*, *Sargassum* spp., *Durvillaea* spp., entre outras. A espécie mais estudada e utilizada é a *Ascophyllum nodosum*. Esta alga parda perene é encontrada na costa norte do oceano Atlântico, onde as temperaturas da água não excedem a 27 °C. Análises de tecidos demonstraram que entre 46 e 60% do peso desta espécie é composta de carboidratos, como fucosoidinas, laminarinas e alginatos, que poderiam ter ação na sinalização em tecidos vegetais. Também se observa a presença de compostos ligados à defesa de plantas contra estresses como betaínas, prolinas e hormônios como citocininas, auxinas e ácido abscísico, levantando à hipótese de que com a aplicação de tais compostos às plantas se poderia obter melhor desenvolvimento e tolerância à estresses (LE JOLIS, 1863; KHAN et al., 2009; CRAIG, 2011; GUIRY, 2014).

Os principais benefícios da aplicação de extratos de *A. nodosum* às plantas são: melhor desenvolvimento vegetativo, principalmente de raízes (com destaque as raízes laterais e pelos absorventes) e a maior tolerância a estresses abióticos (como seca e salinidade) e bióticos (KHAN 2009; SHARMA et al. 2014). Também foi demonstrado

efeito positivo do uso de extratos de *Ascophyllum nodosum* na interação com microrganismos benéficos do solo, como as micorrizas (ALAM et al., 2012; KHAN et al., 2012). Estes efeitos estão ligados à sensibilização da planta por determinados compostos presentes no extrato de algas que levam a respostas gênicas e alterações fisiológicas. Recentemente ficou comprovado que extratos alcalinos de *A. nodosum* estimularam maior produção e concentração de citocinina nos tecidos de *Arabidopsis thaliana* (KHAN et al., 2010; WALLY et al., 2013). Além de maior concentração de citocininas nos tecidos após a aplicação do extrato de alga (24 a 144 horas), foi medida a maior expressão de genes que atuam na síntese destes hormônios através da técnica de RTqt-PCR, bem como a repressão de genes associados à catálise de citocinina. Nesses estudos também foi possível associar a maior síntese e concentração de citocinina ao maior desenvolvimento de plantas de *Arabidopsis thaliana*.

Através de um método de análise de betaínas aprimorado foi possível confirmar e quantificar as concentrações de glicina-betaína, ácido amino valérico betaína, ácido amino butírico betaína e laminina na alga *Ascophyllum nodosum* e em seus extratos (MACKINNON, HILTZ, UGARTE e CRAFT, 2009). De ocorrência natural estes compostos de amônia quaternária agem como osmólitos e/ou afetam a expressão gênica aumentando a tolerância das plantas a estresses de temperaturas, seca e salinidade (SAKAMOTO et al. 2000; YANG et al., 2007).

Estes efeitos da aplicação de extratos de algas nas plantas são relatados em diversos cultivos de importância para o Brasil, tais como feijoeiro, soja, trigo, batata, tomate, citros, cafeeiro entre outros (BETTONI et al., 2008; MÓGOR et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2011; CARVALHO, 2014). Em cafeeiro (cultivar Topázio) foi observado maior desenvolvimento de plantas adultas que receberam aplicações foliares do extrato de algas (FERNANDES et al., 2014). Durante quatro anos (safras) foram feitas aplicações quinzenais de 0,6 L ha⁻¹, 1,2 L ha⁻¹ e 1,8 L ha⁻¹ e 2,4 L ha⁻¹. Os autores observaram melhor produtividade em comparação ao controle em todas as doses avaliadas no primeiro ano, para as plantas retornaram a produção após a poda drástica (“esqueletamento”). Segundo estes, o extrato de algas pode ter auxiliado também na recuperação destas plantas. O mesmo padrão foi seguido nos anos seguintes, sendo que na média das quatro safras estudadas a dose de 1,2 L ha⁻¹ obteve produtividade significativamente melhor que as demais – em torno de 11 sacas/ha (31.5%) e superior à

média do controle – indicando que o uso do bioestimulante em anos consecutivos elevou a produtividade do cafezal.

Em cafeeiro também foi observada melhor tolerância ao DH após aplicações do extrato de algas. Fernandes et al. (2014) observaram a produtividade de cafeeiros irrigados, não irrigados e parcialmente irrigados (apenas 50% da evapotranspiração de referência) que receberam ou não aplicação de extrato de *A. nodosum* em quatro anos consecutivos. Neste estudo os cafeeiros receberam uma aplicação de extrato de *A. nodosum* via fertirrigação (2 L ha⁻¹) e quatro aplicações foliares de 1.2 L ha⁻¹ a partir do aparecimento de botões florais e foram submetidos aos diferentes regimes de irrigação. Nas condições hídricas normais (com irrigação) a aplicação do extrato de algas levou a incremento na porcentagem de frutos maduros e de produtividade em relação ao controle ao longo das avaliações, sendo na média um incremento de 22 sacas/ha (61%). Com relevante importância as plantas que receberam o extrato de algas e foram parcialmente irrigadas apresentaram produção superior aos controles, 49,4% em relação ao irrigado e 316% ao não irrigado, e estatisticamente igual às plantas tratadas com irrigação plena. Estes resultados indicam que estas plantas foram capazes de produzir em condições de DH moderado e responder ao estímulo para incremento de produção de forma muito semelhante à condição hídrica normal. Quando comparados apenas os tratamentos não irrigados, no entanto, não houve diferença significativa na média dos anos. Isto pode indicar que a maior tolerância em decorrência de aplicação do extrato de alga deve estar limitada pela severidade do estresse e/ou a capacidade de tolerância da cultivar.

Melhor tolerância ao DH também foi observada no desenvolvimento vegetativo de mudas de laranja doce enxertadas para dois porta enxertos (Carrizo e Citrumelo Swingle) em casa de vegetação (SPANN e LITTLE, 2011). Foram feitas aplicações semanais de 5 mL L⁻¹ do extrato de algas em grupos de plantas irrigados ou em DH (irrigação com 50% da evapotranspiração de referência) a partir da 5ª semana do experimento. As plantas controle parcialmente irrigadas apresentaram redução da fotossíntese líquida e desenvolvimento vegetativo, indicando que sofreram DH. Plantas parcialmente irrigadas que receberam o extrato de algas apresentaram semelhante desenvolvimento de área foliar e peso seco de ramos ao de plantas totalmente irrigadas - e superior ao controle também parcialmente irrigado. Estes resultados indicam que as plantas que receberam o extrato de algas lograram desenvolver-se mesmo em condição de estresse. No caso do porta enxerto Swingle, descrito como sensível ao DH, apresentou melhor

eficiência do uso de água em comparação ao controle parcialmente irrigado. Os autores pontuam que as respostas distintas observadas entre os porta enxertos podem indicar que o efeito do tratamento com extratos de algas à tolerância ao estresse está ligado também às características da cultivar e sua tolerância natural ao estresse.

Estes resultados nos diferentes cultivares podem estar ligados a diferenças no sistema radicular, também em mecanismos de defesa, como pré-condicionamento, acumulação de compostos de defesa, equilíbrio osmótico, regulação da condutância estomática entre outros. Em sua pesquisa em cultivos cítricos, Spann e Little (2011) observaram que ambos os porta enxertos tratados com extrato de alga apresentaram potencial osmótico menos negativo se parcialmente irrigadas em comparação ao controle avaliado antes ou após a irrigação.

Zhang e Ervin (2004) observaram menor redução da eficiência fotossintética ao longo do tempo de restrição hídrica em gramados de golfe (*Agrostis palustris*) que receberam aplicações prévias de extrato de algas ou a combinação deste com ácidos húmicos. Também foi possível associar a aplicação destes compostos com melhor aspecto visual do gramado.

Carvalho et al. (2014) observaram a concentração de prolina em feijoeiro exposto ao DH no início da fase reprodutiva, momento em que a maioria das plantas apresentava flores nos nós inferiores (R5), ou seja em pré-florescimento. Plantas que receberam aplicação do extrato de algas em ambas as concentrações avaliadas (5 mL L⁻¹ e 10 mL L⁻¹) via solo ou 10 mL L⁻¹ por aplicação foliar anterior ao período de estresse apresentaram maiores concentrações do aminoácido após 5 e 10 dias de restrição hídrica. Os autores também observaram haver maior concentração de prolina em avaliações anteriores à aplicação do estresse, podendo ser um indicio de pré-condicionamento das plantas pelo extrato de algas.

Maior acúmulo e síntese de prolina, betaínas e glicinas já haviam sido relatados após a aplicação de extratos de algas relacionados à tolerância a estresses por baixas temperaturas em plantas de *Arabidopsis thaliana* (Nair et al., 2012). Neste trabalho, os autores concluíram que a aplicação do extrato de alga levou ao pré-condicionamento das plantas para maior acúmulo de compostos osmoprotetores, alteração da regulação gênica e composição de ácidos graxos na célula, o que possibilitou a melhor tolerância à temperatura extrema pelas plantas.

Outro aspecto interessante atribuído à aplicação de extratos de algas pardas é a influência na tolerância ao estresse salino. Plântulas de tomateiro tratadas com extrato de algas apresentaram melhor desenvolvimento vegetativo, menor degradação de clorofilas entre outros aspectos em comparação a plantas controle quando estas foram expostas a estresse salino (100 mM de NaCl). Para tal, Kumar (2014) isolou uma fração em etil acetato de um extrato comercial de *A. nodosum* (EtOAc – ANE) e realizou aplicações antes do estresse salino, realizando as avaliações biométricas após 14 dias. Apesar de inferior às plantas que não sofreram estresse, houve incremento significativo na área foliar (em torno de 25%) e comprimento de raízes de plantas que receberam o extrato de algas em comparação ao controle quando expostos a salinidade. As plantas tratadas também foram capazes de reter concentrações significativamente maiores de clorofilas (*chl_a*, *chl_b* e carotenoides) durante o estresse, bem como acumular um valor numérico 15% superior do osmólito compatível prolina.

Foi observada maior atividade da enzima antioxidante catalase nas plantas tratadas em comparação as controle quando avaliadas após 24 h e 96 h de exposição ao estresse, indicando que a aplicação da fração auxiliou a manter níveis mais altos de atividade da enzima ao longo do tempo. Estes resultados somados demonstraram a maior tolerância das plântulas à salinidade e que esta possivelmente ocorre por melhor atuação de diversos mecanismos de defesa da planta, como acumulação e atividade de compostos osmoprotetores e antioxidantes.

A tolerância à salinidade também pode estar ligada a alguma forma de seletividade iônica de absorção ou translocação, uma vez que foi observada menor concentração de Na⁺ nos tecidos dos tomateiros tratados com o extrato de algas neste estudo.

Há outros indícios de que a maior tolerância ao estresse salino é relacionada aos mecanismos de resistência natural a estresses das plantas. Jitesh et al (2012) avaliaram o padrão da resposta gênica de plantas de *A. thaliana* expostas a salinidade (NaCl 10 mM) através da análise de *microarrays*. Plantas que receberam a aplicação do extrato de algas antes da solução salina induziram a sobre expressão ou repressão de vários genes reguladores da tolerância ao estresse por salinidade em comparação às plantas controle. Como por exemplo, pode ser citado o gene inibidor de pectina metil esterase (PMEI, At1g62760), de regulação negativa durante o estresse e teve menor expressão nas plantas tratadas. Também houve expressão diversa à de plantas

controle relacionadas a outros genes de função atualmente desconhecida, possivelmente estejam também ligados a maior tolerância à salinidade. Assim a aplicação do extrato de alga levou a uma resposta gênica diversa das plantas que permaneceram sensíveis, possivelmente por ativar ou alterar mecanismos de defesas.

Outra alga marinha utilizada na agricultura é o *Lithothamnium calcareum*, uma alga vermelha não articulada do filo das *Rhodophytas*, pertencente à ordem *Corallinales* e à família *Corallinaceae* (GRAHAM e WILCOX, 2000). A alga viva é geralmente vermelha em razão da presença de phyco-eritrina, enquanto a alga morta é de coloração cinza azulada. O principal país produtor desta alga é a França. Porém, há grande ocorrência e reservas naturais deste recurso nas costas brasileiras. A alga é extraída do mar por processos manuais ou mecânicos e a matéria prima *in natura* é lavada, desidratada, moída e ensacada; podendo ser aplicada diretamente ao solo (GOMES et al., 2000). O *Lithothamnium* se caracteriza pela deposição carbonato de cálcio em sua parede celular. O esqueleto de alga é constituído de 95 a 99% de minerais, majoritariamente de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, como também de outros minerais e em quantidades não negligenciáveis, portanto uma fonte alternativa de nutrientes para a agricultura.

Produtos à base da alga *A. nodosum* têm sido utilizados em busca de maior produção comercial e aumento no pegamento dos frutos em diversos cultivos. Esses efeitos são devidos, principalmente, ao fortalecimento da estrutura da planta (aperfeiçoa a eficiência dos insumos; promove maior vigor da planta; melhora a resistência ao estresse e aumenta a qualidade no beneficiamento do produto) e ao desenvolvimento mais saudável das raízes (maior crescimento de raízes laterais).

O uso de extratos de algas em cafeeiro ainda é pouco estudado. Entretanto, Fernandes et al. (2014) conduziram por quatro anos o experimento instalado no Campo Experimental Izidoro Bronzi em Araguari-MG visando estudar diversos tratamentos do extrato de *Ascophyllum nodosum* em lavoura adulta de café. Estudaram os efeitos de aplicações de doses do extrato de algas, lâminas de irrigação, aplicações foliares e em fertirrigação na produção e no crescimento das plantas podadas e sem poda. O experimento concluiu que os extratos de algas foram eficientes quando associados à irrigação, com acréscimo de até 242% na produtividade em condições de cerrado. Além disso, o extrato de *A. nodosum* pode ser uma alternativa viável para cafeeiros podados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização dos experimentos

Foram conduzidos experimentos em estufa agrícola com área de 70 m² no distrito de Rubião Júnior, no Departamento de Química e Bioquímica do IB/UNESP em Botucatu-SP (Figura 1) no período de janeiro de 2012 a julho de 2014, com coordenadas geográficas 22° 52' de latitude Sul e 48° 26' de longitude W Greenwich e altitude de 815 m. O clima de Botucatu segundo Koppen é classificado como Cwa (Cunha et al., 1999), com verão chuvoso e inverno seco e temperatura média nos meses frios inferior a 17 °C e do mês quente superior a 23 °C.



Figura 1. Plantas de café dos cv. Obatã e Catuaí, em fase de pré-condicionamento.

Experimento 1 - Plantas dos cultivares de cafeeiro Obatã e Catuaí 99 foram submetidas a três níveis de irrigação, combinados a tratamentos com aplicação de extrato de algas, das espécies *Ascophyllum nodosum* e *Lithotamnium calcareum*.

Experimento 2 - Novas plantas dos mesmos cultivares e sob os mesmos tratamentos de algas foram submetidas a um tratamento controle sem NaCl e outro tratamento com aplicações semanais de 30 mM de NaCl até um limite de 360 mM.

O substrato utilizado foi coletado na Fazenda Experimental Lageado, gleba patrulha. Foram coletadas amostras de solos na camada de 0 a 0,20 m e analisadas no Departamento de Produção Vegetal da FCA/UNESP – Setor de Solos e Nutrição Mineral (Tabela 1). Com base na análise do solo, calculou-se a necessidade de calcário dolomítico para elevar a saturação de bases (V) para 70%. Em seguida, o solo permaneceu coberto e úmido por 60 dias para reação de neutralização. Após o período de incubação do solo, realizou-se o transplante em vasos plásticos de 5 L das mudas com 6 pares de folhas produzidas em tubetes das cultivares Obatã e Catuaí 99 provenientes do Viveiro Monte Alegre em Franca-SP.

Tabela 1. Análise de solo Latossolo Vermelho Distrófico, textura média (Led) – série Patrulha (FCA/UNESP), antes da correção e fertilização.

Solo	pH	M.O.	P (resina)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	dm dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%
	4,0	15,0	2,0	56	0,5	1,0	1,0	2,5	58	4,3
	B	Cu	Fe	Mn		Zn				
	0,27	0,80	26,00	(mg/dm ³)		0,80		0,10		

A adubação de formação foi baseada no Boletim 100 do IAC (RAIJ et al., 1997) para a cultura do café, onde o fósforo (superfosfato simples) foi aplicado na faixa de 45 kg/ha (8,0 g/vaso); o nitrogênio na forma de ureia 60 kg/ha (0,48 g/vaso) e potássio na forma de cloreto de potássio 60 kg/ha (0,50 g/vaso). Como fonte de micronutrientes, aplicaram-se fritas na quantidade de 0,50 g/vaso. A curva de retenção de água no solo para os experimentos (Figura 2), foi obtida experimentalmente conforme equação de Van Genuchten (1980).

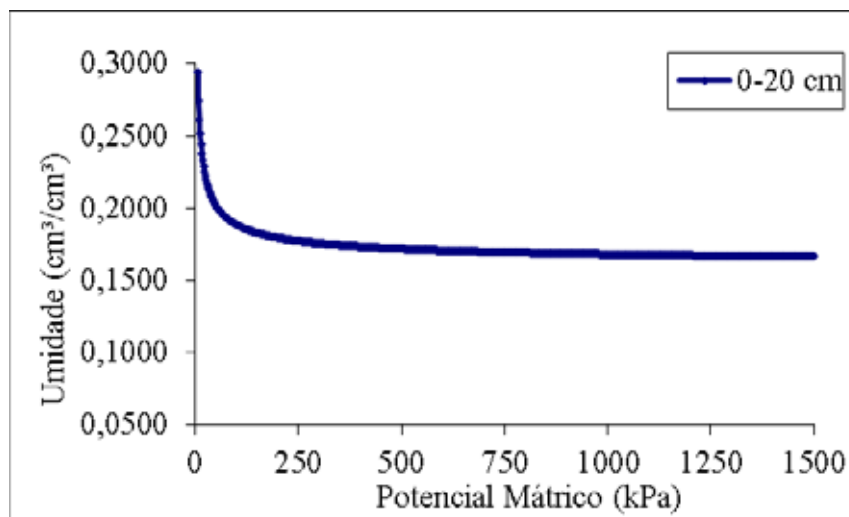


Figura 2. Curva de retenção de água no solo utilizada durante os experimentos.

3.2 Plantio e adubação da cultura

No primeiro experimento (DH) as mudas de cafeeiro foram transplantadas em 02 de novembro de 2012. No segundo experimento (estresse salino) o transplântio foi realizado em 11 de dezembro de 2013. Em ambos os experimentos, os vasos foram irrigados até o ponto de capacidade de campo, para ótimo condicionamento e desenvolvimento inicial das plantas. Aos quinze dias após o transplântio, foi aplicada adubação de cobertura com fertilizantes de liberação gradual (Producote N – 6 g/vaso e Producote – MAP – 6 g/vaso). Nesta etapa foi aplicada também uma pulverização foliar com fungicidas: Mancozeb + Recop (10 g/2L) + Micronutrientes (10 g/2L) em todas as plantas.

Um mês após o transplântio, foram selecionadas as mudas mais uniformes, os vasos foram reorganizados no experimento e se iniciaram as aplicações dos tratamentos com extratos de algas.

3.3.1 Tratamento Alga 1 (A1)

Aplicação de 250 mL da solução a 0,3% do extrato líquido solúvel concentrado da alga *Ascophyllum nodosum* conforme características e composição descritas no **Anexo 1**.

Para o experimento 1 (DH) foram feitas 8 aplicações antes do primeiro ciclo de estresse. Não se aplicou o tratamento durante os três ciclos de estresse e foram feitas 2 aplicações semanais nas mesmas doses durante os intervalos de recondição entre os ciclos de estresse. Assim, no total, foram feitas 12 aplicações semanais a 0,3% (9 mL ou 3 g por vaso) a partir do primeiro mês após transplante exceto nos períodos com tratamentos de DH.

Para o experimento 2 (estresse salino) também foram feitas 8 aplicações antes do primeiro ciclo de estresse, sendo que não se aplicou o tratamento durante o ciclo de estresse salino e foram feitas 4 aplicações semanais nas mesmas doses durante o intervalo de recondição entre os dois ciclos de estresse. Desta forma, também foram feitas 12 aplicações semanais a 0,3% (9 mL ou 3 g por vaso) a partir do primeiro mês após transplante, exceto no período com tratamento de estresse salino. Nas mesmas épocas, também foram aplicados 250 mL de água nas plantas dos tratamentos Controle e Alga 2 (A2). O tratamento A1 foi definido com o objetivo de estudar os efeitos de pré-condicionamento na indução de tolerância através do estímulo com aplicações parceladas semanais de um extrato de alga líquido concentrado e solúvel.

3.3.2 Tratamento Alga 2 (A2)

Para ambos os experimentos foram aplicados 3 g do pó parcialmente solúvel do extrato de *Ascophyllum nodosum* (DNP - descrição no **Anexo 2**) + 6 g de *Lithothamnium calcareum* (descrição no **Anexo 3**) em pó por vaso do referido tratamento em aplicação única coincidindo à mesma época da primeira aplicação do tratamento A1. Neste caso, o objetivo do tratamento A2 foi de avaliar potenciais efeitos sinérgicos da mescla de dois extratos sólidos de alga marinha no condicionamento do solo e sua ação nas plantas, com a possibilidade de desenvolvimento de uma nova formulação com estas matérias primas.

3.4 Condições ambientais de cultivo

Foram coletados os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar com um termo higrômetro digital no período de condução dos experimentos. Com os

dados, calculou-se o déficit de pressão de vapor (DPV) para ambos os experimentos (Figura 3 e 4).

O DPV foi determinado a partir dos valores de temperatura do ar, para produzir a pressão de saturação de vapor d'água no ar, conforme Tetens (1930), relacionando a diferença entre pressão parcial de vapor d'água e pressão de saturação de vapor d'água no ar. No presente estudo o DPV variou entre 2,90 a 5,00 kPa para o experimento 1 no ano de 2013 (Figura 3). Para o experimento 2 o DPV oscilou entre 2,50 a 6,20 kPa em função dos valores de altas temperaturas registradas no ano de 2014 (Figura 4).

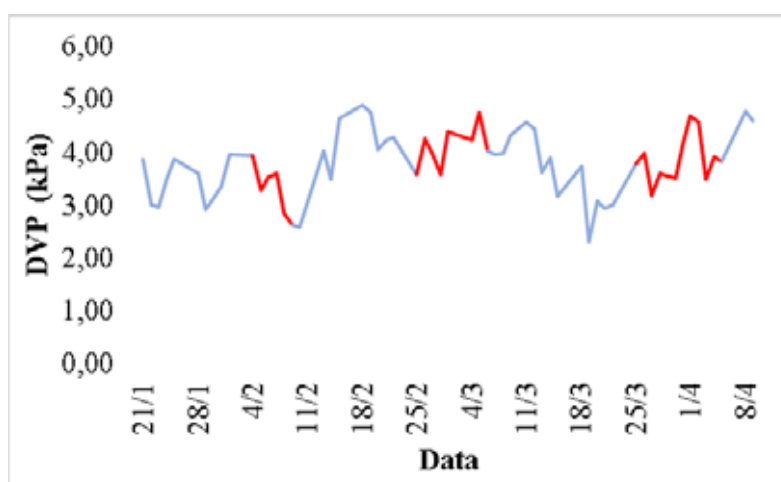


Figura 3. Déficit de pressão de vapor registrado em 2013 para o experimento 1. Segmentos em vermelho indicam os ciclos de DH e em azul os períodos de condicionamento.

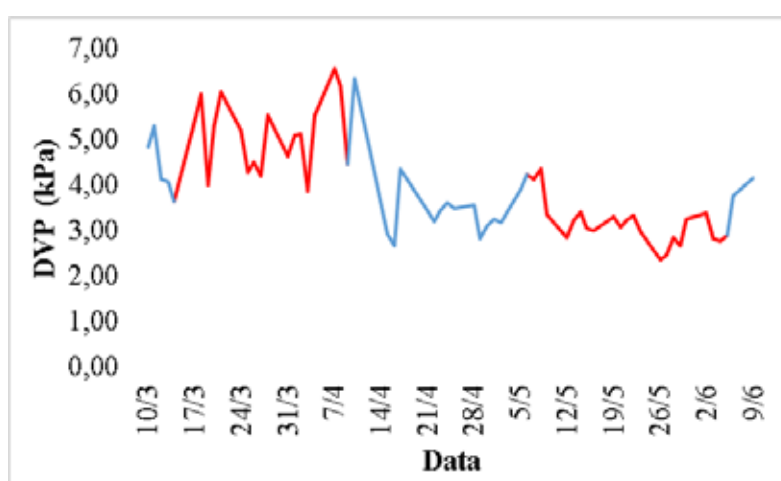


Figura 4. Déficit de pressão de vapor para o experimento 2 conduzido em 2014. Segmentos em vermelho demarcam os ciclos de ES em azul os períodos de condicionamento.

3.5 Delineamento experimental

3.5.1 Experimento 1 – Deficiência Hídrica

O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado conforme croqui (Anexo 4). Tratamentos com três lâminas de irrigação: T1 – 25% da necessidade hídrica da cultura (NHC) - restrição hídrica severa; T2 – 50% da NHC – restrição hídrica moderada e T3 – 100% da NHC – sem restrição hídrica, com dois cultivares de café (V1- Obatã e V2- Catuaí 99), combinado com dois extratos de algas (Alga 1 – Extrato líquido Concentrado de *Ascophyllum nodosum* a 29% e Alga 2- Torta de filtro de *Ascophyllum nodosum* + *Lithothamnium calcareum* em pó micronizado) e três repetições. A irrigação foi realizada conforme cada tratamento e em função da tensão de água do solo.

O experimento foi submetido a três ciclos de DH por 15 dias conforme os três níveis de irrigação definidos pelos tratamentos. Procederam-se avaliações no início, no meio e no fim de cada ciclo de estresse. Entre cada ciclo de estresse as plantas foram submetidas a períodos de condicionamento por 15 dias, com irrigação ao ponto de capacidade de campo (tensões menores que 20kPa) em todos os tratamentos.

3.5.2 Experimento 2 – Estresse Salino

O experimento foi organizado em delineamento inteiramente casualizado, conforme croqui (Anexo 5). No tratamento salino, as plantas foram salinizadas com doses parceladas de NaCl elevando-se a concentração final do sal até 360 mM. As plantas do tratamento controle foram irrigadas normalmente. Foram mantidas as mesmas cultivares e tratamentos com algas utilizados no experimento 1, em três repetições. A irrigação (água deionizada) foi realizada de forma a manter em capacidade de campo (tensões menores que 20kPa) com base na tensão de água do solo. Neste experimento foram aplicados 2 ciclos de estresse salino por 30 dias com condicionamento de 30 dias. Neste período, realizaram-se avaliações no tempo zero, aos 15 e 30 dias do início dos tratamentos.

3.6 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado nos experimentos foi por gotejamento no espaçamento de 0,20 m entre plantas e 0,40 m entre linhas de irrigação. O sistema de irrigação foi constituído por linhas principais em PVC, registros e linhas de derivação com mangueiras de polietileno com diâmetro de 13 mm. Utilizaram-se gotejadores de botão autocompensado com vazão média de 2,0 L h⁻¹ conectado a distribuidores com 4 saídas para um gotejador tipo flecha de 0,5 L h⁻¹ por vaso com pressão de serviço de 10 mca.

3.6.1 Manejo de irrigação no café

A irrigação elevou o teor de água do solo à capacidade de campo no tratamento de 100% da necessidade hídrica da cultura. O manejo das necessidades de irrigação foi realizado com base na tensão de água no solo com o auxílio de 3 tensiômetros por tratamento instalados na profundidade de 0,20 m. Para o cálculo da lâmina de irrigação, utilizou-se o conceito da capacidade de água disponível (CAD), Equação 1. Portanto, durante o experimento a necessidade hídrica da cultura foi determinada com base na tensão de água no solo.

$$CAD = (CC - TAV) \times Z \quad (1)$$

Em que:

CAD - capacidade de água disponível (mm);

CC - teor de água volumétrico na capacidade de campo (cm³ cm⁻³);

TAV - teor de água volumétrico atual (cm³ cm⁻³);

Z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

Realizou-se o teste de uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação pelo método de Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) antes do início dos experimentos. A uniformidade de distribuição foi de 95%, onde foi medida a vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais a uma pressão de serviço de 10 mca. O valor de CUD do sistema foi obtido pela Equação 2.

$$CUD = \frac{\overline{X_{25}}}{\overline{X}} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

CUD - coeficiente de Uniformidade de Distribuição em (%);

$\overline{X_{25}}$ - média dos 25% menores valores de vazão coletados (L h⁻¹);

\overline{X} - vazão média aplicada (L h⁻¹).

A determinação da lâmina de irrigação (mm) foi baseada na Equação 3 e posteriormente estimou-se o tempo (em minutos) de irrigação para cada tratamento conforme a Equação 4.

$$L_a = \frac{CAD}{E_f} \quad (3)$$

Em que:

L_a - lâmina aplicada (mm);

CAD - capacidade de água disponível (mm);

E_f - eficiência de irrigação (0,95).

$$T_i = \left(\frac{L_a \times A}{n \times q} \right) \times 60 \quad (4)$$

Em que:

T_i - tempo de irrigação (minuto);

L_a - lâmina aplicada (mm);

A - área ocupada por planta (0,09 m²);

n - número de emissores por planta (1);

q - vazão do gotejador (2,0 L h⁻¹).

Para o cálculo de lâmina de irrigação foi tomado como valor limite a tensão de 80 kPa e mínima capacidade de campo (CC) de 15 kPa para a profundidade (z) de 200 mm.

3.6.2 Monitoramento da tensão de água no solo

Foi instalado um tensiômetro por vaso em cada sub parcela, totalizando 3 tensiômetros por tratamento a uma profundidade de 0,20 m e uma distância de 0,05 m da planta (Figura 5).



Figura 5. Manejo de água no solo, por tensiometria.

A tensão de água no solo foi monitorada diariamente no período da manhã antes da aplicação das lâminas de irrigação. Os dados de leituras de tensão foram transformados em potencial matricial de água no solo ($-\Psi_m$) para a unidade em kPa. Posteriormente utilizou-se a equação 5 e o software SWRC versão 3.0 (Soil Water Retention Curve) conforme Dourado Neto et al. (1995) e em seguida a Equação 6 descrito por Van Genuchten (1980) para determinar os teores de água para a camada de 0,0 – 0,20 m.

$$\Psi_m = \left(\frac{L_t}{10} \right) - (h \times 0,09807) \quad (5)$$

Em que:

Ψ_m - potencial de água no solo (kPa);

L_t - leitura no vacuômetro (kPa);

h - altura da coluna de água no tensiômetro (cm) equação abaixo.

$$\Theta = \Theta_r \frac{\Theta_s - \Theta_r}{[1 + (|\Psi_m| \times \alpha)^n]^m} \quad (6)$$

Em que:

θ - teor de água atual à base de volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_r - teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s - teor de água de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ψ_m - potencial de água no solo (kPa);

α , m e n - parâmetros empíricos do modelo matemático (cm^{-1}).

3.7 Extração de solução do solo

Exclusivamente para o experimento 2 (salinidade), realizou-se a coleta de solução do solo (extrator com cápsula porosa). Para tanto, aplicou-se vácuo a pressão 70 kPa por meio de uma bomba a vácuo. Foram instalados 04 extratores por tratamento a 0,20 m de profundidade (Figura 6). A aplicação do vácuo nos extratores foi feita uma hora após a irrigação, sendo que a solução foi coletada 12 h após este procedimento, conforme Silva (2002).



Figura 6. Extratores de solução instalados nos vasos.

A solução do solo foi coletada semanalmente, e determinou-se a condutividade elétrica (CE) e o pH. No início e no final dos ciclos de salinidade, as soluções do solo foram analisadas quanto ao teor de nutrientes e concentração de sódio. A CE da solução foi medida com condutivímetro e o pH com um potenciômetro de bancada.

3.8 Parâmetros avaliados

3.8.1 Avaliação nutricional dos tecidos vegetais

No Experimento 1 (DH), ao final de cada período de avaliação, foram coletadas três folhas de três plantas por tratamento. O material foi lavado e seco em estufa de circulação de ar forçado a 60 °C, até massa constante. Em seguida as amostras foram moídas e levadas ao laboratório para análise de macro e micronutrientes (FCA/UNESP). No Experimento 2, realizou-se o mesmo procedimento, porém a análise foi dividida conforme o tecido (folha, caule e raiz), sendo incluída a concentração de sódio.

3.8.2 Área foliar

Para a determinação da área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) foram coletadas todas as folhas de cada planta (no final de cada ciclo), perfazendo um total de 3 repetições por época de amostragem para cada tratamento, que foram mensuradas por um integrador de área foliar (ADC BioScientific Ttd, Herts, England).

3.8.3 Determinação da massa de matéria fresca e seca da parte aérea

Foram coletadas três plantas por tratamento ao final de cada ciclo do experimento para verificar a MMF e MMS da parte aérea das plantas (folhas, caule), em g planta^{-1} . As plantas foram coletadas e em seguida foram separadas as folhas do caule e pesadas para determinação de massa de matéria fresca e posteriormente levadas a estufa de circulação de ar forçado a $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5$ até massa constante, para determinação da massa de matéria seca.

3.8.4 Massa de matéria fresca e seca de raiz

Ao final de cada ciclo, foram coletados os sistemas radiculares das plantas (3) através da separação do solo e das raízes pela utilização de peneiras. Em seguida, o material foi pesado e depois levado a estufa de circulação de ar forçado a 60 °C,

para secagem. Quando o material atingiu massa constante, foi determinada a matéria seca, expressa em g planta⁻¹.

3.8.5 Teor relativo de clorofila (TRC)

Para a análise de TRC, mediu-se quinzenalmente uma folha por planta e 3 plantas por tratamento. As medições de clorofila foram realizadas com um clorofilômetro (CCM-200 plus, Opti-sciences) no período da manhã.

3.8.6 Trocas gasosas

Para os períodos de avaliações (início, meio e fim de cada ciclo - quinzenalmente) foram analisados os parâmetros fisiológicos de trocas gasosas no período da manhã (9 h), utilizando-se medidor portátil de fotossíntese Mod. IRGA LI-COR 6400 (Figura 7). Nessas análises, mediram-se as seguintes variáveis: taxa de assimilação líquida de CO₂, condutância estomática, concentração interna de C, transpiração e eficiência do uso de água. Estas variáveis foram mensuradas em 3 plantas por tratamento durante o período experimental.



Figura 7. Avaliação de trocas gasosas com IRGA no cafeeiro.

3.8.7 Análises bioquímicas

3.8.7.1 Coleta e armazenamento do material vegetal

Para a realização das análises bioquímicas, foram coletadas amostras foliares de três plantas por tratamento. Após a coleta, as folhas foram colocadas em tubos plásticos (*Falcon*) e imediatamente acondicionadas em nitrogênio líquido para congelamento rápido. Em seguida, os tubos foram mantidos em *Freezer* a - 80 °C.

Para o processamento, as folhas foram maceradas em almofariz, na presença de nitrogênio líquido, até a obtenção de um pó fino. Após pesagem, as amostras foram transferidas para os tubos *Falcon* e novamente armazenadas em *Freezer* a - 80 °C.

3.8.7.2 Procedimentos para obtenção do extrato bruto

As amostras foram processadas para obtenção de dois extratos diferentes: o primeiro para a análise do teor do aminoácido L-prolina e o segundo para as análises do teor de proteínas solúveis e atividade enzimática.

Para o extrato utilizado na avaliação do teor de L-prolina, amostras de tecido foliar (500 mg) das plantas de café foram ressuspensas em 10,0 mL de ácido sulfosalicílico (3% em água destilada). Após centrifugação por 10 min a 4.000 x g, o sobrenadante foi coletado e armazenado em freezer a - 80° C.

O extrato para as análises da concentração de proteínas e atividade enzimáticas (SOD e CAT) foi obtido pela ressuspensão do material vegetal (200 mg) em 4,0 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,8 na presença de 300 mg de PVPP (polivinilpolipirrolidona). Após centrifugação por 20 minutos a 5.000 x g, o sobrenadante foi coletado e armazenado em freezer a - 80° C.

3.8.7.3 Determinação do teor de proteína solúvel total

A concentração de proteína solúvel presente nos extratos foi determinada em triplicata, utilizando-se o método descrito por Bradford (1976) com albumina de soro bovino (BSA) como proteína padrão.

3.8.7.4 Determinação do teor de L-prolina

O teor de L-prolina ($\mu\text{g mL}^{-1}$ extrato) foi determinado utilizando-se o método de Bates et al. (1973). Para a realização do teste colorimétrico, pipetaram-se alíquotas de 2 mL do extrato bruto; 2,0 mL de ninhidrina ácida; 2,0 mL de ácido acético glacial. Após aquecimento em banho-maria à aproximadamente 100 °C por 60 minutos resfriaram-se os frascos e efetuou-se leitura a 520 nm. Como referência, utilizou-se curva padrão com (0, 20, 40, 60, 80 e 100 mg) de L-prolina p.a .

3.8.7.5 Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD; EC 1.15.1.1)

A determinação da atividade da SOD considerou a capacidade da enzima em inibir a fotorredução do NBT (Azul de nitrotetrazólio cloreto). A atividade foi determinada pela adição de 30 μL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 μM de NBT, 100 nM de EDTA e 2 μM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8, conforme descrito por (DEL LONGO et al., 1993).

A reação foi iniciada pela iluminação dos tubos, em câmara composta por tubos fluorescentes (15 W), a 25 °C. Após 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz (GIANNOPOLITIS e RIES, 1977). O composto azul formado (formazana) pela fotorredução do NBT foi determinado pelo incremento na absorção, feita por espectrofotometria com leituras a 560 nm. Os tubos considerados “brancos” para a análise receberam os mesmos reagentes, porém foram mantidos cobertos com papel alumínio, portanto, abrigados da luz. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para a inibição de 50% da fotorredução do NBT. Para o cálculo da atividade específica da enzima, considerou-se a percentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína na amostra ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$).

3.8.7.6 Atividade da enzima Catalase (CAT; EC 1.11.1.6)

A atividade da enzima catalase foi determinada por medição em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 240 nm pelo monitoramento da variação da absorção do peróxido de hidrogênio, conforme Peixoto et al. (1999). Para o teste, 100

μL de extrato bruto foram adicionados a 1900 μL de um tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0 suplementado com peróxido de hidrogênio a uma concentração final de 12,5 mM. A variação da absorção (ΔE) foi calculada em um intervalo de 80 s, sendo a atividade da enzima calculada utilizando-se coeficiente de extinção molar $\varepsilon = 39,4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. A atividade específica ($\mu\text{Kat } \mu\text{g Prot}^{-1}$) da catalase levou em consideração a concentração de proteína solúvel no teste.

3.9 Análise estatística

Para os parâmetros de relações hídricas, trocas gasosas, TRC, avaliações bioquímicas e avaliações biométricas considerando as variáveis pré-selecionadas foi realizada a análise de variância de forma independente para cada cultivar, complementada com teste de Tukey, considerando significativo $p \leq 0,05$.

Com o objetivo de compreender as causas de variação e conhecer as variáveis que influenciam em maior relevância as diferenças entre os cultivares, tratamentos de níveis de irrigação, salinidade e tratamentos de extratos de algas, foram feitas análises multivariadas de componentes principais (PCA) com auxílio do pacote estatístico Minilab para ambos os experimentos.

4 RESULTADOS

4.1 Experimento 1 – Deficiência Hídrica

Os resultados deste experimento consideram as avaliações executadas nas épocas iniciais, médias e finais de cada um dos três ciclos de DH. Deste modo os dados das épocas 1, 2 e 3 representam as avaliações do primeiro ciclo (DH1); épocas 4, 5 e 6 do segundo ciclo (DH2) e 7, 8 e 9 do terceiro ciclo (DH3).

4.1.1 Relações hídricas

4.1.1.1 Tensiometria

A variação de tensão de água no solo (TAS) está relacionada com evaporação, armazenamento no solo, transpiração das plantas, absorção de água pelas raízes, crescimento da planta e regime de irrigação. O experimento testou três lâminas de irrigação, sendo D1 – 25% da NHC; D2 – 50% da NHC e D3 – 100% da NHC repetidos em três ciclos quinzenais de restrição hídrica e com intervalos quinzenais de condicionamento. O manejo de irrigação por tensiometria permitiu monitorar a tensão de água no solo (TAS) conforme a variação dos tratamentos de irrigação ao longo destes três ciclos também considerando os efeitos do clima, da dinâmica nas plantas e da armazenagem no solo.

No primeiro ciclo, os valores para o tratamento D1 oscilaram entre 5 a 57,50 kPa (valor médio 31,5 kPa); D2 entre 2 a 44 kPa (valor médio de 23 kPa) e D3 de 1 a 23 kPa (valor médio 12 kPa) dentro da capacidade de campo (Figura 8). No início, a

TAS foi baixa com elevação gradual no decorrer do ciclo para D1 e D2 e baixa elevação em D3, segundo o planejamento do experimento. A frequência de irrigação ocorreu a cada 2 a 3 dias, em torno de 3 vezes por semana.

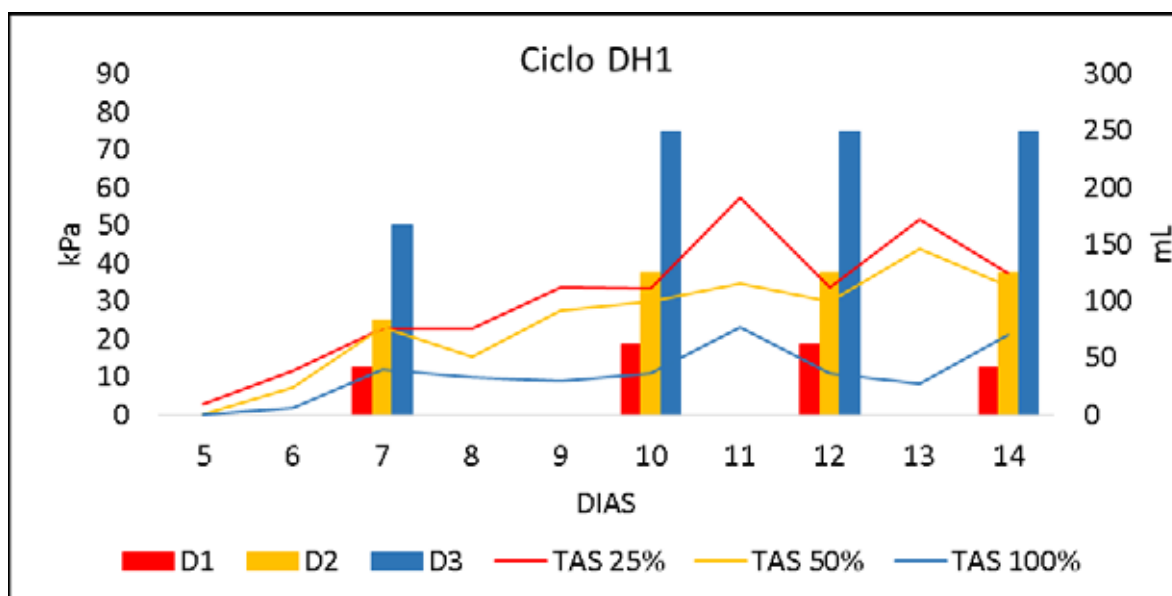


Figura 8. Valores de tensão de água no solo para o ciclo DH1 (kPa), onde os tratamentos D1- 25% da NHC, D2- 50% da NHC e D3- 100% da NHC e TAS (tensão de água no solo), no período de 05 a 14 de Fevereiro 2013 (abcissa). Na ordenada à direita, a escala de volume aplicado em mm.

No segundo ciclo os valores para o tratamento D1 oscilaram entre 10 a 72,7 kPa (valor médio 41,35 kPa); D2 entre 10 a 41,35 kPa (valor médio de 41,35 kPa) e D3 de 1 a 60 kPa (valor médio 30,5 kPa) subindo um pouco acima da capacidade de campo (Figura 9). A frequência de irrigação ocorreu a cada 2 a 3 dias, em torno de 3 vezes por semana. Neste ciclo houve grande elevação no DPV entre os dias 1 a 4 de março (Figura 3), as plantas eram maiores e as lâminas de irrigação planejadas foram insuficientes para garantir a TAS conforme o planejamento no experimento e executado no primeiro ciclo, indicando que plantas no tratamento D3 sofreram alguma restrição hídrica neste período e que valores de TAS ao final do segundo ciclo foram inferiores a valores no meio do ciclo.

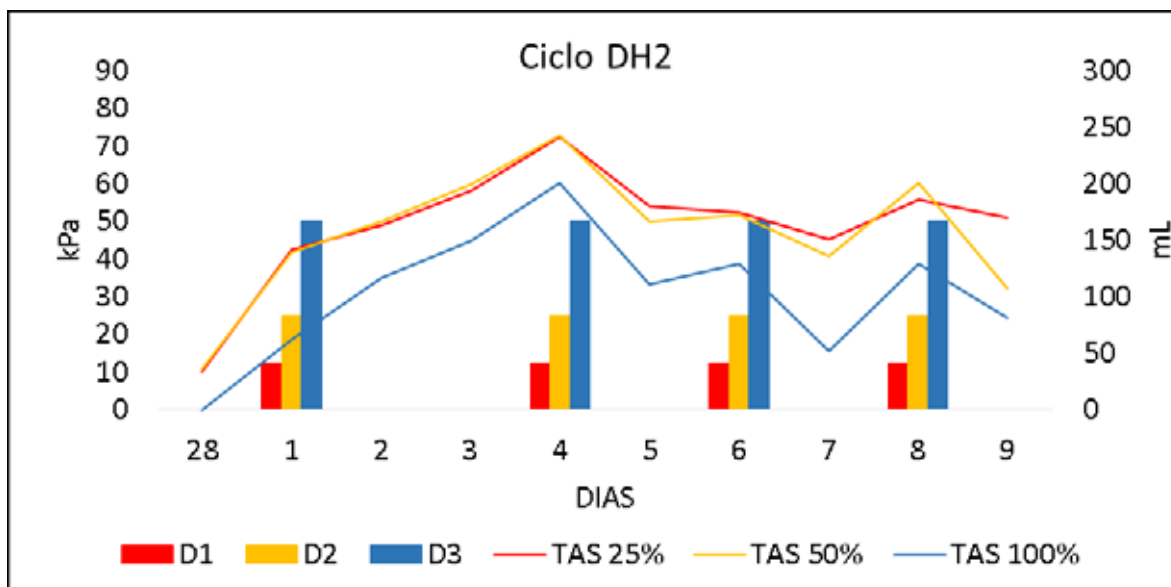


Figura 9. Valores de tensão de água (kPa) no solo (TAS) para o ciclo DH2, onde os tratamentos D1- 25% da NHC, D2- 50% da NHC e D3- 100% da NHC, no período de 28/02 a 09 de Março 2013 (abcissa). Na ordenada à direita, a escala de volume aplicado em mm.

No terceiro ciclo os valores para o tratamento D1 oscilaram entre 11 a 68,3 kPa (valor médio 39,6 kPa); D2 entre 9,9 a 59,7 kPa (valor médio de 34,8 kPa) e D3 de 1 a 31,1 kPa (valor médio 16,1 kPa) dentro da capacidade de campo (Figura 10). A frequência de irrigação ocorreu a cada 2 a 3 dias, em torno de 3 vezes por semana.

No início do terceiro ciclo a TAS foi baixa com elevação gradual no decorrer do ciclo para D1 e D2 e baixa elevação em D3, segundo o planejamento do experimento. Entre os dias 31 de março a 02 de abril houve maiores DPV (Figura 3), de modo que foi definida a elevação nas lâminas aplicadas, evitando desta vez a elevação excessiva de TAS ocorrida durante o ciclo DH2.

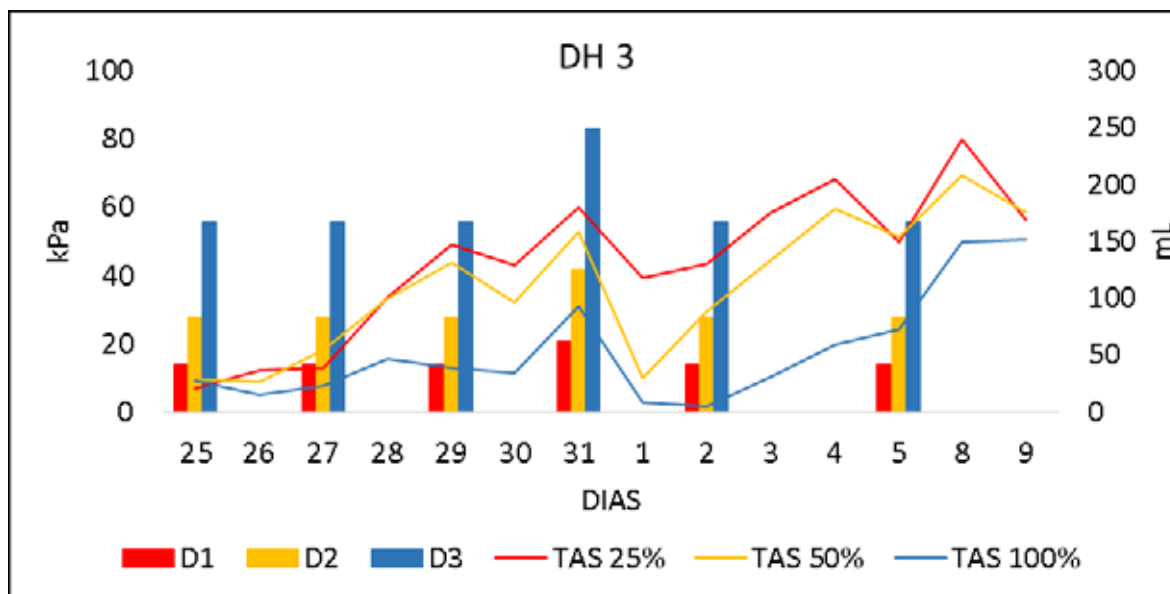


Figura 10. Valores de tensão de água (kPa) no solo (TAS) para o ciclo DH3 , onde os tratamentos D1- 25% da NHC, D2- 50% da NHC e D3- 100% da NHC, no período de 25 de Março a 09 de Abril 2013 (abscissa). Na ordenada à direita, a escala de volume aplicado em mm.

Os gráficos com os resultados de TAS permitiram verificar que durante os três ciclos de restrição hídrica a irrigação foi bem planejada e conduzida. Excetuando-se a elevação de tensão acima de 20kPa ocorrida no segundo ciclo de DH, que impôs uma restrição hídrica maior que a planejada no tratamento D3- 100% naquele período.

4.1.1.2 Potencial hídrico foliar (PHF)

4.1.1.2.1 cv. Obatã

O PHF não apresentou diferença estatística para os tratamentos com Algas para o cv. Obatã. Já para os tratamentos hídricos e a interação (Lâminas de irrigação e Algas) em função da época de avaliação, houve diferença estatística nas épocas 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 (Tabela 2).

Observa-se que o PHF é menor (valores maiores) para o tratamento D1 de 25% da necessidade hídrica da cultura (NHC), com valores atingindo até 28,1 kPa na última época de avaliação. Os valores de PHF para esse tratamento variaram entre 2,5 kPa na primeira avaliação com Alga 1 a 28,1 kPa nas últimas avaliações com Alga 2.

Batista et al. (2010), avaliando o potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao DH, encontraram valor de 8,0 kPa para cv. Obatã a condição de 50% de DH. Castanheira et al. (2012), avaliando o potencial hídrico foliar de cafeeiros sob diferentes regimes hídricos e densidades de plantio, encontraram valores de 2,0 a 16,0 kPa para as condições de 20 e 60 kPa de tensão de água no solo respectivamente, corroborando assim valores similares aos resultados obtidos no presente trabalho.

Tabela 2. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação (NHC: D1- 25%; D2-50%; D3-100%) e aplicação de extratos de algas (A1, A2 e C) em 3 ciclos de avaliação: ciclo 1 (épocas 1, 2 e 3), ciclo 2 (épocas 4, 5 e 6) e ciclo 3 épocas 7, 8 e 9).

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	2,5A	3,5AB	11,9A	3,1AB	19,3AB	15,3AB	1,9A	10,5AB	23,9A
D1 A2	2,8A	3,8AB	14,2A	2,9AB	19,3AB	13,1ABC	1,9A	11,2AB	28,1A
D1 C	2,9A	5,0A	13,5A	3,6A	22,3A	21,3A	2,0A	14,8A	24,6A
D2 A1	2,6A	3,2B	3,6A	2,5B	9,3C	6,6CD	2,0A	7,1AB	19,4A
D2 A2	2,4A	2,9B	3,7A	2,5B	9,4C	7,5BCD	1,8A	6,6AB	17,4AB
D2 C	2,8A	4,1AB	5,2A	2,9AB	11,5BC	8,6BCD	2,0A	11,8AB	18,8A
D3 A1	1,9A	3,0B	2,5A	2,8AB	3,9C	3,2D	1,7A	3,4B	3,0B
D3 A2	2,6A	3,0B	2,1A	2,4B	4,7C	3,2D	1,7A	3,4B	3,1B
D3 C	2,5A	3,6AB	3,0A	3,2AB	4,8C	3,5D	1,7A	3,2B	3,4B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.1.2.2 cv. Catuaí 99

O PHF apresentou diferenças estatísticas para os tratamentos hídricos e para a interação (Lâminas de irrigação e Algas) em função da época de avaliação. Houve diferença estatística a 5% de probabilidade apenas nas épocas 3, 5, 6, 8 e 9 (Tabela 3). Porém não houve diferenças em PHF para os tratamentos de algas.

Ressalva-se que os maiores PHF (valores menores) foram para o tratamento de 100% da NHC, onde os valores variaram de 1,7 a 5,5 kPa em função da época de avaliação. Valores similares aos deste trabalho foram observados por Batista et al. (2010) avaliando o potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao DH. Os autores encontraram valores de 15,5 kPa para o cv. Catuaí 99 em regime hídrico de 50%. Silva et

al. (2010), avaliando o clone de café conilon enxertado, cultivado sob DH constataram que o PHF para uma condição de 30 kPa de tensão de água no solo foi de 5 a 30 kPa.

Tabela 3. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	3,3A	3,3A	14,5A	2,9A	20,6AB	15,2B	2,1A	9,7AB	27,1A
D1 A2	2,2A	2,9A	12,4AB	2,7A	19,8AB	16,2B	2,1A	9,7AB	27,3A
D1 C	3,2A	3,4A	14,9A	3,4A	26,8A	28,1A	2,0A	14,1A	28,2A
D2 A1	2,7A	3,2A	4,3C	2,6A	13,6B	6,7C	1,7A	5,1B	15,9B
D2 A2	3,1A	3,3A	5,1C	2,6A	13,1BC	6,6C	1,9A	5,4B	18,0B
D2 C	2,7A	3,6A	6,8BC	2,8A	14,2B	7,7C	1,9A	7,9AB	16,8B
D3 A1	2,4A	3,0A	2,2C	2,8A	5,4CD	3,5C	1,7A	2,7B	2,7C
D3 A2	2,5A	3,1A	2,3C	2,7A	4,9D	3,3C	2,1A	2,6B	3,2C
D3 C	2,8A	2,9A	2,2C	3,0A	5,4CD	3,6C	1,7A	2,7B	3,1C

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os dois cultivares apresentaram resultados de PHF similares em relação aos níveis de NHC e extratos de algas. A principal diferença notada foi que a cultivar Catuaí 99 submetida a tratamentos com alga apresentou as primeiras reações de tolerância (aumento no PHF) ao fim do primeiro ciclo (época 3) e a cultivar Obatã em meados do primeiro ciclo (época 2). Este resultado confirma os relatos da literatura que o cultivar Catuaí 99 apresenta maior tolerância a DH em relação ao cultivar Obatã.

Nos tratamentos D1 e D2 (DH) percebe-se leve aumento nos valores de PHF dos tratamentos controle (C) em relação aos tratamentos com alga A1 e A2, especialmente nas fases intermediárias dos ciclos de estresse. Esta tendência facultaria relacionar o efeito destes tratamentos de alga a uma redução do PHF em condições de DH moderado corroborando com resultados obtidos por Spann e Little (2011) em experimento conduzido com mudas de laranja.

Também foi possível verificar que maiores intensidades e duração da DH minimizam as diferenças em PHF entre os tratamentos com extratos de alga e controle, permitindo inferir que em condição de estresse severo os extratos de alga tem pouca ou nenhuma ação sob este parâmetro. Notadamente em D3, tratamento com 100%

da necessidade hídrica da cultura, não houve diferença entre o controle e os tratamentos com alga.

4.1.2 Trocas gasosas

4.1.2.1 cv. Obatã

A aplicação das lâminas de irrigação restritas (D1 - 25% da NHC; D2 - 50% da NHC) provocou redução na assimilação líquida de CO₂ (*A*) quando comparados aos tratamentos que receberam a lâmina de água recomendada (D3 - 100% da NHC). Este efeito foi evidenciado nos três ciclos de DH, épocas 2, 3, 5, 6, 8 e 9 com D3 apresentando a variável *A* significativamente maior que aos tratamentos D1 e D2 (Tabela 4). Tal resultado é associado à redução de PHF nesses tratamentos (Tabelas 2 e 3).

Segundo Damatta (2007) em curto prazo os efeitos do déficit hídrico sobre cafeeiro afetam negativamente a variável *A* bem como a condutância estomática (*g_s*). Entretanto, quando o período de déficit persiste por um longo período de tempo outras estratégias são utilizadas para limitar a perda de água como a redução da área foliar. Para Dias et al (2007), a redução de *A* aparece relacionada a *g_s*, entretanto, há variabilidade entre genótipos de cafeeiro quanto a sensibilidade de *g_s* ao déficit hídrico.

A aplicação de extratos de algas apresentou efeito significativo sobre a variável *A* na época 7. O tratamento controle C foi significativamente menor que os tratamentos A1 e A2 (Tabela 4). Tais resultados sugerem que os tratamentos com extratos de alga contribuíram para a elevação da taxa de assimilação de CO₂ das plantas nesta época. Nas demais épocas não foram observadas diferenças.

Tabela 4. Assimilação líquida de CO₂ A (μmol CO₂ m² s⁻¹) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1	7,3 A	6,7 B	1,6 C	7,3 A	0,5 B	0,9 B	11,5 A	3,3 B	1,2 B
D2	8,6 A	7,6 B	5,3 B	7,1 A	1,8 A	1,3 B	9,8 A	5,3 A	1,5 B
D3	9,7 A	10,6 A	8,0 A	7,5 A	2,7 A	2,5 A	9,5 A	5,4 A	3,7 A
A1	8,7 A	8,2 A	5,5 A	7,2 A	2,3 A	1,6 A	11,3 A	5,0 A	2,2 A
A2	8,4 A	8,1 A	4,4 A	7,8 A	1,2 A	1,7 A	10,9 A	4,9 A	2,5 A
C	8,5 A	8,6 A	5,0 A	7,0 A	1,5 A	1,5 A	8,4 B	4,1 A	1,5 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação significativa entre as lâminas de irrigação e a aplicação de extratos de algas nas épocas 2, 3, 5, 7 e 9 (Tabela 5). É possível apontar influência positiva na interação do tratamento D3 com aplicação dos extratos de alga A1 e A2 para A nas época de avaliação 3 e de A1 na época 5 quando comparados aos tratamentos D1, sob irrigação mais restritiva. Em contrapartida, o tratamento A2 apresenta efeito positivo na época 9 para a lâmina D3 em relação aos tratamentos controle em D1 e D2. Tais resultados sugerem que os tratamentos com extratos de alga proporcionaram aumento em A quando comparados ao controle em diferentes épocas de avaliação, especialmente para regimes deficitários de irrigação. Entretanto, não se observa um padrão de resposta definitivo da variável A com relação à interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas, conforme apresentado por Spann e Little (2011).

Tabela 5. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	8,5A	7,9AB	2,2B	7,5A	0,8B	0,8A	12,8A	3,6A	1,7AB
D1 A2	8,5A	7,8AB	1,6B	7,2A	0,4B	1,4A	12,4AB	3,6A	1,1B
D1 C	5,0A	6,0B	0,9B	7,3A	0,3B	0,5A	9,2AB	2,7A	0,7B
D2 A1	7,4A	6,2B	8,8A	6,2A	2,2AB	1,6A	10,2AB	5,5A	1,3B
D2 A2	7,7A	6,6B	5,5AB	8,4A	1,8AB	1,5A	10,7AB	5,5A	1,7AB
D2 C	10,8A	11,6A	4,7AB	6,5A	1,2AB	0,8A	8,4AB	4,8A	1,5B
D3 A1	10,3A	10,1AB	7,7A	7,8A	3,8A	2,3A	11,0AB	5,7A	3,7AB
D3 A2	9,2A	8,3AB	7,6A	7,7A	1,3AB	2,2A	9,8AB	5,7A	4,8A
D3 C	9,7A	10,0AB	5,8AB	7,0A	3,1AB	3,2A	7,6B	5,0A	2,5AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As limitações impostas pelo suprimento deficitário de água nos tratamentos D1 e D2, provocaram redução significativa da condutância estomática (g_s) nas épocas 2, 3, 6, 8 e 9, sendo que estes tratamentos diferiram de D3 que ofereceu a lâmina de irrigação recomendada (Tabela 6).

Segundo Jones (1998), g_s é capaz de regular A e a transpiração (E), e estes, por sua vez, podem contra regular g_s . Em condições de E elevado o suprimento de água nas células-guarda dos estômatos é reduzida promovendo o fechamento estomático reduzindo a transpiração (EAMUS, 1999). Da mesma forma, quando A mantém-se reduzido haverá condição para que a concentração intercelular de CO_2 siga elevada devido ao seu baixo consumo pela fotossíntese, propiciando o fechamento estomático; ao contrário, quando A mantém-se elevado, o consumo de C_i será aumentado. Nestas condições, quando a concentração intercelular de CO_2 for reduzida haverá favorecimento para a abertura dos estômatos (JONES, 1998).

A aplicação de extratos de algas influenciou positivamente a variável g_s na época 7, quando A1 e A2 foram significativamente superiores ao tratamento controle. Para as demais épocas não se verificam efeitos significativos entre os tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Condutância estomática g_s (mol H₂O m⁻² s⁻¹) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1	0,06	0,089B	0,015 B	0,076	0,017	0,099 A	0,318 A	0,082 B	0,033 C
D2	0,089	0,105B	0,042 B	0,085	0,012	0,085 B	0,254 A	0,109 B	0,068 B
D3	0,073	0,176A	0,102 A	0,086	0,018	0,086 AB	0,253 A	0,183 A	0,096 A
A1	0,073	0,121 A	0,065 A	0,081	0,025	0,091 A	0,301 A	0,125 A	0,065 A
A2	0,065	0,118 A	0,041 A	0,095	0,013	0,089 A	0,325 A	0,135 A	0,071 A
C	0,084	0,130 A	0,053 A	0,07	0,009	0,09 A	0,199 B	0,115 A	0,062 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quando analisada a interação entre as lâminas de irrigação e a aplicação de extratos de algas para g_s , os resultados obtidos não apresentam um padrão claro de resposta à aplicação de extratos de algas. Nas épocas 3, 8 e 9 foi verificado aumento de g_s relacionado às maiores lâminas de irrigação (Tabela 7).

Tabela 7. Condutância estomática g_s (mol H₂O m⁻² s⁻¹) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	0,077A	0,077A	0,020AB	0,076A	0,017A	0,096A	0,362A	0,087CD	0,035C
D1 A2	0,074A	0,077AB	0,011B	0,089A	0,021A	0,105A	0,360A	0,090CD	0,036C
D1 C	0,028A	0,111B	0,015B	0,062A	0,012A	0,097A	0,231AB	0,070D	0,030C
D2 A1	0,069A	0,114AB	0,042B	0,075A	0,020A	0,091A	0,239AB	0,107ABCD	0,065BC
D2 A2	0,063A	0,088B	0,029B	0,107A	0,009A	0,086A	0,311AB	0,123ABCD	0,069ABC
D2 C	0,136A	0,112A	0,056B	0,073A	0,008A	0,079A	0,214AB	0,098BCD	0,068ABC
D3 A1	0,074A	0,173AB	0,132AB	0,094A	0,038A	0,085A	0,302AB	0,181AB	0,095AB
D3 A2	0,058A	0,188B	0,084A	0,089A	0,009A	0,077A	0,304AB	0,193A	0,107A
D3 C	0,087A	0,167A	0,088AB	0,075A	0,006A	0,095A	0,152B	0,176ABC	0,088AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A avaliação da variável transpiração E demonstra íntima dependência dos resultados observados para condutância estomática. Houve redução significativa em E nos tratamentos com restrição da irrigação D1 e D2 nas épocas 2 e 8,

quando estes resultados são comparados a D3. Nas épocas 3, 6, e 9 apenas D1 apresentou redução significativa para E em comparação aos tratamentos D2 e D3 (Tabela 8). Estes resultados associados aos valores de g_s (Tabela 5) demonstram uma tentativa das plantas em reduzir o consumo de água pela transpiração quando a irrigação é reduzida. Esta redução é uma medida com gasto elevado, pois, a transpiração tem como principal papel a manutenção da temperatura foliar ideal.

Pode-se inferir também, que logo após a redução no regime hídrico observa-se a queda na transpiração (épocas 2 e 8) e que as plantas reagem como forma de adaptação tendo sua transpiração reduzida com o avanço na duração da restrição hídrica (épocas 3, 6 e 9) em relação ao tratamento D1 com restrição hídrica mais intensa.

Quando analisada a aplicação de extratos de algas sobre a variável E , pode-se notar o efeito significativo de A1 nas épocas 5 e 7 e para A2 na época 7 quando estes tratamentos apresentaram E significativamente superior ao C. Tais resultados sugerem que a aplicação de extratos de algas auxiliou na manutenção de g_s nas plantas. Notadamente na época 7 a assimilação líquida de CO_2 também se manteve acima do controle nos tratamentos A1 e A2 (Tabela 3), bem como a condutância estomática nas épocas 5 e 7 (Tabela 6), sugerindo que as plantas sob os tratamentos A1 e A2 receberam estímulo ao crescimento nestas épocas.

Tabela 8. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2				Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6		7	8	9
D1	1,1 A	1,9 B	0,3 C	1,5 A	0,6 A	2,7 B		3,7 A	1,5 B	0,7 B
D2	1,4 A	2,4 B	1,1 B	1,8 A	0,5 A	2,9 AB		3,7 A	2,2 B	1,8 A
D3	1,2 A	3,7 A	2,8 A	1,8 A	0,8 A	3,4 A		3,4 A	4,0 A	2,1 A
A1	1,2 A	2,7 A	1,7 A	1,7 A	1,1 A	3,0 A		3,9 A	2,6 A	1,5 A
A2	1,1 A	2,6 A	1,2 A	1,9 A	0,5 B	3,0 A		4,1 A	2,8 A	1,7 A
C	1,4 A	2,8 A	1,4 A	1,5 A	0,3 B	3,0 A		2,9 B	2,4 A	1,4 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Com relação à interação entre as lâminas de irrigação e a aplicação dos extratos de algas para a transpiração, é possível observar que os tratamentos D1 e D2

de menores lâminas apresentaram maiores E independentemente dos tratamentos com extratos de algas (Tabela 9).

Tabela 9. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	1,2A	1,7C	0,4D	1,4A	0,6B	2,7A	4,1AB	1,6D	0,7B
D1 A2	1,2A	1,7C	0,3D	1,6A	0,8B	2,9A	4,1AB	1,6D	0,7B
D1 C	0,8A	2,3BC	0,3D	1,3A	0,5B	2,7A	3,0AB	1,3D	0,6B
D2 A1	1,1A	2,6ABC	1,2BCD	1,7A	0,8B	3,1A	3,5AB	2,2CD	1,8A
D2 A2	1,1A	2,0BC	0,8CD	2,2A	0,4B	3,0A	4,2A	2,5BCD	1,9A
D2 C	2,0A	2,6ABC	1,4BCD	1,6A	0,3B	2,8A	3,2AB	2,0D	1,8A
D3 A1	1,2A	3,6AB	3,4A	1,9A	1,8A	3,3A	4,0AB	4,0AB	2,1A
D3 A2	1,0A	4,0A	2,5ABC	1,9A	0,5B	3,2A	3,9AB	4,2A	2,3A
D3 C	1,5A	3,5AB	2,6AB	1,6A	0,3B	3,7A	2,4B	3,8ABC	1,9A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A variável C_i indica a concentração intercelular de CO_2 e reflete a quantidade deste gás que está disponível para a fotossíntese. Esta variável assim com a transpiração é intimamente afetada por g_s e da mesma forma pode ser afetada por A . Foi observada diferença significativa para C_i nas épocas 2, 3, 6 e 8 (Tabela 10). Nas épocas 2, 3 e 8 a lâmina de irrigação D3 resultou valores superiores de C_i . Porém, na época 6 o valor de C_i foi diminuindo conforme aumentada a lâmina de irrigação. A aplicação de extratos de algas não produziu efeito significativo sobre a variável C_i .

Tabela 10. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1	151	251,9AB	213,2AB	183,6	291,5	360,2 A	321	314,7 A	340,4
D2	159,4	248,1B	125,9B	207,7	----	341 B	320	296,2 B	331
D3	136,6	272,6A	223,1A	209,6	185,8	310,1 C	323	325,2 A	312
A1	114,1	255,9A	196,5A	197,7	209,5	337,6 A	321	307,7 A	320,4
A2	142,8	254,7A	168,4A	212,1	----	332,8 A	327	313,6 A	321,5
C	190,1	261,9A	197,4A	191	73,1	340,9 A	315,2	314,9 A	341,5

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Foi encontrada interação significativa entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas na época 8 para a variável C_i . Conforme discutido anteriormente C_i é uma variável intimamente dependente de g_s e de A . Os resultados obtidos para esta variável demonstram claramente esta dependência. Nas lâminas D1 e D2 a redução em g_s (Tabela 7) resulta em queda em C_i , com manutenção ou queda de A (Tabela 4). Da mesma forma a manutenção de C_i elevada nos tratamentos onde não houve restrições na irrigação D3 (Tabela 11) corresponde a elevados valores de g_s (Tabela 7).

Tabela 11. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	152,3A	244,4A	200,4A	182,7A	239,5A	361,4A	323,1A	309,8ABC	317,7A
D1 A2	160,7A	252,0A	225,5A	206,4A	328,0A	352,3AB	322,7A	314,5ABC	338,6A
D1 C	139,8A	259,3A	213,8A	161,6A	322,1A	357,0AB	317,3A	319,9ABC	364,9A
D2 A1	56,9A	247,4A	146,5A	198,3A	194,2A	337,1ABC	313,7A	291,9C	335,2A
D2 A2	180,0A	242,7A	69,9A	218,5A	----	336,1ABC	324,6A	299,9ABC	325,3A
D2 C	241,3A	254,3A	161,3A	206,2A	----	349,8AB	320,4A	296,9BC	332,5A
D3 A1	133,0A	275,9A	242,6A	212,2A	194,8A	314,4BC	325,2A	321,3ABC	308,4A
D3 A2	87,6A	269,5A	209,7A	211,5A	99,0A	310,0BC	335,1A	326,4AB	300,6A
D3 C	189,2A	272,3A	217,0A	205,3A	263,5A	306,0BC	307,9A	327,9A	327,1A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As restrições hídricas impostas pelas lâminas de irrigação apresentaram efeito direto sobre o potencial hídrico das plantas (Tabela 2). A partir da queda do potencial hídrico, uma cascata de eventos ocorre na tentativa de melhorar o aproveitamento da água disponível. O controle foliar da transpiração através do movimento estomático é um processo que sofre grande influência do potencial hídrico. Eamus (1999) aponta que o déficit hídrico reduz o suprimento de água para as células-guarda dos estômatos promovendo a redução do poro estomático. A redução do poro estomático tem consequência direta sobre as variáveis aqui estudadas como g_s , A , E e C_i . Desta forma, os efeitos da aplicação de extratos de algas sobre a manutenção do potencial hídrico das

plantas são o ponto chave para o entendimento dos efeitos significativos, obtidos nestes parâmetros de trocas gasosas.

4.1.2.2 CV. Catuaí 99

O fornecimento de diferentes regimes de irrigação provocou alterações significativas na assimilação líquida de CO₂ (A). De modo geral, e conforme o esperado, o tratamento D1 provocou redução significativa para este parâmetro em todas as épocas de avaliação com exceção nas épocas 4 e 7, quando comparado à aplicação da lâmina completa D3. O tratamento D2 diferiu de D3 apenas nas épocas 3, 6 e 9 (avaliações ao final de cada um dos três ciclos de DH). Nestas épocas foi possível observar severa redução do potencial hídrico nos tratamentos D1 e D2 (Tabela 2), sendo que provavelmente a redução na assimilação de CO₂ em D1 e D2 esteja associada à redução do potencial hídrico nestes tratamentos (Tabela 12).

Quando comparados isoladamente, os tratamentos que receberam a aplicação de algas e as plantas controle observa-se ausência de diferenças significativas até a quinta época de avaliação. Na sexta época o tratamento controle apresenta-se significativamente menor que o tratamento que recebeu a aplicação de A2. Esta resposta não é observada na sétima e oitava época, provavelmente sublimado pelo efeito do condicionamento das plantas entre o fim do segundo ciclo (época 6) de DH e o início do terceiro ciclo de estresse (época 7). Ao final do experimento na nona avaliação as plantas que receberam a aplicação de A1 apresentam assimilação líquida de CO₂ significativamente superior ao controle e similar ao tratamento com A2.

Tabela 12. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicações de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1	6,5 B	5,3 B	2,1 C	7,9 A	0,3 B	1,5 B	9,2 A	3,2 B	1,1 B
D2	9,9 A	8,5 A	4,5 B	8,6 A	2,4 A	1,5 B	10,2 A	6,5 A	1,8 B
D3	9,6 A	9,7 A	8,4 A	7,7 A	2,0 A	2,5 A	10,2 A	5,6 A	4,3 A
A1	8,5 A	8,0 A	5,4 A	8,0 A	2,1 A	2,0 AB	10,2 A	6,2 A	2,8 A
A2	9,1 A	8,1 A	5,2 A	7,9 A	1,8 A	2,4 A	10,2 A	5,0 A	2,6 AB
C	8,4 A	7,5 A	4,4 A	8,2 A	0,9 A	1,2 B	9,3 A	4,1 A	1,7 B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação significativa entre as lâminas de irrigação e a aplicação de extratos de algas (Tabela 13). De forma geral, a maior variação nas médias obtidas ocorreu em função das lâminas de irrigação sendo que os menores valores foram obtidos na menor lâmina de irrigação D1. Entretanto, em D1 os tratamentos que receberam extratos de algas A1 e A2 nas épocas 5 e 8 não diferiram estatisticamente dos tratamentos D2 e D3, indicando que as plantas sob tratamentos com extratos de alga, sob regime de DH ainda mantiveram a capacidade fotossintética superior ao controle e similar a plantas que receberam maior volume de irrigação. O tratamento C na lâmina D1 que não recebeu extrato de algas apresentou a menor A. Nas demais épocas não é possível observar um padrão de respostas para a aplicação de extratos de algas.

Tabela 13. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	6,0A	4,9C	1,7D	8,0A	0,8AB	1,5A	8,6A	4,7AB	1,2C
D1 A2	8,2A	5,8BC	1,8D	7,3A	0,6AB	2,2A	9,9A	3,1AB	1,5C
D1 C	5,4A	5,4C	2,8CD	8,3A	0,4B	0,9A	9,0A	1,6B	0,6C
D2 A1	10,7A	9,0AB	5,4BC	9,4A	2,6A	1,8A	11,0A	7,8A	2,1BC
D2 A2	9,3A	8,3ABC	4,2BCD	7,3A	2,6A	2,0A	9,9A	6,2AB	1,9BC
D2 C	9,7A	8,3ABC	3,9BCD	9,1A	2,0AB	0,9A	9,7A	5,4AB	1,2C
D3 A1	8,8A	10,0A	9,1A	6,8A	2,9A	2,6A	11,0A	5,9AB	5,3A
D3 A2	9,7A	10,3A	9,7A	9,2A	2,1AB	3,0A	10,4A	5,6AB	4,3AB
D3 C	10,1A	8,9AB	6,4AB	7,2A	1,1AB	1,9A	9,3A	5,2AB	3,2ABC

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A assimilação de carbono pode ser limitada por diversos fatores, que vão desde limitações da captação de CO₂ até limitações bioquímicas ou estruturais do aparato fotossintético. Em condições ambientais normais, as plantas precisam constantemente regular a absorção e perda de recursos. Quando tais recursos são escassos, esta regulação torna-se limitante. Sob déficit hídrico, para evitar a perda excessiva de água e a desidratação, as plantas precisam utilizar diversos mecanismos de adaptação para regular o seu status hídrico, entre eles está o controle da abertura e fechamento dos estômatos (SÁNCHEZ-ROMERA et al, 2014). Segundo Eamus (1999) o déficit hídrico reduz o suprimento de água para as células guarda dos estômatos promovendo a redução do poro estomático. Entretanto, o fechamento dos estômatos além de impedir a perda excessiva de água impede a entrada de CO₂ para o mesófilo foliar. Nestes casos, embora não ocorram necessariamente limitações bioquímicas ou estruturais do aparato fotossintético, a assimilação líquida de CO₂ é dificultada por sua baixa disponibilidade no mesófilo foliar.

Os resultados encontrados para condutância estomática demonstram uma reação significativa das plantas à perda de água induzida pelos tratamentos D1 e D2, sendo que a condutância estomática é significativamente menor em D3 nas épocas 2, 3, 8 e 9 (Tabela 14). O fechamento estomático nestes tratamentos deve-se provavelmente à queda no potencial hídrico nas plantas sob DH. A consequência do baixo potencial hídrico e fechamento estomático podem ser evidenciados na queda da assimilação líquida de CO₂ nos mesmos tratamentos e épocas. A aplicação de extratos de algas não trouxe contribuições significativas para a manutenção da condutância estomática.

Tabela 14. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1	0,063	0,081 C	0,021 B	0,109	0,017 A	0,122 A	0,273	0,091 C	0,035 C
D2	0,09	0,112 B	0,034 B	0,105	0,003 B	0,087 B	0,242	0,126 B	0,067 B
D3	0,083	0,167 A	0,118 A	0,09	0,011 AB	0,081 B	0,271	0,176 A	0,1 A
A1	0,088	0,117 A	0,067 A	0,104	0,01 A	0,097 A	0,272	0,139 A	0,07 A
A2	0,071	0,129 A	0,06 A	0,098	0,014 A	0,102 A	0,276	0,129 A	0,069 A
C	0,076	0,114 A	0,046 A	0,102	0,008 A	0,091 A	0,238	0,125 A	0,063 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quando consideradas as interações entre lâminas de irrigação e aplicação dos extratos de algas os resultados obtidos estão mais associados a lâminas de irrigação do que a aplicação de extratos de algas, sendo que os maiores valores de condutância são encontrados nas épocas 2, 3, 8 e 9 em D3, com a exceção observada na época 6 quando a lâmina D1 apresentou os maiores valores de condutância estomática. Quando analisada a aplicação de extratos de algas nas lâminas, de forma geral os tratamentos A1 e A2 não diferiram de C. Uma exceção pode ser observada na terceira época quando com aplicação de D3, A1 foi significativamente superior a C, entretanto quando as lâminas são reduzidas em D1 e D2 tal efeito não é observado (Tabela 15).

Tabela 15. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	0,068A	0,065D	0,019D	0,125A	0,020A	0,119AB	0,243A	0,107B	0,033D
D1 A2	0,080A	0,093CD	0,017D	0,099A	0,018A	0,130A	0,304A	0,090B	0,039D
D1 C	0,042A	0,085CD	0,027D	0,102A	0,014A	0,116AB	0,271A	0,075B	0,032D
D2 A1	0,107A	0,112ABCD	0,042CD	0,119A	0,004A	0,090C	0,256A	0,137AB	0,068BC
D2 A2	0,052A	0,111BCD	0,032D	0,079A	0,006A	0,090BC	0,236A	0,115AB	0,066BC
D2 C	0,110A	0,113ABCD	0,027D	0,118A	0,001A	0,080C	0,233A	0,125B	0,066BC
D3 A1	0,090A	0,173AB	0,138A	0,068A	0,006A	0,082C	0,315A	0,174A	0,110A
D3 A2	0,083A	0,183A	0,131AB	0,117A	0,018A	0,084C	0,289A	0,182A	0,100A
D3 C	0,076A	0,145ABC	0,085BC	0,084A	0,008A	0,078C	0,209A	0,173A	0,091AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As mudanças em g_s podem ocorrer diariamente em função da variação de fatores como luminosidade e temperatura foliar, déficit de pressão de vapor, etc. A transpiração (E), por sua vez, tem como papel fundamental a refrigeração das folhas, além de gerar a força necessária para a manutenção do fluxo de massa através da planta. A E pode tanto atuar regulando como ser regulada pela abertura e fechamento dos estômatos alterando a g_s dos mesmos. Em condições de E elevada, o suprimento de água nas células guarda dos estômatos é restrito promovendo o fechamento estomático que reduz a transpiração (EAMUS, 1999). Este efeito é agravado quando a disponibilidade hídrica no solo, bem como a capacidade das raízes em suprir a demanda hídrica gerada pela transpiração é limitada por estímulo na produção de ácido abscísico, composto hormonal envolvido no mecanismo de fechamento estomático.

Neste estudo, a transpiração foi reduzida significativamente nas plantas onde foram aplicadas restrições na lâmina de irrigação em comparação às plantas que receberam lâmina completa, com redução significativa de E (Tabela 16).

O resultado observado para E é correspondente a redução observada em g_s . Na sexta época de avaliação foi identificado efeito significativo da aplicação de extratos de algas sobre E , para A2 significativamente superior o controle, não diferindo de A1. Este efeito não foi observado nas demais épocas de avaliação.

Tabela 16. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1	1,0 A	1,7 C	0,4 B	2,0 A	0,7 A	2,9 B	3,2 B	1,6 C	0,6 C
D2	1,4 A	2,6 B	0,9 B	2,2 A	0,2 B	3,0 AB	3,7 AB	2,6 B	2,0 B
D3	1,4 A	3,6 A	3,3 A	1,8 A	0,5 A	3,3 A	3,7 A	3,9 A	2,3 A
A1	1,4 A	2,6 A	1,8 A	2,0 A	0,4 A	3,1 AB	3,6 A	2,9 A	1,7 A
A2	1,2 A	2,8 A	1,6 A	1,9 A	0,6 A	3,2 A	3,7 A	2,7 A	1,7 A
C	1,1 A	2,5 A	1,3 A	2,0 A	0,3 A	2,9 B	3,3 A	2,6 A	1,5 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Foi identificada interação significativa entre as lâminas de irrigação e a aplicação de extratos de algas (Tabela 17). A aplicação de A1 pode haver atuado de forma a manter elevada a transpiração das plantas de cafeeiro submetidas à lâmina de

irrigação D2 na época 8, sendo que este tratamento não diferiu dos tratamentos onde houve a aplicação da lâmina completa de irrigação D3. Nas demais interações, os resultados parecem ser mais influenciados pelas restrições hídricas impostas pelos tratamentos D1 e D2 do que pela aplicação de extratos de algas.

Tabela 17. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	1,1A	1,4C	0,4B	2,2A	0,8AB	3,0A	2,8B	1,8BC	0,6B
D1 A2	1,3A	2,0BC	0,4B	1,9A	0,7AB	3,1A	3,6AB	1,6BC	0,7B
D1 C	0,5A	1,8C	0,5B	1,9A	0,6AB	2,7A	3,2AB	1,3C	0,6B
D2 A1	1,7A	2,6ABC	1,1B	2,5A	0,2AB	3,0A	3,8AB	2,8AB	2,0A
D2 A2	0,9A	2,6ABC	0,9B	1,7A	0,3AB	3,1A	3,6AB	2,5BC	2,0A
D2 C	1,6A	2,6ABC	0,8B	2,5A	0,1B	2,8A	3,6AB	2,6BC	1,9A
D3 A1	1,4A	3,7A	3,8A	1,4A	0,3AB	3,3A	4,1A	3,9A	2,5A
D3 A2	1,5A	3,8A	3,6A	2,2A	0,9A	3,5A	3,9AB	4,0A	2,3A
D3 C	1,3A	3,2AB	2,5A	1,8A	0,4AB	3,2A	3,0AB	3,9A	2,1A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As variações em g_s também produzem efeitos sobre os níveis intercelulares de CO_2 (C_i). Valores reduzidos de g_s podem levar ao não suprimento do CO_2 demandado pela fotossíntese. Desta forma C_i é uma variável que reflete a quantidade de CO_2 disponível para a atividade fotossintética.

Segundo Bodribo (1996), a restrição hídrica pode levar à queda de g_s , A , e C_i . Nos resultados obtidos neste estudo, no entanto, a variável C_i manteve-se, no tratamento D1, igual ou superior as demais lâminas de irrigação em todas as épocas de avaliação (Tabela 18). Este fato pode ser justificado pela menor taxa fotossintética observada neste tratamento. Desta forma a variável C_i manteve-se elevada devido ao baixo consumo de CO_2 pela fotossíntese, indicando uma provável restrição de caráter bioquímico na fotossíntese, apesar de que não pode ser comprovada apenas com os resultados obtidos.

Na sexta e oitava épocas de avaliação foram observados efeitos significativos da aplicação de extratos de algas sobre a variável C_i . Na sexta época de avaliação A2 apresentou-se significativamente menor que C, enquanto na oitava época A1

foi significativamente menor que C (Tabela 18). Estes resultados estão coerentes com os observados para A onde A2 é significativamente superior a C na sexta época, e A1, embora sem diferença estatística, é numericamente superior a C na oitava época (Tabela 12). Os resultados observados para C_i , portanto, podem ser justificados pela maior demanda fotossintética por CO_2 nos tratamentos onde esta variável foi reduzida.

Tabela 18. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1	213 A	257 208,4 A		228,9	327,4	362 A	327,4 A	326,7 A	331,3 A
D2	131 B	247 141,2 B		218	----	332,6 B	313,8 B	291,1 B	322,5 AB
D3	167 AB	275 236,9 A		209,6	2267,3	327 C	323,6 AB	320,4 A	303,1 B
A1	207 A	254 2,07,6 A		218,1	512,7	332,6 AB	322,1 A	302,2 B	310,9 A
A2	142 A	262 190,9 A		213	761,3	327 B	323,1 A	311,5 AB	313,4 A
C	162 A	262 188,1 A		225,4	----	344,8 A	319,7 A	324,6 A	332,6 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para a interação entre as lâminas de irrigação e a aplicação de extratos de algas não foi possível encontrar um padrão de respostas relacionadas à concentração intercelular de CO_2 (Tabela 19).

Tabela 19. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1 A1	238,6A	245,0A	226,4AB	237,0A	292,8A	360,9AB	326,0A	310,3AB	325,0A
D1 A2	234,8A	259,3A	196,2AB	233,2A	296,3A	355,3ABC	327,7A	324,8AB	321,4A
D1 C	165,7AB	265,6A	202,9AB	216,4A	393,2A	369,7A	328,5A	345,1A	347,3A
D2 A1	197,2AB	240,6A	148,2AB	224,9A	575,9A	332,9BCDE	311,2A	281,0B	315,2A
D2 A2	33,7B	248,6A	144,0AB	194,6A	182,0A	328,0CDE	315,8A	287,0B	318,3A
D2 C	162,1AB	250,3A	131,3B	234,4A	343,5A	346,1ABCD	314,4A	305,3AB	334,1A
D3 A1	186,1AB	277,4A	248,1A	192,3A	699,2A	304,1EF	329,0A	315,2AB	292,5A
D3 A2	156,9AB	277,9A	232,4AB	211,1A	163,6A	297,6F	325,8A	322,5AB	300,5A
D3 C	157,8AB	271,0A	230,1AB	225,4A	361,0A	318,6DEF	316,1A	323,4AB	316,3A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.3 Análises de tecido vegetal

Os resultados obtidos nas análises foliares anteriores aos tratamentos com diferentes regimes hídricos (Tabela 20) indicam teores nutricionais equilibrados sem relevantes diferenças nutricionais entre as duas cultivares e/ou tratamentos com algas. Estes resultados permitem inferir que a correção do solo e a fertilização adotada foram adequadas.

Tabela 20. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, anteriores aos diferentes regimes hídricos.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Obatã C	35	1,7	10	13	5,0	2,1	40	165	125	250	51
Obatã A1	38	1,6	11	10	3,7	2,3	46	158	144	168	65
Obatã A2	38	1,7	9	11	5,1	2,1	39	159	129	149	53
Catuaí C	39	1,3	7	13	6,1	2,2	42	110	110	137	45
Catuaí A1	31	1,5	13	16	5,0	2,2	59	155	186	348	52
Catuaí A2	32	1,5	9	14	5,3	2,4	55	79	130	224	52

A comparação dos resultados obtidos nas análises foliares posteriores aos tratamentos com diferentes regimes hídricos (Tabelas 21, 22 e 23) aos das análises anteriores (Tabela 20) possibilita verificar que não são percebidas diferenças relevantes na composição nutricional para as duas cultivares. Os níveis de N, Ca, Mg e B foram similares entre o início e o fim dos tratamentos com regime hídrico. Houve redução nos níveis de P, S, Cu, Fe, Mn e Zn para os tratamentos em geral o que pode estar associado ao efeito de diluição e também ao fato de que as aplicações de micronutrientes via foliar ocorridas cerca de 30 dias antes das primeiras análises implicaram em maiores teores nestas que nas últimas análises que ocorreram a mais de 120 dias após as aplicações.

É importante destacar que os tratamentos com algas proporcionaram maiores teores foliares de K. Estes teores foram crescentes e claramente maiores nos tratamentos A1, menores e crescentes em A2 e decrescentes em C para todas as cultivares e para os diferentes regimes hídricos quando se compara as análises no início e no fim dos tratamentos hídricos. Estes resultados seguem conforme esperados já que os extratos de *Ascophyllum nodosum* apresentam K em sua composição. Por outro lado, não

se verificou incremento Ca nos teores foliares dos tratamentos A2 apesar da presença de Ca na composição do *Lithothamnium calcareum*.

Apesar de não dispormos dos valores de Na na primeira análise, nas últimas houve detecção de teores superiores de Na em A1 e A2 frente a C, independentemente de cultivar ou regime hídrico, provavelmente oriundo dos extratos das algas (conforme Anexos 1, 2 e 3).

Comparando-se as diferenças entre regimes hídricos, percebe-se leve incremento e maiores teores de Mg no tratamento D3-100% da NHC, que pode ser explicado por maior absorção e mobilidade de Mg em plantas sem problemas em bom estado de hidratação frente a plantas sob restrição hídrica.

Tabela 21. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, posteriores aos 3 ciclos do tratamento D1 – 25% NHC.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
Obatã C	34	1,1	7	10	5,9	1,7	54	5	77	53	27	270
Obatã A1	31	1,4	16	11	4,5	1,6	56	7	100	78	47	460
Obatã A2	28	1,1	11	12	5,2	1,5	51	7	95	37	35	520
Catuaí C	33	1,8	8	10	5,7	1,6	46	5	99	46	22	200
Catuaí A1	35	1,9	16	10	4,1	1,6	42	6	95	69	29	410
Catuaí A2	35	1,3	10	14	6,1	1,6	38	7	149	67	62	600

Tabela 22. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, posterior aos 3 ciclos do tratamento D2 – 50% NHC.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
Obatã C	37	1,6	8	10	6,5	1,6	48	7	89	53	24	260
Obatã A1	38	1,3	16	11	5	1,6	48	7	88	66	28	450
Obatã A2	36	1,1	11	11	5,6	1,6	42	4	90	59	32	450
Catuaí C	37	1,2	7	12	7	1,7	42	6	86	59	30	300
Catuaí A1	34	1,3	17	13	5,2	1,7	63	6	120	69	53	680
Catuaí A2	34	1,2	15	11	5,1	1,7	-	6	71	52	21	300

Tabela 23. Análises foliares para os tratamentos com extratos de alga para as cvs. Obatã e Catuaí 99, posterior aos 3 ciclos do tratamento D3 – 100% NHC.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B		Cu	Fe	Mn	Zn	Na
							g kg ⁻¹						
-----g kg ⁻¹ -----							-----mg kg ⁻¹ -----						
Obatã C	33	1,1	4	13	8,3	1,5	53	59	78	78	55	350	
Obatã A1	33	1,4	15	11	5,8	1,6	52	5	59	59	20	410	
Obatã A2	30	1,4	13	10	5,9	1,6	47	34	55	55	31	360	
Catuaí C	35	1,5	6	13	7,2	1,6	52	51	101	101	39	330	
Catuaí A1	35	1,6	16	10	4,3	1,8	51	7	67	67	25	400	
Catuaí A2	32	1,6	10	14	7	1,7	54	31	67	67	50	510	

4.1.4 Clorofila

A análise do teor relativo de clorofila (TRC) para os dois cultivares avaliados não apresentou alterações significativas em função dos tratamentos aplicados (Tabelas 24 e 25).

Kramer e Kozlowski (1979) discutem que o teor de clorofila apresenta variação e foto-oxidação em amplitudes luminosas muito altas. Talvez essa foi uma das possíveis razões para que os TRC medidos no trabalho não apresentaram diferenças estatísticas para ambos os cultivares.

Pereira et al. (2011), avaliando teores de clorofila em cafeeiros submetidos a diferentes ambientes obtiveram valores entre 53,36 e 58,02 de TRC em condição de seca e também observaram que em cafeeiros em regime de seca, os valores de TRC aumentaram à medida que se reduziu a água. Coelho et al. (2007), avaliando o teor de clorofila nas folhas de cafeeiro, encontraram valores de 55,63 a 60,83. Em adição, muitos trabalhos buscam correlacionar o TRC com a concentração de nitrogênio nas plantas (SOUZA et al., 2011; GODOY et al., 2003; GÁBORCIK, 2003). Entretanto, para plantas de cafeeiro do presente experimento e nas condições experimentais, de fato o TRC se correlacionou com as concentrações foliares de nitrogênio, as quais também não variaram em função da DH.

Tabela 24. Teor relativo de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D1 A1	84,2A	76,0A	90,5A	78,4A	77,9A	59,7A	78,0A	86,3A	81,7A	76,2A
D1 A2	65,8A	70,4A	64,8A	74,0A	72,9A	66,0A	67,6A	73,8A	74,1A	73,2A
D1 C	74,5A	73,8A	79,7A	76,7A	79,4A	55,1A	66,5A	67,5A	66,8A	66,9A
D2 A1	80,5A	76,6A	88,2A	72,5A	66,4A	63,2A	68,3A	71,2A	72,3A	57,4A
D2 A2	73,4A	75,7A	83,1A	91,1A	63,8A	54,6A	62,0A	67,4A	66,5A	64,1A
D2 C	68,0A	60,6A	65,8A	74,1A	67,7A	49,9A	55,8A	73,3A	63,1A	52,8A
D3 A1	68,6A	71,5A	73,8A	57,3A	62,4A	68,6A	62,0A	77,7A	81,5A	58,1A
D3 A2	65,6A	79,2A	87,7A	58,7A	73,2A	61,8A	69,5A	74,5A	75,6A	58,7A
D3 C	66,6A	70,6A	73,8A	67,7A	82,8A	67,7A	63,9A	55,0A	61,5A	52,8A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 25. Teor de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D1 A1	66,6A	61,5A	78,0A	91,5A	90,1A	79,6A	77,2A	79,6A	78,5A	60,4A
D1 A2	94,8A	81,2A	97,4A	67,3A	87,3A	77,5A	87,7A	82,5A	81,1A	63,5A
D1 C	72,8A	79,1A	81,0A	88,0A	80,3A	61,8A	81,7A	57,4A	62,6A	55,9A
D2 A1	63,7A	81,0A	86,5A	82,9A	71,0A	63,7A	64,7A	86,3A	81,5A	69,3A
D2 A2	71,6A	70,4A	73,4A	84,4A	67,6A	51,5A	62,0A	75,6A	69,4A	67,1A
D2 C	61,9A	74,2A	74,2A	84,5A	63,5A	59,3A	61,1A	64,9A	56,1A	46,8A
D3 A1	59,5A	71,9A	79,4A	75,8A	79,0A	55,0A	58,0A	82,1A	74,8A	65,9A
D3 A2	76,3A	75,2A	78,2A	78,7A	71,4A	59,1A	59,1A	67,2A	68,4A	53,8A
D3 C	72,2A	58,7A	72,6A	66,6A	78,6A	50,2A	82,6A	66,2A	61,9A	55,3A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5 Biometria

4.1.5.1 cv. Obatã

4.1.5.1.1 Altura de plantas

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na altura de plantas apenas na terceira época de avaliação indicando possível efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 26). Os maiores valores estão associados aos tratamentos D3, nos quais as plantas que não sofreram restrição hídrica apresentaram maior crescimento em altura, independentemente do tratamento com algas.

Tabela 26. Altura de plantas (cm) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	37,3A	43,7A	47,0AB
D1 A2	38,0A	43,3A	44,3AB
D1 C	37,7A	40,3A	44,3AB
D2 A1	38,3A	43,3A	46,7AB
D2 A2	38,7A	44,7A	44,0B
D2 C	38,7A	41,3A	44,7AB
D3 A1	39,0A	44,0A	50,0A
D3 A2	40,7A	46,7A	49,7AB
D3 C	41,0A	43,7A	46,7AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.2 Número de ramos

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação no número de ramos apenas na terceira época de avaliação, indicando que as diferenças podem ser devidas a efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 27). Os maiores valores são associados aos tratamentos D3 e os menores valores aos tratamentos D1, indicando que as plantas que não sofreram restrição hídrica apresentaram maior número de ramos independentemente do tratamento com alga.

Tabela 27. Número de ramos de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	6,3A	8,3A	8,3B
D1 A2	6,7A	8,0A	9,0B
D1 C	5,3A	7,0A	8,7B
D2 A1	6,3A	9,0A	10,0AB
D2 A2	7,3A	8,7A	9,7AB
D2 C	6,3A	8,3A	10,0AB
D3 A1	8,3A	8,7A	13,3A
D3 A2	8,3A	9,3A	12,0AB
D3C	7,3A	8,7A	9,3AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.3 Comprimento de ramos

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação no comprimento de ramos apenas na terceira época de avaliação, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 28). Os maiores valores são associados aos tratamentos D3 e os menores valores aos tratamentos D1 e D2, indicando que as plantas que não sofreram restrição hídrica independentemente do tratamento com extrato de alga apresentaram maior comprimento de ramos.

Tabela 28. Comprimento de ramos (cm) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	69,0A	106,7A	119,3C
D1 A2	78,3A	106,7A	148,3BC
D1 C	59,3A	103,3A	113,3C
D2 A1	78,0A	116,3A	139,3BC
D2 A2	83,3A	109,7A	140,7BC
D2 C	81,7A	111,3A	143,0BC
D3 A1	95,7A	105,7A	215,3A
D3 A2	94,7A	131,3A	187,0AB
D3 C	98,7A	122,0A	159,3ABC

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.4 Número de folhas

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação no número de folhas apenas na terceira época de avaliação, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 29). O maior valor esteve associado ao tratamento D3 A1 e os menores valores aos tratamentos D2 C, indicando que as plantas que não sofreram restrição hídrica apresentaram maior comprimento de ramos.

Taiz e Zeiger (2011) relatam aumento no número de folhas de plantas, como uma estratégia inicial de adaptação de plantas submetidas à DH. Os resultados do presente trabalho divergem desta consideração, provavelmente porque no final dos ciclos de restrição hídrica as plantas dos tratamentos D1 e D2 tiveram seu crescimento altamente prejudicado, limitando o desenvolvimento de novas folhas ou até mesmo causando abscisão de folhas maduras, o que não ocorreu em plantas sob o tratamento D3.

Tabela 29. Número de folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	42,7A	61,0A	74,3BC
D1 A2	44,3A	64,3A	84,0ABC
D1 C	37,3A	60,7A	83,7ABC
D2 A1	46,3A	62,7A	88,0ABC
D2 A2	48,7A	60,3A	84,3ABC
D2 C	42,3A	59,3A	65,0C
D3 A1	54,3A	59,3A	105,3A
D3 A2	55,3A	64,0A	97,7AB
D3 C	53,7A	60,7A	87,0ABC

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.5 Área foliar

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação em relação a área foliar na primeira e na terceira época de avaliação, indicando efeito já ao início dos tratamentos e efeito cumulativo dos tratamentos na terceira época avaliada (Tabela 30). Na primeira época o tratamento D1C é significativamente inferior a D3A1, indicando que as plantas que não sofreram restrição hídrica D3 e receberam o extrato de alga A1 apresentaram maior área foliar. Na terceira época o maior valor de área foliar é novamente o do tratamento D3A1 e os tratamentos D3 diferem significativamente dos tratamentos D1 independentemente do tratamento com extrato de algas.

Tabela 30. Área foliar (cm²) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	1345,9AB	1698,5A	1897,7C
D1 A2	1490,8AB	1568,0A	1964,1C
D1 C	1310,0B	1669,7A	1798,6C
D2 A1	1684,4AB	1920,9A	2261,9BC
D2 A2	1779,5AB	1742,2A	2301,9BC
D2 C	1433,5AB	1883,8A	2271,6BC
D3 A1	2058,9A	1725,6A	3503,8A
D3 A2	1984,4AB	2060,9A	3104,5AB
D3 C	1987,3AB	2066,9A	2907,9AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.6 Massa fresca de folhas

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa fresca de folhas na primeira época e também efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 31). As diferenças na primeira época são relacionadas aos tratamentos D3, que em geral apresentaram maiores massas frescas de folhas que os tratamentos D1 e D2, exceto em D2A2. Na terceira época novamente os maiores resultados estão associados às maiores lâminas D3, independentemente dos tratamentos com algas. Por outro lado os tratamentos com extratos de alga D2A1 e D2A2 foram equivalentes a D3C, indicando que a presença dos extratos de alga possibilitou massa fresca de folhas similares a D3-100% da NHC, mesmo com restrição de irrigação em D2-50% da NHC, indicando que as plantas que não sofreram restrição hídrica D3 apresentam maiores massas frescas de folhas. E plantas que receberam extratos de alga A1 e A2 quando submetidas à restrição hídrica moderada apresentaram massas frescas de folhas similares àquelas sob irrigação plena, indicando maior eficiência no uso de água por plantas tratadas com extratos de alga, resultados semelhantes encontrados por Spann e Little (2011) em plantas cítricas e por Fernandes et al. (2014) em cafeeiro.

Tabela 31. Massa fresca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	31,9B	45,2A	50,2C
D1 A2	34,4B	44,2A	48,6C
D1 C	32,8B	43,5A	48,7C
D2 A1	41,1B	51,5A	62,8BC
D2 A2	43,6AB	48,0A	64,1BC
D2 C	36,4B	47,4A	61,8C
D3 A1	57,1A	43,3A	96,6A
D3 A2	55,7A	52,3A	88,1A
D3 C	55,7A	53,1A	86,2AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.7 Massa fresca de ramos

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa fresca de ramos na primeira e terceiras épocas de avaliação, indicando efeito imediato e também efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 32). As diferenças na primeira época são relacionadas aos tratamentos D3 que em geral apresentaram maiores massas de ramos que os tratamentos D1 e D2. Na terceira época novamente os maiores resultados estão associados às maiores lâminas D3 e menores massas frescas de ramos aos tratamentos D1, independentemente dos tratamentos com algas.

Tabela 32. Massa fresca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	17,0D	28,0A	23,0D
D1 A2	17,9D	23,9A	24,1CD
D1 C	16,7D	24,0A	21,5D
D2 A1	19,7CD	27,0A	25,6ABCD
D2 A2	21,3BCD	27,7A	25,3BCD
D2 C	19,4CD	24,6A	25,7ABCD
D3 A1	23,2ABC	26,5A	36,9AB
D3 A2	25,5AB	33,1A	37,2A
D3 C	26,7A	32,1A	35,0ABC

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.8 Massa fresca de raízes

Não houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa fresca de raízes na primeira época e houve nas segunda e terceira épocas de avaliação, indicando efeito cumulativo dos tratamentos ao longo das fases avaliadas (Tabela 33). Na segunda época os tratamentos D3 são superiores a D2 que são superiores a D1. Exceto o tratamento com lâmina moderada e sem extratos de alga D2C que não difere dos tratamentos D1, indicando que a ausência dos extratos de alga possibilitou massa fresca de raízes similares a D1-25% da NHC, mesmo com menor restrição de irrigação em D2-50% da NHC e que os tratamentos com alga D2A1 e D2A2, com maiores massas frescas de raízes apresentaram maior eficiência no uso de água. Na terceira época D3 apresenta maiores massas frescas de raízes que D1 independentemente dos tratamentos com extratos de algas.

Tabela 33. Massa fresca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	24,9A	18,4C	20,3C
D1 A2	25,2A	19,0C	26,7BC
D1 C	20,1A	17,8C	18,1C
D2 A1	19,8A	28,5B	34,8ABC
D2 A2	22,1A	28,6B	33,8ABC
D2 C	22,0A	22,6BC	37,4ABC
D3 A1	19,8A	43,5A	44,8AB
D3 A2	25,7A	47,9A	51,5A
D3 C	25,6A	43,5A	41,9AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.9 Massa seca de folhas

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa seca de folhas na terceira época avaliada, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 34). As diferenças são relacionadas aos tratamentos D3A1 e D3A2 que apresentaram maiores massas seca de folhas que o tratamento D1C, indicando que plantas com tratamentos sem extratos de algas e tratadas com severa restrição hídrica apresentaram menores massas secas de folhas que as plantas sem restrição hídrica e com tratamentos com extratos de algas.

Tabela 34. Massa seca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	12,6A	13,9A	18,8B
D1 A2	13,6A	13,7A	20,2AB
D1 C	12,3A	13,9A	17,8B
D2 A1	13,5A	15,2A	20,8AB
D2 A2	14,7A	14,2A	20,6AB
D2 C	12,6A	14,1A	21,0AB
D3 A1	15,0A	14,0A	27,2A
D3 A2	15,0A	16,7A	26,3A
D3 C	15,3A	15,8A	24,6AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.10 Massa seca de ramos

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa seca de ramos nas três épocas avaliadas dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 35). No início (primeira época) a diferença ocorre entre as lâminas D3C e D1C. Na segunda época os tratamentos controle D1C e D2C diferem dos tratamentos D3, diante de tratamentos com extratos de alga similares a D3, com similar efeito na terceira época, quando D1C mantém com massa seca de ramos inferior aos demais tratamentos. Esses resultados indicam que plantas com tratamentos sem extratos de algas e com severa restrição hídrica apresentaram menores massas secas de ramos que as plantas sob menor restrição hídrica e tratamentos com extratos de algas.

Tabela 35. Massa seca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	6,0AB	9,5AB	9,9AB
D1 A2	6,0AB	8,2AB	10,4AB
D1 C	5,3B	8,0B	9,0B
D2 A1	6,1AB	8,9AB	10,0AB
D2 A2	6,9AB	9,2AB	9,7AB
D2 C	6,2AB	7,9B	10,4AB
D3 A1	6,3AB	8,9AB	13,4A
D3 A2	7,1AB	10,7A	13,7A
D3 C	7,8A	10,0AB	12,4AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.1.11 Massa seca de raízes

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa seca de raízes na segunda e terceira épocas avaliadas, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 36). Na segunda época o tratamento controle D2C difere dos demais tratamentos com menor massa fresca de raízes. De certo modo tratamentos com extratos de algo apresentaram mais raízes. Na terceira época, tratamentos D3 e com extrato de alga A2 apresentaram maior massa seca de raízes. Rayorath et al. (2008) observaram a expressão gênica de promotores de resposta a auxina em plantas modelo de *Arabidopsis thaliana* e concluíram que compostos presentes no extrato de *A. nodosum* levaram a uma melhor distribuição de auxina nas raízes destas plantas. Esta melhor distribuição, no entanto, aparentemente não está ligada a síntese deste hormônio vegetal, uma vez que não foi observada maior expressão de alguns genes ligados à síntese de auxina em *A. thaliana* e trabalhos relatando desenvolvimento radicular em diversas espécies demonstram maior desenvolvimento de raízes laterais em detrimento a raízes pivotantes (WALLY et al., 2013).

Tabela 36. Massa seca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	4,4A	6,7A	7,6B
D1 A2	4,7A	6,4AB	9,0AB
D1 C	3,7A	5,6AB	6,8B
D2 A1	4,4A	5,3AB	8,0B
D2 A2	4,6A	5,7AB	8,1B
D2 C	4,7A	4,7B	8,6AB
D3 A1	4,3A	6,2AB	9,8AB
D3 A2	5,3A	6,7A	11,2A
D3 C	6,0A	5,5AB	9,1AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2 cv. Catuaí 99

4.1.5.2.1 Altura de planta e número de ramos

Não houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação em altura de planta e número de ramos nas épocas avaliadas (Tabelas 37 e 38). As pequenas variações em altura e número de ramos entre os tratamentos aplicados ao cultivar Catuaí 99 indicaram que estes parâmetros não representam bons indicadores.

Tabela 37. Altura de plantas (cm) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	39,3A	68,3A	43,7A
D1 A2	39,3A	81,7A	44,2A
D1 C	37,3A	101,0A	44,2A
D2 A1	38,0A	111,0A	46,3A
D2 A2	38,3A	107,0A	45,0A
D2 C	37,7A	87,7A	45,3A
D3 A1	42,0A	60,3A	50,0A
D3 A2	41,3A	80,7A	48,0A
D3 C	40,7A	88,7A	45,0A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 38. Número de ramos de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	6,0A	50,7A	8,7A
D1 A2	6,3A	43,7A	8,3A
D1 C	6,7A	62,7A	8,3A
D2 A1	6,7A	58,0A	9,3A
D2 A2	6,3A	51,0A	9,3A
D2 C	6,0A	47,3A	8,7A
D3 A1	7,0A	41,3A	10,7A
D3 A2	7,0A	48,3A	10,0A
D3 C	6,3A	47,0A	9,7A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.2 Comprimento de ramos

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa seca de raízes na terceira época avaliada, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 39). Os tratamentos controle D1C, D1A2 e D2C diferem e apresentam menores comprimentos de ramos que D3A1, indicando que os tratamentos com maior restrição hídrica e sem extratos de alga apresentaram menores comprimentos de ramos.

Tabela 39. Comprimento de ramos (cm) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	59,0A	68,3A	118,3AB
D1 A2	57,3A	81,7A	110,7B
D1 C	61,0A	101,0A	102,7B
D2 A1	63,0A	111,0A	120,7AB
D2 A2	61,3A	107,0A	126,0AB
D2 C	62,0A	87,7A	107,3B
D3 A1	86,7A	60,3A	173,3A
D3 A2	82,0A	80,7A	156,0AB
D3 C	67,3A	88,7A	144,3AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.3 Número de folhas

Não houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação em número de folhas nas três épocas avaliadas (Tabela 40). Em experimento conduzido em plantas de laranja, Spann e Little (2011), obtiveram resposta semelhante em plantas irrigadas do porta enxerto Carrizo, com número de folhas inferior as plantas controle sob restrição hídrica.

Tabela 40. Número de folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	40,3A	50,7A	74,7A
D1 A2	39,0A	43,7A	69,7A
D1 C	40,7A	62,7A	68,0A
D2 A1	43,7A	58,0A	78,3A
D2 A2	43,3A	51,0A	75,0A
D2 C	39,3A	47,3A	65,7A
D3 A1	51,0A	41,3A	88,3A
D3 A2	51,7A	48,3A	88,0A
D3 C	42,0A	47,0A	77,0A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.4 Área foliar

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação em área foliar na primeira e na terceira época de avaliação, indicando efeito já ao início dos tratamentos e efeito cumulativo dos tratamentos na terceira época avaliada (Tabela 41). Na primeira época tratamentos com restrição hídrica D1, exceto com a alga A1 foram inferiores aos demais, indicando que as plantas que não sofreram restrição hídrica D3 e receberam o extrato de alga A1 apresentaram maior área foliar. Na terceira época os tratamentos D3 apresentaram valores maiores que D1, de forma que as diferenças entre área foliar ficaram ainda mais pronunciadas conforme os tratamentos de lâmina, independentemente dos tratamentos com extrato de algas.

Tabela 41. Área foliar (cm²) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	1422,1AB	1350,8A	1741,4C
D1 A2	1277,8B	1116,0A	1676,6C
D1 C	1341,4B	1432,6A	1644,1C
D2 A1	1320,7B	1591,3A	2026,1BC
D2 A2	1444,8AB	1677,8A	2147,5BC
D2 C	1390,3AB	1488,2A	2119,8BC
D3 A1	2095,6A	1435,7A	2884,0AB
D3 A2	1889,0AB	1708,0A	3182,7A
D3 C	1762,9AB	1662,2A	2906,6AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.5 Massa fresca de folhas

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa fresca de folhas nas três épocas avaliadas, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 42). Desde o início (primeira época) tratamentos com irrigação plena (D3) apresentam maior massa fresca de folhas que tratamentos com restrição hídrica D1 e D2. Porém, na segunda época estas diferenças foram menos pronunciadas, exceto no tratamento D1A2. E o efeito pronunciado se repete na terceira época, indicando que plantas com tratamentos sem restrição hídrica apresentaram maiores massas frescas de folhas que as plantas submetidas à restrição hídrica, independentemente dos tratamentos com extratos de algas.

Tabela 42. Massa fresca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	35,4C	35,1AB	45,1C
D1 A2	32,6C	30,6B	48,9BC
D1 C	32,3C	38,7AB	45,0C
D2 A1	35,8C	43,7AB	59,0B
D2 A2	38,9BC	45,9A	60,0B
D2 C	35,9C	40,5AB	53,9BC
D3 A1	58,3A	38,7AB	80,9A
D3 A2	54,0A	42,8AB	83,5A
D3 C	51,2AB	46,8A	75,9A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.6 Massa fresca de ramos

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa fresca de ramos na primeira e terceiras épocas de avaliação, indicando efeito imediato e cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 43). As diferenças na primeira época são relacionadas aos tratamentos D3 que em geral apresentaram maiores massas de ramos que os tratamentos D1 e D2. Na terceira época novamente os maiores resultados estão associados às maiores lâminas D3 e menores massas frescas de ramos aos tratamentos D1, independentemente dos tratamentos com algas.

Tabela 43. Massa fresca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuai 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	19,1B	21,2A	22,3C
D1 A2	17,9B	21,5A	24,9C
D1 C	17,1B	24,1A	20,8C
D2 A1	18,1B	27,4A	26,9BC
D2 A2	20,3B	27,5A	26,1BC
D2 C	18,5B	25,4A	24,6C
D3 A1	27,6A	25,2A	37,0A
D3 A2	26,9A	27,6A	37,2A
D3 C	23,4AB	28,8A	33,4AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.7 Massa fresca de raízes

Não houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa fresca de raízes na primeira época e houve nas segunda e terceira épocas de avaliação, indicando efeito cumulativo dos tratamentos ao longo das fases avaliadas (Tabela 44). Na segunda época os tratamentos D3 são superiores a D2 que são superiores a D1. Na terceira época D3 e D2 apresenta maiores massas frescas de raízes que D1 independentemente dos tratamentos com extratos de algas.

Tabela 44. Massa fresca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	20,8A	15,9CD	20,4BC
D1 A2	22,0A	14,7D	16,6C
D1 C	21,1A	17,6BCD	11,3C
D2 A1	17,8A	25,9B	36,6A
D2 A2	20,1A	23,9BC	35,0AB
D2 C	16,8A	23,7BC	31,9AB
D3 A1	28,0A	41,1A	40,6A
D3 A2	24,8A	41,4A	40,8A
D3 C	17,0A	38,5A	33,9AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.8 Massa seca de folhas

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa seca de folhas na terceira época avaliada, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 45). As diferenças são relacionadas aos tratamentos D3 que apresentaram maiores massas seca de folhas que o tratamento D1C, indicando que plantas com tratamentos sem restrição hídrica e com extratos de alga apresentaram maiores massas secas de folhas que as plantas com restrição hídrica e sem extratos de algas.

Tabela 45. Massa seca de folhas (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	13,0A	11,3A	17,7BC
D1 A2	11,8A	9,6A	17,3BC
D1 C	12,5A	12,4A	16,8C
D2 A1	11,5A	12,6A	18,9BC
D2 A2	13,0A	13,5A	19,9ABC
D2 C	12,1A	12,0A	17,6BC
D3 A1	15,8A	11,1A	24,2A
D3 A2	14,7A	12,6A	23,8A
D3 C	13,7A	13,5A	22,0AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.9 Massa seca de ramos

Houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação na massa seca de ramos na terceira época avaliada, indicando efeito cumulativo dos tratamentos na última fase avaliada (Tabela 46). O tratamento D1C difere e apresenta menor massa seca de ramos que os tratamentos D3A1 e D3A2, indicando que plantas com tratamentos sem restrição hídrica e com extratos de algas apresentaram maiores massas secas de ramos que as plantas com severa restrição hídrica e sem extratos de algas.

Tabela 46. Massa seca de ramos (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	6,3A	7,2A	10,0AB
D1 A2	5,6A	6,9A	10,0AB
D1 C	5,5A	7,9A	9,2B
D2 A1	5,9A	8,6A	10,4AB
D2 A2	6,9A	8,9A	10,1AB
D2 C	5,9A	8,3A	9,7AB
D3 A1	7,9A	8,0A	13,2A
D3 A2	7,7A	9,0A	13,3A
D3 C	6,5A	9,4A	11,9AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5.2.10 Massa seca de raízes

Não houve diferença significativa na interação entre extratos de algas e lâminas de irrigação em massa seca de raízes nas três épocas avaliadas (Tabela 47).

Tabela 47. Massa seca de raízes (g) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre lâminas de irrigação e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. Épocas 1, 2 e 3 representam avaliações no final da cada ciclo de DH.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
D1 A1	4,1A	4,6A	9,6A
D1 A2	4,3A	4,7A	8,6A
D1 C	4,4A	5,5A	7,5A
D2 A1	3,8A	5,5A	8,3A
D2 A2	4,0A	5,4A	8,2A
D2 C	3,9A	5,1A	7,7A
D3 A1	6,2A	5,1A	10,4A
D3 A2	5,4A	5,4A	11,4A
D3 C	4,1A	4,7A	9,2A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2 Experimento 2 – Estresse salino

4.2.1 Relações hídricas

4.2.1.1 Tensiometria

O manejo de irrigação deste experimento preconizou manter o solo em capacidade de campo aplicando-se lâminas de irrigação similar a todos os tratamentos. O gráfico a seguir (Figura 11), permite observar que a tensão média de água no solo se manteve entre 7 a 15 kPa durante todo experimento para todos os tratamentos, incluindo as variáveis com sal e sem sal. Estes valores de tensão no solo ao longo do ciclo ficaram muito próximos ao ponto de capacidade de campo, permitindo assim avaliar os efeitos de estresse salino sem interferência de restrições hídricas, diante do manejo de irrigação adotado adequadamente.

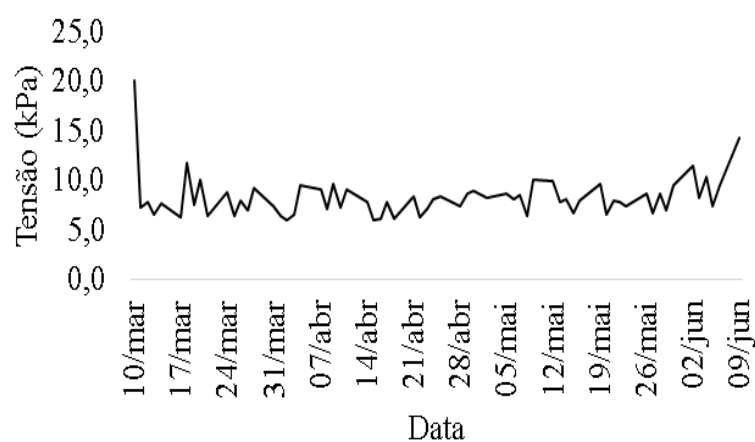


Figura 11. Tensão de água no solo durante experimento com tratamentos salinos e de extratos de alga em dois cultivares de cafeeiro (2014).

Nota-se que apenas no início e fim do ciclo os valores de tensão no solo aproximaram-se de 20 kPa, isto porque o DPV nestes momentos isolados apresentou valores altos, o que justifica o aumento da tensão.

4.2.1.2 Potencial hídrico foliar

Não foram verificadas respostas diferentes em PHF entre os cultivares sob mesmos tratamentos salinos e com extratos de alga. Por outro lado, as plantas do cultivar Obatã para interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentaram respostas diferenciadas em PHF na segunda época de avaliação, enquanto as plantas do cultivar Catuaí 99 apresentaram diferenças no PHF na época 4. Para ambos cultivares houve redução no PHF (maiores valores) ao longo das épocas de avaliação 1 a 3 (ES1) e 4 a 6 (ES2), coincidindo com o aumento na concentração salina. Da mesma forma, houve aumento do PHF entre as épocas 3 a 4 quando as plantas foram recondicionadas entre os dois ciclos de estresse. Assim, constatou-se que a elevação na concentração salina no solo induziu a redução na absorção de água pelas raízes nas plantas submetidas a tratamentos salinos, independentemente do cultivar. A literatura relata que para cada 1 dS m⁻¹ de aumento na condutividade elétrica provoca redução equivalente a 30,39 kPa de potencial de água no solo. Desta forma, apesar de haver água disponível, as plantas não conseguem absorvê-la na mesma proporção devido ao maior potencial osmótico na solução do solo dos tratamentos salinos.

Temóteo (2012), trabalhando com cultivares de café conilon (*Coffea canephora*) sob estresse salino-hídrico, encontrou valores entre 10 a 20 kPa em função da salinidade e estresse hídrico de 25% da necessidade da cultura. E também constatou que, para os horários mais quentes do dia o PHF para o café Conilon sob estresse salino-hídrico aproximou-se de 15 kPa.

4.2.1.2.1 cv. Obatã

Para os tratamentos com sal e sem sal houve diferença estatística ($p \leq .05$) no PHF nas épocas 2, 3, 4, 5 e 6 (Tabela 48). Para os tratamentos sem sal houve pequena variação nos valores de PHF entre 0,7 a 1,0 kPa ao longo das épocas de avaliação, indicando que o manejo de irrigação foi adequado. Por outro lado, os valores de PHF variaram de 0,7 a 2,8 kPa para os tratamentos salinos.

Também houve diferença estatística para a interação entre tratamentos salinos e extratos de algas. Na época 2 os tratamentos salinos apresentaram

diferenças significativas entre os tratamentos de alga A1 e A2 que não diferiram do controle.

Tabela 48. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5 e 6.

Tratamentos	Épocas					
	1	2	3	4	5	6
Sal A1	0,8A	2,3A	2,3A	1,3A	2,0A	2,8A
Sal A2	1,2A	1,7B	1,8A	1,2AB	1,7A	2,9A
Sal C	0,7A	1,9AB	2,4A	1,0ABC	1,8A	2,6A
SS A1	0,8A	0,9C	0,6B	0,5C	0,8B	1,0B
SS A2	0,8A	0,7C	0,5B	0,7BC	0,9B	0,8B
SS C	0,7A	0,6C	0,6B	0,8ABC	0,7B	0,8B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.1.2.2 cv. Catuaí 99

Para os tratamentos com sal e sem sal houve diferença estatística a 5% de probabilidade no potencial hídrico foliar (PHF) nas épocas 2, 3, 5 e 6 (Tabela 49). Para os tratamentos sem sal houve variação nos valores de PHF entre 0,5 a 1,1 kPa ao longo das épocas de avaliação indicando que o manejo de irrigação esteve adequado. Enquanto os valores de PHF variaram de 0,7 a 2,9 kPa para tratamento salino. Lima et al. (2006) relatam que, a salinidade provoca desidratação na planta independentemente do teor de água no solo.

Também houve diferença estatística para a interação entre tratamentos salinos e extratos de algas. Na época 4 os tratamentos salinos apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de alga A1 e A2 que não diferiram do controle.

Tabela 49. Potencial hídrico foliar (kPa) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5 e 6.

Tratamentos	Épocas					
	1	2	3	4	5	6
Sal A1	1,2A	1,8A	2,3A	1,5A	2,0A	2,8A
Sal A2	1,5A	2,1A	2,3A	0,7B	1,8A	2,9A
Sal C	0,9A	1,9A	2,3A	1,1AB	1,6AB	2,5A
SS A1	0,7A	0,7B	0,5B	1,0AB	1,1BC	0,7B
SS A2	0,8A	0,8B	0,7B	0,9AB	0,7C	1,0B
SS C	0,9A	0,6B	0,7B	0,7B	0,8C	0,5B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.2 Trocas gasosas

4.2.2.1 cv. Obatã

A presença de sal provocou redução significativa na assimilação líquida de CO₂ (*A*) apenas na quarta época de avaliação (Tabela 50). Da mesma forma, a transpiração (*E*) apresentou redução significativa em comparação ao tratamento sem sal (Tabela 51).

A queda em *E* pode ser indicativo da redução em *g_s* (Tabela 52) que responde a variações no PHF (Tabela 48) e tem grande influência sobre as demais variáveis avaliadas. Apenas a variável *E* apresenta efeito significativo para a aplicação de extratos de algas (Tabela 51) quando avaliada isoladamente a aplicação de extratos de algas A1, A2 e C, sem a influência dos tratamentos salinos.

Tabela 50. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas													
	1		2		3		4		5		6		7	
Sal	7,1	A	5,2	A	10,3	A	4,3	B	6,2	A	1,7	A	4,8	A
SS	6,9	A	4,8	A	7,8	A	6,3	A	7,6	A	1,9	A	6,8	A
A1	7,2	A	5,3	A	9,0	A	5,9	A	8,9	A	2,3	A	4,1	A
A2	7,1	A	5,0	A	10,1	A	5,7	A	6,2	A	1,5	A	5,6	A
C	6,7	A	4,6	A	7,9	A	4,4	A	5,6	A	1,7	A	7,6	A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As plantas submetidas a tratamento salino apresentaram menores valores de transpiração que plantas controle sem tratamento salino nas épocas 4 e 7 que coincidem com as fases finais dos ciclos de estresse salino.

O tratamento A1 apresentou diferença significativa superior ao tratamento controle e não diferente de A2 na quinta época de avaliação. Apesar de valores superiores de A1 nas demais épocas, não foram observadas diferenças significativas (Tabela 51). Tais resultados indicam que a aplicação de extratos de algas pode influenciar positivamente esta variável.

Tabela 51. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a diferentes tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas													
	1		2		3		4		5		6		7	
Sal	2,7	A	1,7	A	2,2	A	0,9	B	1,1	A	0,4	A	1,0	A
SS	2,6	A	1,4	A	3,2	A	1,5	A	1,7	A	0,4	A	1,5	A
A1	3,1	A	1,6	A	2,7	A	1,3	A	2,0	A	0,4	A	1,0	A
A2	2,4	A	1,6	A	3,2	A	1,3	A	1,2	AB	0,3	A	1,1	A
C	2,4	A	1,4	A	2,2	A	1,0	A	1,0	B	0,4	A	1,6	A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando os fatores tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas independentemente foram encontradas diferenças significativas. Os tratamentos salinos apresentaram menores valores para condutância estomática (g_s) e concentração intercelular de CO_2 (C_i) que os tratamentos sem sal (Tabelas 52 e 53) na época 3 (ES1).

Tabela 52. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas													
	1	2	3	4	5	6	7							
Sal	0,092	A	0,060	A	0,098	B	0,042	A	0,080	A	0,022	A	0,063	A
SS	0,087	A	0,068	A	0,134	A	0,071	A	0,118	A	0,020	A	0,086	A
A1	0,106	A	0,068	A	0,112	A	0,060	A	0,139	A	0,026	A	0,056	A
A2	0,079	A	0,066	A	0,143	A	0,064	A	0,084	A	0,018	A	0,062	A
C	0,083	A	0,058	A	0,093	A	0,046	A	0,075	A	0,021	A	0,105	A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 53. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas													
	1	2	3	4	5	6	7							
Sal	228,9	A	206,6	A	206,6	B	193,9	A	255,5	A	243,8	A	248,9	A
SS	228,8	A	208,3	A	255,1	A	201,1	A	251,1	A	219,7	A	248,8	A
A1	237,0	A	214,0	A	231,6	A	174,3	A	270,3	A	214,1	A	258,8	A
A2	213,2	A	198,4	A	240,1	A	220,3	A	240,0	A	240,6	A	235,1	A
C	236,4	A	210,0	A	240,1	A	197,8	A	249,6	A	240,5	A	252,6	A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quando analisadas as interações entre os tratamentos com aplicação de sal e a aplicação de extratos de algas, não foram encontradas diferenças significativas para as variáveis A (Tabela 54) e C_i (Tabela 56).

Tabela 54. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	7,6 A	4,9 A	10,1 A	4,7 A	7,0 A	2,3 A	3,4 A
Sal A2	6,8 A	5,5 A	10,8 A	5,2 A	5,6 A	1,3 A	4,7 A
Sal C	6,9 A	3,8 A	9,9 A	3,0 A	6,1 A	1,7 A	6,2 A
SS A1	6,9 A	5,7 A	7,9 A	7,1 A	10,8 A	2,3 A	4,8 A
SS A2	7,4 A	4,6 A	9,5 A	6,2 A	6,8 A	1,7 A	6,5 A
SS C	6,5 A	5,4 A	6,0 A	5,8 A	5,1 A	1,8 A	8,9 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Foram verificados maiores valores de g_s (Tabela 55) para os tratamentos sem sal comparados os tratamentos salinos A2 e C. O tratamento salino A1 apresentou valores de condutância não diferentes dos tratamentos sem salinidade, indicando que a aplicação do extrato de alga A1 possibilitou à planta na condição salina manter a condutância estomática similar a plantas que não estavam sob estresse salino.

Tabela 55. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	0,119 A	0,071 A	0,104 AB	0,037 A	0,096 A	0,029 A	0,046 A
Sal A2	0,071 A	0,061 A	0,092 B	0,061 A	0,069 A	0,022 A	0,049 A
Sal C	0,086 A	0,047 A	0,087 B	0,028 A	0,075 A	0,016 A	0,095 A
SS A1	0,093 A	0,064 A	0,130 A	0,083 A	0,182 A	0,022 A	0,067 A
SS A2	0,086 A	0,071 A	0,183 A	0,066 A	0,098 A	0,014 A	0,076 A
SS C	0,081 A	0,069 A	0,108 AB	0,063 A	0,075 A	0,021 A	0,105 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 56. Concentração intercelular de CO₂ C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	244,3 A	231,0 A	201,7 A	167,7 A	264,0 A	230,6 A	269,8 A
Sal A2	202,0 A	180,2 A	210,1 A	231,3 A	250,9 A	286,6 A	230,6 A
Sal C	240,4 A	208,6 A	208,0 A	182,6 A	251,6 A	214,2 A	246,3 A
SS A1	229,7 A	197,0 A	261,6 A	180,9 A	276,6 A	197,5 A	247,7 A
SS A2	224,4 A	216,5 A	270,1 A	209,3 A	229,1 A	194,7 A	239,7 A
SS C	232,4 A	211,4 A	233,6 A	212,9 A	247,6 A	266,9 A	258,9 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Foi encontrada interação apenas na quinta época de avaliação para a variável E (Tabela 57). O tratamento A1 na ausência de sal diferiu do tratamento do tratamento controle. Porém não houve diferenças entre os tratamentos de alga na presença de sal. Estes resultados indicam que A1 produziu efeito positivo sobre a variável E apenas na ausência de sal.

Tabela 57. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre os tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	3,5 A	1,6 A	2,1 A	0,8 A	1,3 AB	0,5 A	0,7 A
Sal A2	2,2 A	1,5 A	2,3 A	1,2 A	1,0 B	0,4 A	0,8 A
Sal C	2,5 A	1,1 A	2,2 A	0,6 A	1,1 AB	0,3 A	1,5 A
SS A1	2,7 A	1,6 A	3,2 A	1,8 A	2,7 A	0,4 A	1,2 A
SS A2	2,6 A	1,7 A	4,1 A	1,5 A	1,4 AB	0,2 A	1,4 A
SS C	2,4 A	1,6 A	2,2 A	1,4 A	1,0 B	0,5 A	1,8 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.2.2 cv. Catuaí 99

A aplicação de sal provocou efeito significativo sobre a assimilação líquida de carbono (A) nas épocas de avaliação 3 e 4, quando a presença de sal reduziu significativamente esta variável.

Corroborando as afirmações de que em situação de estresse salino as plantas ativam mecanismos de adaptação a esta condição. Nestes casos, objetivando a manutenção da homeostase iônica, gerenciar a obtenção e retenção de água, torna-se importante (REJILI et al., 2007). Entretanto a utilização de tais formas de adaptação podem ter reflexos como a redução do crescimento, redução da área foliar, alterações metabólicas, fechamento estomático e redução na fotossíntese (TATTINI et al., 2006; MUNNS, 2008).

Por outro lado, quando avaliados isoladamente os efeitos das aplicações de extratos de algas sobre A não foram encontradas diferenças (Tabela 58). E também não houve interação significativa entre a aplicação de sal e de extratos de algas (Tabela 59).

Tabela 58. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas													
	1		2		3		4		5		6		7	
Sal	6,6	A	3,7	A	4,8	B	3,8	B	5,9	A	2,2	A	6,4	A
SS	7,5	A	5,6	A	8,7	A	6,3	A	6,0	A	3,5	A	5,4	A
A1	6,3	A	5,3	A	7,6	A	5,6	A	5,9	A	3,3	A	4,8	A
A2	7,0	A	6,0	A	6,8	A	5,7	A	6,4	A	2,9	A	7,0	A
C	7,8	A	2,7	A	5,9	A	4,0	A	5,7	A	2,3	A	5,8	A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 59. Assimilação líquida de carbono A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	6,6 A	4,7 A	5,9 A	4,6 A	6,0 A	2,7 A	6,9 A
Sal A2	6,4 A	4,6 A	4,3 A	4,5 A	7,4 A	2,5 A	7,2 A
Sal C	6,9 A	1,7 A	4,1 A	2,5 A	4,2 A	1,5 A	5,1 A
SS A1	6,1 A	5,9 A	9,2 A	6,6 A	5,8 A	3,9 A	2,8 A
SS A2	7,6 A	7,3 A	9,2 A	6,8 A	5,3 A	3,4 A	6,9 A
SS C	8,7 A	3,6 A	7,8 A	5,5 A	7,1 A	3,1 A	6,5 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Segundo Jones (1998), a variável condutância estomática (g_s) possui papel central no controle das trocas gasosas entre as folhas e o ambiente. Coincidentemente os valores de condutância estomática na terceira época de avaliação para os tratamentos salinos foram significativamente menores, se comparados aos tratamentos sem sal (Tabela 60).

Tabela 60. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal	0,091 A	0,56 A	0,061 B	0,040 A	0,090 A	0,018 A	0,085 A
SS	0,096 A	0,110 A	0,154 A	0,072 A	0,096 A	0,027 A	0,068 A
A1	0,097 A	0,092 A	0,128 A	0,061 A	0,090 A	0,024 A	0,065 A
A2	0,081 A	0,105 A	0,114 A	0,062 A	0,094 A	0,020 A	0,085 A
C	0,103 A	0,054 A	0,080 A	0,046 A	0,097 A	0,022 A	0,081 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Foi encontrada interação significativa entre os tratamentos com sal e a aplicação de extratos de algas par a variável g_s (Tabela 61). A interação ocorreu na terceira época de avaliação. Nesta época há uma clara distinção nos resultados entre os tratamentos com sal e sem sal onde a presença de sal reduziu significativamente g_s . Entretanto, o tratamento salino que recebeu a aplicação A1 manteve-se semelhante aos

tratamentos onde não houve aplicação de sal. Este resultado pode ser indicativo de que houve estímulo às plantas para a manutenção da abertura estomática mesmo em condições salinas sob o tratamento A1.

Tabela 61. Condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	0,102 A	0,070 A	0,086 AB	0,049 A	0,095 A	0,021 A	0,091 A
Sal A2	0,069 A	0,076 A	0,058 B	0,049 A	0,098 A	0,016 A	0,089 A
Sal C	0,102 A	0,023 A	0,039 B	0,021 A	0,078 A	0,017 A	0,075 A
SS A1	0,091 A	0,114 A	0,169 A	0,072 A	0,084 A	0,027 A	0,040 A
SS A2	0,092 A	0,133 A	0,170 A	0,074 A	0,089 A	0,024 A	0,080 A
SS C	0,105 A	0,084 A	0,121 AB	0,070 A	0,115 A	0,028 A	0,086 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Houve efeito significativo da presença de sal sobre a concentração intercelular de CO_2 (C_i). Esta variável é um indicativo da quantidade de substrato disponível para a realização da fotossíntese, e está intimamente relacionada à taxa fotossintética e a condutância estomática. Houve redução significativa de C_i na presença de sal na terceira época de avaliação (Tabela 62). Esta redução está associada à redução em g_s (Tabelas 60 e 61) e à redução de A para os tratamentos salinos (Tabela 58).

Tabela 62. Concentração intercelular de CO_2 C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal	227,6 A	235,6 A	223,5 B	198,3 A	265,3 A	180,3 A	258,5 A
SS	240,7 A	262,5 A	263,2 A	197,9 A	256,8 A	152,2 A	248,0 A
A1	259,4 A	249,4 A	257,6 A	205,9 A	250,5 A	158,5 A	258,7 A
A2	209,0 A	242,1 A	250,5 A	201,3 A	255,3 A	137,1 A	240,4 A
C	234,0 A	255,6 A	222,0 A	187,1 A	277,2 A	203,1 A	260,7 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Não foi encontrada interação significativa entre a presença de sal e a aplicação de extratos de algas sobre a concentração intercelular de CO₂ (C_i) (Tabela 63).

Tabela 63. Concentração intercelular de CO₂ C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	264,0 A	236,4 A	241,5 A	208,0 A	256,9 A	171,4 A	257,8 A
Sal A2	182,4 A	237,8 A	228,8 A	211,7 A	248,8 A	133,1 A	250,7 A
Sal C	236,4 A	232,5 A	200,2 A	175,3 A	290,1 A	236,4 A	267,1 A
SS A1	254,9 A	262,4 A	273,7 A	203,7 A	244,2 A	145,7 A	259,5 A
SS A2	235,6 A	246,3 A	272,2 A	190,9 A	261,7 A	141,1 A	230,2 A
SS C	231,5 A	278,8 A	243,7 A	198,9 A	264,4 A	169,8 A	254,2 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

É possível identificar claramente nos resultados que a presença de sal provocou redução significativa para a variável E em comparação aos tratamentos que não receberam sal nas épocas 2, 3 e 6 (Tabela 64) e que não houve resposta ao efeito isolado dos extratos de alga.

Tabela 64. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 submetidas a tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas													
	1		2		3		4		5		6		7	
Sal	2,8	A	1,4	B	1,7	B	0,9	A	1,4	A	0,3	B	1,4	A
SS	3,0	A	2,6	A	3,7	A	1,8	A	1,7	A	0,5	A	1,2	A
A1	2,9	A	2,2	A	3,2	A	1,5	A	1,4	A	0,4	A	1,1	A
A2	2,6	A	2,5	A	2,8	A	1,5	A	1,6	A	0,4	A	1,4	A
C	3,0	A	1,3	A	2,1	A	1,1	A	1,6	A	0,4	A	1,3	A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Conforme resultado obtido para a variável g_s (Tabela 61), foram encontradas diferenças significativas e resultados similares para a interação entre os

tratamentos sobre a transpiração (E). De forma que a aplicação do extrato de alga A1 em presença de sal manteve a transpiração elevada no mesmo nível dos tratamentos onde o sal estava ausente (Tabela 65), respondendo à manutenção de maior condutância estomática (gs). Deste modo os tratamentos com extrato de alga A1 na condição salina apresentou condutância estomática e transpiração similares aos tratamentos sem salinização, indicando que o referido extrato de alga estimulou processos de tolerância à salinidade.

Tabela 65. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Épocas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal A1	3,1A	1,7A	2,3AB	1,1A	1,4A	0,4A	1,5A
Sal A2	2,2A	1,9A	1,6B	1,1A	1,6A	0,3A	1,5A
Sal C	2,9A	0,6A	1,1B	0,5A	1,3A	0,3A	1,2A
SS A1	2,8A	2,7A	4,1A	1,8A	1,5A	0,5A	0,7A
SS A2	3,0A	3,1A	4,1A	1,9A	1,5A	0,5A	1,4A
SS C	3,1A	2,0A	3,0AB	1,7A	1,9A	0,5A	1,4A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.3 Análises de solo

Os valores de pH, matéria orgânica e saturação por bases não apresentaram diferenças entre os tratamentos salinos e de extratos de alga. Estes valores demonstram que a correção prévia do solo foi adequada e uniforme (Anexo 6).

Não foi possível identificar claras e relevantes diferenças nos demais parâmetros. Foi possível verificar que os teores de K, Ca e Mg não apresentaram variações correlacionáveis aos tratamentos de alga ou tratamentos salinos independentemente dos cultivares.

Os teores de sódio encontrados nos tratamentos salinos foram em torno de 10 vezes superiores aos teores de sódio nos tratamentos sem sal para ambos cultivares, caracterizando que os tratamentos salinos foram bem aplicados. Foi possível verificar também aumento na concentração de sódio do primeiro para o segundo ciclo de estresse salino.

4.2.4 Análises de solução do solo

As análises de solução do solo apresentaram teores de sódio nos tratamentos salinos superiores aos encontrados nos tratamentos sem sal para ambos cultivares, caracterizando que os tratamentos salinos foram bem aplicados. Também foi possível verificar aumento na concentração de sódio no segundo ciclo de estresse salino (Anexo 7).

4.2.5 Condutividade elétrica (CE) na solução do solo

O monitoramento de CE e pH em ambos ciclos de estresse salino demonstram que os tratamentos sem sal mantiveram valores de condutividade elétrica na mesma ordem de grandeza do início ao final em ambos ciclos. Para os tratamentos salinos houve aumento gradual na condutividade elétrica ao decorrer de cada ciclo independentemente dos cultivares. Ao mesmo tempo, os tratamentos com extratos de algas apresentaram aumento dos valores de CE em relação aos controles, sugerindo efeito salino aditivo aos tratamentos com NaCl, considerando-se as concentrações de K e Na naturalmente encontrado nos extratos (Anexos 1 e 2). Estes resultados permitiram monitorar a aplicação gradual e crescente nas concentrações salinas, como também confirmaram que as aplicações salinas foram uniformes e adequadas ao planejamento do experimento (Anexo 8).

4.2.6 Análises de tecido vegetal

Os teores de potássio nos tecidos da parte aérea foram similares entre as plantas tratadas com A1 e A2 e superiores ao das plantas controle no ciclo ES1. Já no ciclo ES2, A1 apresentou valores superiores a A2 e estes superiores às plantas controle, independentemente do tratamento salino ou do cultivar.

As plantas tratadas com extratos de algas acumularam mais potássio em suas folhas e caules que as plantas controle, apesar de teores similares no solo a todos os tratamentos.

Os teores de sódio nas análises de folhas e caules foram de 3 a 4 vezes superiores nos tratamentos salinos no primeiro ciclo e de 5 a 9 vezes no segundo

ciclo para ambos os cultivares (Tabelas 66 e 67). Foi verificado que o acúmulo de sódio em folhas de plantas A1 foi inferior ao das plantas controle e A2 no segundo ciclo.

Tabela 66. Análises foliares para os tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.

Ciclo 1												
Tratamentos	Obatã											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Sal A1	35	1,6	10	12	5,1	1,5	21	81	217	146	19	2440
Sal A2	31	1,4	10	13	6,8	1,6	22	41	174	125	17	2470
Sal C	38	1,8	4	12	8,3	1,4	22	37	170	105	15	2420
SS A1	28	1,5	9	12	5,7	1,6	20	58	187	116	17	800
SS A2	29	1,4	9	13	6,7	1,6	20	65	157	116	17	730
SS C	36	1,6	4	12	10,1	1,6	17	46	146	103	16	600
Catuaí 99												
Sal A1	32	1,8	9	13	6,0	1,5	18	63	196	154	20	2190
Sal A2	34	1,6	10	13	7,1	1,5	21	51	181	143	18	2300
Sal C	35	1,7	4	13	8,8	1,6	16	37	159	121	16	2230
SS A1	30	1,7	10	12	5,7	1,6	22	58	222	148	18	770
SS A2	26	1,6	9	12	6,9	1,5	20	28	185	91	16	800
SS C	35	1,9	4	12	9,0	1,4	16	23	169	92	15	490
Ciclo 2												
Tratamentos	Obatã											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Sal A1	32	1,6	9	12	5,2	1,5	18	154	346	126	22	4930
Sal A2	31	1,7	6	13	6,7	1,4	17	130	270	107	19	6700
Sal C	37	1,7	4	12	7,9	1,6	19	148	287	137	30	7200
SS A1	28	1,8	8	12	5,4	1,4	18	162	266	101	19	870
SS A2	29	1,4	6	14	6,9	1,4	20	163	303	114	20	950
SS C	36	1,8	3	13	9,9	1,5	19	119	237	92	18	780
Catuaí 99												
Sal A1	26	1,8	10	12	5,6	1,5	18	191	358	165	24	5410
Sal A2	30	1,6	8	14	6,4	1,5	19	202	332	151	24	6350
Sal C	35	1,8	4	13	8,3	1,5	17	151	273	142	22	6350
SS A1	23	1,8	10	12	5,7	1,5	21	195	306	138	21	930
SS A2	26	1,6	6	14	7,5	1,4	22	180	284	126	21	1080
SS C	32	1,8	4	12	9,5	1,5	20	198	225	98	19	860

Tabela 67. Análises de caules para os tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.

Tratamentos	Ciclo 1											
	Obatã											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Sal A1	13	1,1	16	5	2,7	1,2	9	11	73	38	13	1000
Sal A2	14	1,0	16	5	3,2	1,2	9	10	63	31	10	820
Sal C	12	1,0	7	4	3,1	1,2	11	13	77	25	10	790
SS A1	12	1,1	13	4	2,5	1,1	10	12	63	26	12	190
SS A2	10	0,9	12	4	2,6	1,1	10	11	41	21	10	170
SS C	15	1,1	8	4	4,5	1,2	9	12	68	25	10	190
Catuaí 99												
Sal A1	12	1,1	14	4	2,2	1,1	12	10	74	30	14	820
Sal A2	12	1,1	13	4	2,1	1,1	13	13	88	28	11	750
Sal C	15	1,0	9	4	3,1	1,1	11	11	63	26	11	600
SS A1	11	0,9	13	4	2,5	1,1	11	10	82	20	8	180
SS A2	10	1,1	11	4	2,4	1,1	9	11	63	28	10	220
SS C	13	0,8	6	3	2,4	1,1	9	11	49	21	8	140
Ciclo 2												
Tratamentos	Obatã											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
	Sal A1	12	1,0	13	4	2,1	1,1	8	16	54	32	9
Sal A2	14	1,2	12	5	3,0	1,2	9	16	61	32	10	1290
Sal C	16	1,0	7	4	3,0	1,2	9	30	139	41	14	890
SS A1	11	1,2	12	4	2,4	1,2	7	15	53	30	8	220
SS A2	9	0,8	8	3	2,2	1,1	6	13	66	21	8	140
SS C	14	1,3	7	4	3,7	1,2	8	16	64	28	9	190
Catuaí 99												
Sal A1	12	1,3	14	4	2,1	1,2	8	19	83	35	9	1190
Sal A2	12	1,0	10	4	2,3	1,2	8	16	91	29	8	1180
Sal C	15	1,1	7	4	3,0	1,2	8	23	120	41	13	940
SS A1	10	1,2	13	4	2,6	1,2	7	19	55	42	9	280
SS A2	10	1,0	9	5	2,7	1,1	8	19	66	26	9	210
SS C	12	1,1	7	4	3,0	1,2	7	21	54	30	9	170

Os teores de potássio em raízes das plantas dos tratamentos com extratos de algas A1 foram superiores que em A2 e nestes superiores aos encontrados nas plantas controle, independentemente do tratamento salino ou do cultivar.

Os teores de sódio obtidos nas análises de raízes (Tabelas 68) foram maiores nas plantas dos tratamentos salinos que nas plantas controle sem NaCl, independentemente dos cultivares nos dois ciclos de ES. Tendência também observada e correlacionada aos valores obtidos nas análises de solo e solução do solo.

Foram verificados maiores teores de sódio em raízes das plantas A1 que os das plantas controle ou de A2 dos tratamentos salinos. Plantas tratadas com o extrato de alga A1 acumularam mais sódio nas raízes que na parte aérea, provavelmente reduzindo a intensidade do efeito iônico. Este mecanismo é importante uma vez que as folhas são mais sensíveis aos danos provocados por íons de sódio que o tecido de raízes.

Tabela 68. Análises de raízes para os tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.

Tratamentos	Ciclo 1											
	Obatã											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----						
Sal A1	19	1,2	11	10	15,9	3,2	26	14	1236	41	181	4230
Sal A2	15	1,0	10	10	15,1	2,8	25	13	1303	34	178	3430
Sal C	27	1,2	5	16	19,6	4,0	27	15	1527	39	289	3360
SS A1	18	1,2	14	10	17,2	3,6	23	11	1489	28	98	650
SS A2	17	1,1	11	11	14,5	3,3	22	12	1051	33	149	610
SS C	22	1,2	5	11	13,0	3,3	27	13	1257	33	169	310
	Catuaí 99											
Sal A1	20	1,2	13	10	17,9	3,4	20	12	1514	32	144	4320
Sal A2	21	1,2	10	13	17,3	3,2	22	11	1246	41	171	3460
Sal C	24	1,2	5	12	13,0	3,2	24	14	1025	41	266	2550
SS A1	20	1,3	15	10	16,9	4,0	23	10	1460	41	170	830
SS A2	19	1,2	13	16	17,1	3,9	22	10	1582	31	105	730
SS C	23	1,2	6	11	13,5	3,4	23	15	1108	49	187	440

Tratamentos	Ciclo 2											
	Obatã											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----					
Sal A1	17	1,1	13	8	13,0	3,1	21	10	2731	27	34	4060
Sal A2	17	1,1	11	10	15,1	3,2	22	11	1873	48	96	3700
Sal C	25	1,1	8	12	15,2	3,9	22	11	2566	33	127	2980
SS A1	17	1,2	14	8	11,0	3,0	20	10	1760	37	104	1720
SS A2	21	1,4	11	13	13,8	3,3	20	10	1571	34	110	2400
SS C	21	1,0	6	9	8,8	2,6	20	10	1051	49	128	1160
	Catuaí 99											
Sal A1	15	1,2	13	9	14,5	3,0	18	10	1947	35	70	3250
Sal A2	16	1,2	10	9	11,5	2,7	18	10	1216	27	65	1970
Sal C	20	1,2	8	13	16,6	3,5	19	10	1831	38	148	2720
SS A1	15	1,2	13	10	12,0	3,1	19	11	1674	43	80	1900
SS A2	18	1,4	12	12	15,0	3,0	20	11	1728	32	52	1420
SS C	16	1,1	5	7	8,0	2,6	18	10	1110	44	183	890

Todos os valores da relação Na^+/K^+ (Tabela 69) foram superiores para plantas controle que para plantas dos tratamentos com algas, independentemente do tratamento salino ou cultivar, porém de forma mais acentuada nos tratamentos salinos. Tratamentos salinos e o ciclo ES2 apresentaram maiores relações Na^+/K^+ que tratamentos sem sal e ciclo ES1. Não houve diferenças relevantes entre os cultivares.

O efeito dos tratamentos salinos provocou clorose e necrose acentuadas nas plantas controle em comparação aos tratamentos de alga. Plantas do tratamento A1 apresentaram maior desenvolvimento vegetativo e menores sintomas necróticos que plantas dos demais tratamentos, mesmo sob alta concentração salina (Figura 12). Plantas do tratamento sem sal apresentaram pouca clorose ou necrose. Entretanto, as plantas que receberam os tratamentos de alga apresentaram maior crescimento e desenvolvimento vegetativo (Figura 13).

Tabela 69. Relação Na^+/K^+ nos tecidos vegetais (folhas, ramos e raízes) ao final dos ciclos ES1 e ES2 para os tratamentos salinos e com extratos de alga dos cvs. Obatã e Catuaí 99.

Na^+/K^+	Folhas		Ramos		Raízes	
	ES1	ES2	ES1	ES2	ES1	ES2
Tratamentos						
Obatã						
Sal A1	0,24	0,55	0,055	0,074	0,38	0,31
Sal A2	0,25	1,12	0,051	0,107	0,34	0,34
Sal C	0,61	1,80	0,112	0,127	0,67	0,37
S/S A1	0,09	0,11	0,015	0,018	0,05	0,12
S/S A2	0,08	0,16	0,015	0,018	0,06	0,22
S/S C	0,15	0,26	0,024	0,027	0,06	0,19
Catuaí 99						
Sal A1	0,24	0,54	0,057	0,085	0,33	0,18
Sal A2	0,23	0,79	0,058	0,118	0,34	0,20
Sal C	0,56	1,59	0,068	0,134	0,51	0,34
S/S A1	0,08	0,09	0,014	0,022	0,05	0,15
S/S A2	0,09	0,18	0,020	0,023	0,06	0,12
S/S C	0,12	0,22	0,023	0,024	0,07	0,18

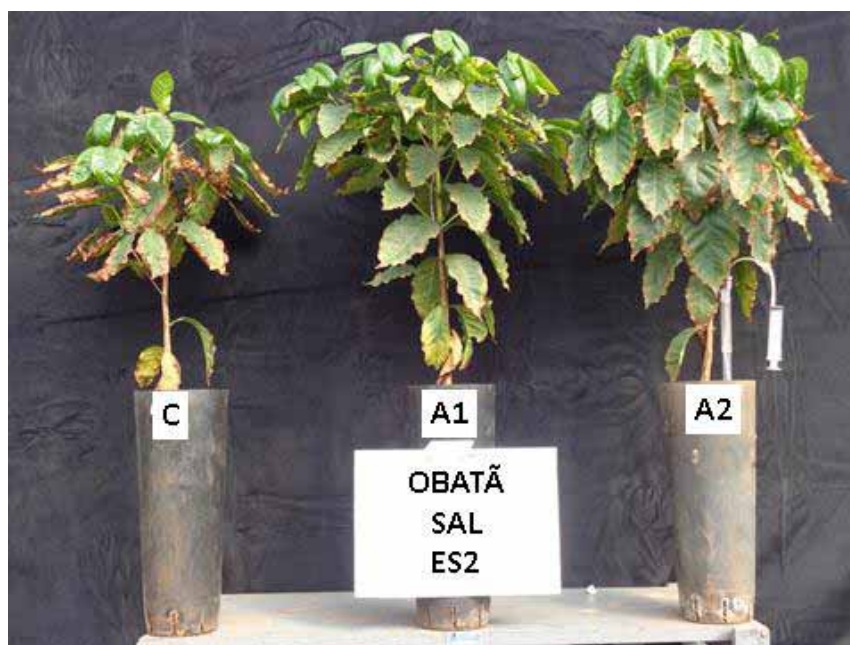


Figura 12. Aspecto das plantas cv. Obatã, tratamento salino ao final do ciclo ES2. Planta com tratamento de alga A1 com melhor aspecto. Planta controle apresentando necrose intensa e crescimento comprometido.



Figura 13. Aspecto das plantas cv. Obatã, tratamento sem sal ao final do ciclo ES2. Planta com tratamento de alga A1 com melhor aspecto.

4.2.7 Clorofila

4.2.7.1 cv. Obatã

Houve diferença estatística em TRC para a interação entre os tratamentos salinos e de extratos de algas a 5% de probabilidade nas épocas 2 e 3. Observaram-se menores TRC nos tratamentos controle sem extratos de algas, independentemente do tratamento salino na época 2. Na época 3 o tratamento controle salino apresentou resultado inferior ao tratamento sem sal com A1 (Tabela 70).

Godoy et al. (2014) observaram que, à medida que as doses de N aumentavam, o TRC aumentava proporcionalmente e que à medida que as plantas ficam velhas esse processo se inverte. Plantas submetidas à condição salina apresentaram redução na concentração de TRC, atribuída ao acréscimo da atividade enzimática que degrada a clorofila (SHARMA; HALL, 1991). Temóteo (2012) ressalta que o TRC decresceu com o aumento da salinidade no solo em experimento com café conilon, efeito que não repetiu para a presente condição experimental.

Tabela 70. Teor de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4 e 5.

Tratamentos	Épocas				
	1	2	3	4	5
Sal A1	87,2A	71,1ABC	95,6A	81,7A	75,6A
Sal A2	79,0A	92,7AB	75,4AB	69,5A	53,0A
Sal C	63,7A	56,7BC	46,7B	45,0A	43,4A
SS A1	83,8A	94,1A	90,4A	78,5A	97,7A
SS A2	82,9A	58,6ABC	80,7AB	65,3A	96,0A
SS C	61,2A	52,5C	55,7AB	55,2A	49,8A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

5.2.7.2 cv. Catuaí 99

Houve diferença estatística nos teores de clorofila foliar (TRC) para a interação entre os tratamentos salinos e de extratos de algas a 5% de probabilidade nas épocas 1, 3, 4 e 5 para o cultivar Catuaí 99. Ocorreu menor TRC nas plantas dos tratamentos controle sem extratos de algas, independentemente do tratamento salino nas épocas 1 e 3. Na época 4 os tratamentos controle apresentaram resultados inferiores aos tratamento sem sal com extratos de alga. Na época 5 o tratamento controle salino apresentou resultado inferior ao tratamento sem sal com A2 (Tabela 71).

Godoy et al. (2014), avaliando os índice relativo de clorofila e o estado nutricional do cafeeiro fertirrigado, obtiveram valores de 68,3 a 83,2 TRC em função dos estádios fenológicos da cultura. Já Motomiya et al. (2012), aferindo os valores de clorofila com medidor portátil em função da exigência do cafeeiro, obtiveram valores de 43,85 a 61,95 em função de doses de adubo nitrogenado.

No presente experimento, os resultados parecem indicar que os tratamentos com alga em geral reduziram as perdas de clorofila, sugerindo menor processo de degradação das mesmas. Baseado na análise mineral de folhas e raízes, a presença de extrato de algas, de certa forma, altera a relação Na^+/K^+ entre as raízes e parte aérea. Por mecanismos ainda pouco conhecidos, a aplicação do extrato de algas provocou diminuição na relação Na^+/K^+ das folhas, que possivelmente mitigou o efeito iônico do sódio e seus efeitos deletérios sobre a degradação de moléculas de clorofila.

Tabela 71. Teor de clorofila de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4 e 5.

Tratamentos	Épocas				
	1	2	3	4	5
Sal A1	85,1AB	78,4A	86,2A	61,9AB	91,6AB
Sal A2	92,6A	80,9A	63,7AB	48,7AB	59,2AB
Sal C	60,9BC	55,4A	44,7B	32,7B	45,4B
SS A1	66,6ABC	76,8A	92,1A	74,8A	77,8AB
SS A2	69,0ABC	71,4A	80,9A	79,4A	101,8A
SS C	49,6C	61,0A	34,9B	36,1B	52,3AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.8 Análises bioquímicas

4.2.8.1 Determinação do teor de proteínas solúveis totais (PST).

A avaliação do teor de proteínas solúveis em folhas é um indicador de referência para os resultados da atividade de vários sistemas enzimáticos. Nos experimentos de salinidade em cafeeiro, houve alterações na concentração de PST em função de agentes estressores aplicados.

A análise de variância complementada com teste de Tukey no presente delineamento experimental, as Tabelas 72 e 73 indicam que para ambos cultivares de café (Obatã e Catuaí 99) não houve diferença significativa na interação entre os tratamentos.

Tabela 72. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de proteína solúvel total ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	0,469	0,469	0,538	0,597	0,682	0,714	0,888
Sal A1	0,499	0,653	0,706	0,746	0,811	0,906	0,974
Sal A2	0,514	0,539	0,659	0,704	0,857	0,868	0,938
SS C	0,486	0,542	0,526	0,618	0,641	0,799	0,793
SS A1	0,475	0,599	0,656	0,704	0,736	0,828	0,872
SS A2	0,487	0,630	0,519	0,651	0,836	0,855	0,828

Tabela 73. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de proteína solúvel total ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	0,489	0,485	0,591	0,634	0,628	0,865	0,865
Sal A1	0,521	0,664	0,631	0,716	0,766	0,878	0,878
Sal A2	0,531	0,706	0,709	0,786	0,759	0,972	0,972
SS C	0,495	0,451	0,508	0,518	0,586	0,809	0,809
SS A1	0,479	0,550	0,546	0,665	0,714	0,838	0,838
SS A2	0,500	0,5962	0,617	0,713	0,721	0,944	0,944

Considerando-se a análise univariada do efeito do tratamento salino para o cv. Obatã (Tabela 74) observou-se diferença significativa ao final no ciclo ES1 (3ª coleta) e durante no ciclo ES2 (4ª, 5ª, 6ª e 7ª coletas). Entretanto, para o cv. Catuaí 99 no primeiro ciclo (2ª e 3ª coletas) houve diferença significativa (Tabela 75).

Tabela 74. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal	0,494	0,577	0,654A	0,711	0,794A	0,880A	0,933A
SS	0,483	0,590	0,567B	0,657	0,738B	0,827B	0,831B

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Tabela 75. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal	0,514	0,619A	0,643A	0,712	0,718	0,905	0,912
SS	0,491	0,532B	0,557B	0,632	0,673	0,887	0,895

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Considerando a análise univariada para os tratamentos com aplicação de extratos de alga (Tabela 76) observa-se que houve diferença significativa para a 3ª coleta (ES1) e 5ª coleta (ES2). Na Tabela 77, verificou-se diferença significativa em ES2 (4ª, 5ª, 6ª e 7ª coletas) para o cv. Catuaí 99, indicando que tratamentos com extratos de alga resultaram maiores teores de PST que os tratamentos controle. Em alguns casos A1 foi superior e em outros A2 foi superior. O cultivar Catuaí 99 apresentou maior sensibilidade que o cultivar Obatã aos tratamentos com extratos de alga para este parâmetro.

Tabela 76. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
C	0,478	0,540	0,561B	0,650	0,677C	0,833	0,840
A1	0,487	0,626	0,681A	0,725	0,774B	0,867	0,923
A2	0,501	0,584	0,589B	0,677	0,846A	0,861	0,883

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

Tabela 77. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
C	0,492	0,468B	0,549	0,576B	0,607B	0,807B	0,837B
A1	0,500	0,589A	0,589	0,690AB	0,740A	0,824B	0,858B
A2	0,516	0,663A	0,663	0,748A	0,712A	0,929A	0,958A

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Estes resultados confirmam que alterações bioquímicas são percebidas pelas plantas submetidas a ambientes com alto índice salino através de, por exemplo, variações no teor de proteínas solúveis totais (COSTA et al., 2003; RODRÍGUEZ-PÉREZ, 2006; LUNDE et al., 2007). Essas alterações podem afetar processos fisiológicos e metabólicos acarretando grande dano para o crescimento e desenvolvimento dos organismos vegetais.

Normalmente, sob estresse salino ocorre redução no teor de proteínas solúveis das plantas pela limitação da síntese proteica ou pela ativação do processo de proteólise (SILVEIRA et al., 2003; PARIDA e DAS, 2005). Em geral, as plantas acumulam reservas na forma de aminoácidos, amidas e proteínas solúveis e o conteúdo dessas moléculas são variáveis entre as espécies (MELONI et al. 2008; ESTEVES e SUZUKI, 2008).

Leonardo (2003), Tonin (2005) e Silva et al. (2012) demonstraram também em seus resultados que o alto índice salino interferiu no teor de proteínas solúveis totais em plantas de pimentão e jatobá respectivamente. Já pelo trabalho de Rolão (2010) plantas de cafeeiro (*c. arábica*) expostas a metais pesados, outro agente estressor, não apresentaram diferenças significativas para o teor de proteínas solúveis totais entre as doses aplicadas e seus controles. Dessa forma, autores como Sen et al (2002), Tester e Davenport 2003 e Mohammadkani e Heidari (2008) citam que há uma ampla gama de proteínas sintetizadas em resposta ao estresse salino, as quais podem também atuar na estabilização das membranas celulares e na sinalização sugerindo uma ação protetora contra os danos frente a esse agente estressor.

O presente resultado não esclareceu a interferência da salinidade e dos extratos de algas sobre os teores PST, apesar de ter sido detectado alguma alteração pontual neste parâmetro em função da salinidade.

4.2.8.2 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD)

Em condições de estresse salino e/ou hídrico, as respostas bioquímicas relacionadas às vias metabólicas das enzimas do sistema antioxidante como a superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) são bastante complexas. Sabe-se que um incremento na atividade dessas enzimas pode estar relacionado com a ativação das defesas antioxidativas para a desintoxicação de células e minimização dos efeitos gerados pelas espécies reativas de oxigênio (ASHRAF e HARRIS, 2004).

Em plantas submetidas a elevados índices salinos, dois componentes são responsáveis pela desordem nos processos metabólicos: um osmótico e outro iônico, onde o primeiro altera o balanço hídrico da planta, enquanto o segundo é responsável pelos efeitos sobre o desbalanceamento nutritivo e efeitos tóxicos dos íons Na^+ (LÄUCHLI & GRATTAN, 2007; MUNNS & TESTER, 2008), fatores que promovem a formação de EROs.

As Tabelas 78 e 79 apontam que tanto para o cv. Obatã quanto para Catuaí 99 não houve diferença significativa na interação entre os tratamentos.

Tabela 78. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas na atividade da enzima superóxido dismutase ($\text{U SOD } \mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	29,75	34,46	36,99	33,25	37,97	45,40	51,29
Sal A1	20,55	27,29	29,30	34,30	41,42	42,62	54,11
Sal A2	30,93	27,90	33,27	32,04	42,95	47,36	50,72
SS C	27,97	32,97	28,90	32,13	31,75	36,08	40,55
SS A1	21,34	24,92	27,88	32,88	33,25	33,09	40,97
SS A2	29,69	30,51	33,01	33,43	38,88	42,80	44,77

Tabela 79. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas na atividade da enzima superóxido dismutase (U SOD $\mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	30,53	30,01	32,59	37,04	41,32	43,20	50,82
Sal A1	20,78	21,83	25,01	33,21	40,23	50,32	51,25
Sal A2	22,26	29,34	36,09	38,08	43,91	48,12	49,83
SS C	31,80	30,74	29,88	31,14	34,93	40,90	45,06
SS A1	19,79	20,80	26,08	30,90	35,06	42,75	44,81
SS A2	23,28	29,61	32,14	36,16	36,63	39,15	44,51

Como a SOD é uma enzima pouco ativa em tecidos sadios (Broetto et al., 2002), pode-se atribuir sua maior atividade devido aos danos provocados pelo efeito iônico da salinidade. Os dados de análise univariada (Tabela 80), referente à cultivar Obatã, em resposta ao tratamento com a aplicação de NaCl apresentaram diferença estatística significativa no final do segundo ciclo (7ª coleta). Por outro lado, o cv. Catuaí 99 (Tabela 81) apresentou aumento da atividade da SOD, devido ao sal, já no início do 2º ciclo (a partir da 4ª coleta).

Em função da intensidade e durabilidade do período de estresse salino ocorrem perturbações no metabolismo das células vegetais e aumento nas concentrações de EROs, que podem danificar as células. Entretanto, a baixas concentrações, atuam como moléculas sinalizadoras de mecanismos, entre eles enzimas antioxidantes, que diminuem os efeitos gerados pelos estresses abióticos (PANG e WANG, 2008).

O acúmulo de sal no substrato durante os dois ciclos estresse levou as células a desequilíbrio osmótico e iônico, embora considerado leve, devido à baixa concentração de Na no tecido foliar na presença de extratos de algas. Essa condição, por sua vez, demonstrou incremento na atividade da SOD em ambos cultivares como mecanismo de defesa para preservar as plantas dos danos oxidativos.

Tabela 80. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) na atividade da enzima superóxido dismutase (U SOD $\mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal	27,08	29,88	33,19	33,20	40,78	45,12	52,04A
SS	26,34	29,47	29,93	32,81	34,63	37,32	42,10B

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

Tabela 81. Valores médios para tratamento salino (sal e sem sal) na atividade da enzima superóxido dismutase (U SOD $\mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal	24,52	27,06	31,23	36,11A	41,82A	47,21A	50,64A
SS	24,96	27,05	29,37	32,73B	35,54B	40,93B	44,79B

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

Quando avaliadas apenas as respostas para aplicação dos extratos de algas no cv. Obatã (Tabela 82) observa-se que não houve diferença significativa. Contudo, para o cv. Catuaí 99 (Tabela 83) foi verificada diferença significativa no 1ª ciclo (1ª, 2ª e 3ª coletas).

Tabela 82. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) na atividade da enzima superóxido dismutase (U SOD $\mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
C	20,95	26,10	28,59	33,59	37,33	37,85	47,54
A1	30,31	29,20	33,14	32,73	40,92	45,08	47,74
A2	28,86	33,71	32,95	32,69	34,86	40,74	45,92

Tabela 83. Valores médios para tratamentos com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) na atividade da enzima superóxido dismutase (U SOD $\mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
C	20,29A	21,31A	25,55A	32,06	37,64	46,53	48,03
A1	22,77A	29,47B	34,12B	37,12	40,27	43,64	47,17
A2	31,17B	30,38B	31,24B	34,09	38,13	42,05	47,94

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

Os resultados encontrados sinalizam que o cv. Catuaí 99 pode possuir melhor eficiência de resposta em termos de resposta antioxidativa que o do cv. Obatã, quando associado ao extrato de alga.

Raza et al. (2007) registraram a atividade de enzimas antioxidativas SOD, CAT e POX em resposta à aplicação exógena de glicinabetaína (osmólito compatível indutor de ação protetora das funções fisiológicas de células vegetais sob estresses abióticos) destacando importante função na adaptação das plantas ao estresse salino. Isso indica que outras moléculas, dentre elas a glicinabetaína, pode modular a atividade antioxidante de enzimas em plantas com diferentes níveis de tolerância ao sal.

Deste modo, a ativação coordenada de ambos os mecanismos de defesa enzimática e não enzimática para a desintoxicação das EROs é de suma importância para permitir que as plantas tolerem eficientemente o estresse salino. Observado também por Abd El-Baky et al. (2008) que através da aplicação exógena de extrato de algas pode-se prover a proteção contra os danos oxidativos pelo incremento de compostos do sistema antioxidante os quais estão envolvidos como um dos fatores responsáveis pela tolerância a salinidade em plantas.

Como demonstrado por Partelli et al. (2009, 2010), agentes estressores como o déficit hídrico e baixas temperaturas afetam componentes enzimáticos em cafeeiros, possivelmente pelas características morfofisiológicas distintas, como acontece entre as espécies *C. arabica* e *C. canephora*.

4.2.8.3 Análise da atividade da enzima catalase (CAT)

Os resultados obtidos pela interação entre salinidade e extratos de algas para a atividade da enzima catalase apresentaram para o cv. Obatã (Tabela 84) diferença significativa em ES1 (3ª coleta) e em ES2 (4ª, 6ª e 7ª coletas). De forma que os tratamentos controle, independentemente do tratamento salino apresentaram maiores atividades de catalase que os tratamentos com extratos de alga na quarta coleta. No segundo ciclo houve redução na atividade de catalase e maiores valores no tratamento controle apenas na interação com tratamentos salinos. Indicando que os tratamentos de alga de alguma forma estimularam a redução na atividade de catalase em relação ao controle.

Para o cv. Catuaí 99 (Tabela 85) a interação indicou diferença significativa na 3ª coleta (ES1) e na 6ª (ES2). Neste cultivar os tratamentos controle apresentaram menores atividades de catalase que as plantas tratadas com extrato de alga quando submetidos a estresse salino moderado. Isto indica que os cultivares apresentam sensibilidade e respostas diferentes para CAT quando submetidos aos tratamentos com alga associado à salinidade.

A diferença pode ser apoiada pela alta condutividade elétrica ao qual as plantas foram submetidas, de aproximadamente 7,1 dS m⁻¹ para o cv. Obatã e 8,1 dS m⁻¹ para o cv. Catuaí 99 no 1º ciclo e 7,1 dS m⁻¹ para Obatã e 7,5 dS m⁻¹ para Catuaí 99 no 2º ciclo. Em altos níveis de salinidade os vegetais apresentam limitações metabólicas que limitam a capacidade de resposta antioxidativa. Dessa forma as plantas estendem seus mecanismos bioquímicos e moleculares para suportar o estresse salino através de produtos e mecanismos alternativos que atuam de forma integrada (IVENGAR e REDDY, 1996; MELONI et al., 2004 SILVA et al., 2009). A redução da atividade da CAT e APX também é reportada por Rizhsky et al. (2002). Em adição, Broetto et al. (2002) discutem que a atividade da CAT pode ser reduzida em função de alterações estruturais no complexo proteico, causado pelo aumento da concentração salina. Todas estas observações corroboram os resultados obtidos em plantas de café (aos dois cultivares), onde houve diminuição da atividade da CAT, notadamente ao final do segundo ciclo, fato não observado para as plantas sem sal.

Tabela 84. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas atividade da enzima catalase (Kat $\mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	0,018	0,020	0,026ABC	0,054A	0,036	0,030A	0,024A
Sal A1	0,014	0,015	0,029AB	0,030B	0,028	0,017C	0,016BC
Sal A2	0,015	0,018	0,032A	0,035B	0,037	0,024B	0,011C
SS C	0,018	0,020	0,024BC	0,033B	0,026	0,023B	0,020AB
SS A1	0,011	0,010	0,020C	0,024CD	0,023	0,022BC	0,023A
SS A2	0,018	0,017	0,023BC	0,019D	0,025	0,023BC	0,016BC

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Tabela 85. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas atividade da enzima catalase (Kat $\mu\text{g prot}^{-1}$) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	0,013	0,014B	0,025	0,025	0,030	0,014C	0,013
Sal A1	0,013	0,020 A	0,020	0,022	0,040	0,031AB	0,013
Sal A2	0,014	0,019AB	0,018	0,026	0,042	0,031A	0,014
SS C	0,013	0,016AB	0,019	0,021	0,021	0,019C	0,021
SS A1	0,010	0,014B	0,016	0,024	0,024	0,021C	0,022
SS A2	0,011	0,014B	0,016	0,021	0,022	0,022C	0,021

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Analisando a interação entre essas duas variáveis em plantas de cafeeiro das cultivares Obatã e Catuaí 99 foi possível identificar que o incremento da atividade da CAT foi maior ao final do primeiro ciclo do que ao final segundo ciclo. O trabalho de Deuner et al. (2011) apontou incremento na atividade da CAT em relação ao controle, a partir de 9 dias de irrigação e redução aos 21 dias nas plantas de cafeeiro que estavam sob suspensão total da irrigação. Também conforme o trabalho de Rolão (2010)

plantas de cafeeiro submetidas a diferentes concentrações de Cd tiveram a atividade da enzima CAT significativamente diferentes do controle no primeiro período experimental, já para um segundo observaram-se menores atividades em relação ao controle.

Também pelo trabalho de Deuner et al. (2011) é observado que quando as plantas de cafeeiro (*C. arábica*) não estavam sob a imposição do agente estressor (deficiência hídrica) a atividade de todas as enzimas do sistema antioxidativo permaneceram constante ao longo do período experimental. Enquanto que para as demais plantas a DH promoveu aumentos a partir da intensificação da imposição do mesmo. Resultados que corroboram este trabalho à medida que foi demonstrado que houve uma resposta mais rápida para ativação destas enzimas após aplicação de NaCl a partir do ciclo ES1 e redução no ciclo ES2.

4.2.8.4 Teor de Prolina

Uma estratégia metabólica utilizada pelos vegetais para manutenção do balanço das EROs e proteção contra estresses abióticos, inclui a ação de moléculas não enzimáticas e o acúmulo de solutos compatíveis como a prolina (XU et al., 2010). Este acúmulo é frequente em diversas espécies e pode ser referente ao incremento da atividade hidrolítica de proteínas motivado por danos metabólicos (MORAIS et al., 2007) ou pela diminuição da atividade de prolina desidrogenases (PARIDA e DAS, 2005) em função do excesso de íons Na^+ Cl^- no meio ou pela síntese de compostos relacionados aos mecanismos que induzem ao aumento desses solutos compatíveis no meio intracelular (CHANDRASHEKAR e SANDHYARANI, 1996; ALVES e SETTER, 2004; DA SILVA et al., 2006; BRITO et al., 2008).

Nos experimentos com café, a salinidade induziu acréscimo na concentração de prolina, embora o incremento tenha sido observado apenas no segundo ciclo (5^a, 6^a e 7^a coletas) para o cv. Obatã (Tabela 86 e 87). Em relação ao cv. Catuaí 99 houve incremento de prolina para ambos ciclos de ES (Tabela 88 e 89). Os resultados indicam que as plantas submetidas a estresse salino, independentemente dos tratamentos com extratos de algas, apresentaram maiores teores de prolina que as plantas sem NaCl para ambos os cultivares.

Neste experimento, para o controle salino do cv. Obatã houve acréscimo ao final do período experimental em torno de 5 vezes maior que o valor inicial,

ou seja, de 1,108 para 6,175 μM prolina g^{-1} MF. Para o cv. Catuaí 99 houve incremento menor, de 2,659 para 5,674 μM prolina g^{-1} MF. Tal resposta também foi encontrada em plantas de feijão de corda por Costa et al. (2003) e em cultivares de arroz quando submetidos a 75 mM de NaCl por Lima et al. (2004).

Quando avaliada a interação dos tratamentos salinos com extratos de algas, não houve diferença significativa para os tratamentos de alga na condição sem NaCl em ambos os cultivares. Quando se compara os tratamentos salinos combinados a extratos de algas, o teor de prolina encontrado foi maior nas plantas com tratamentos de algas em relação ao controle antes do tratamento salino (coleta 1) e teve incremento superior no tratamento controle que nos tratamentos com extratos de alga A1 e A2, no decorrer dos ciclos de ES, para ambos cultivares.

Tabela 86. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de prolina (μM prolina g^{-1} MF) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	1,108	3,271	5,995	5,665	7,711A	4,252A	8,988A
Sal A1	1,714	2,623	3,231	3,355	3,006BC	5,031A	6,175B
Sal A2	1,370	2,669	2,899	3,908	5,041B	4,949A	7,097B
SS C	0,829	2,828	3,218	3,125	3,047BC	3,006AB	2,011C
SS A1	1,487	2,180	2,031	2,203	2,128C	1,186B	1,465C
SS A2	1,612	1,951	1,919	2,561	1,980C	1,822B	1,287C

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Tabela 87. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de prolina (μM prolina g^{-1} MF) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Obatã em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
C	0,968B	3,049	4,078A	4,395A	5,379A	3,629	5,499 A
A1	1,601A	2,401	2,631B	2,778B	2,567B	3,108	3,820B
A2	1,491A	2,310	2,409B	3,234AB	3,511B	3,385	4,192B

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Tabela 88. Valores médios para interação entre tratamento salino e aplicação de extratos de algas marinhas no teor de prolina (μM prolina g^{-1} MF) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
Sal C	2,659	2,776B	4.604	5,879A	6,978 A	7,303 A	8,566A
Sal A1	1,825	3,539A	2,819	2,879B	3,121B	4,797AB	5,674B
Sal A2	2,137	3,129B	2,169	4,692AB	5,740A	4,440B	6,070B
SS C	2,283	2,107B	2,690	2,956B	1,622B	2,651B	1,713C
SS A1	1,696	3,075B	2,363	2,751B	2,251B	2,726B	1,858C
SS A2	2,151	2,860B	2,844	3,496B	2,711B	2,873B	1,731C

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

Tabela 89. Valores médios para tratamento com extratos de algas marinhas (C, A1 e A2) no teor de prolina (μM prolina g^{-1} MF) em folhas de plantas de cafeeiro cv. Catuaí 99 em sete épocas de amostragem. O ciclo ES1 é representado nas épocas 1, 2 e 3 e ES2 nas épocas 4, 5, 6 e 7.

Tratamentos	Coletas						
	1	2	3	4	5	6	7
C	2,471A	2,441B	3,647	4,402A	4,300A	4,977	5,140A
A1	1,760B	4,307A	2,506	2,815B	2,686B	3,762	3,766B
A2	2,144AB	2,995B	2,591	4,094A	4,226A	3,657	3,901AB

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5%.

O acúmulo de prolina em folhas de cafeeiro também evidencia uma possível alteração metabólica. Porém, o aumento no conteúdo desses solutos orgânicos não descarta a ocorrência do ajustamento osmótico. Os resultados relacionados aos conteúdos de proteínas solúveis totais e prolina podem ser atribuídos pela síntese de proteínas promovida como resposta ao estresse salino. Entretanto, no trabalho de Cesar et al. (2010), plantas de cafeeiro sob restrição luminosa tiveram uma redução para o teor de prolina, embora o acúmulo de proteínas solúveis totais e prolina possam estar relacionados ao ajustamento osmótico do cafeeiro devido à seca fisiológica provocada em decorrência de distúrbios metabólicos promovidos pela salinidade.

4.2.9 Análises biométricas

A época 1 se refere a avaliações biométricas efetuadas antes dos ciclos de ES. A época 2 se refere às avaliações feitas ao final de ES1 e a época 3 ao final de ES2.

4.2.9.1 cv. Obatã

4.2.9.1.1 Altura de plantas

Houve diferença significativa na interação entre tratamentos salinos e extratos de algas na altura de plantas na época 2 (ES1). Plantas do tratamento controle apresentaram menor altura que as do tratamento A2 na condição sem salinidade (Tabela 90).

Tabela 90. Altura de plantas (cm) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	45,0A	51,7AB	60,3A
Sal A2	51,0A	50,7AB	56,7A
Sal C	47,0A	50,7AB	52,8A
SS A1	45,0A	52,0AB	59,3A
SS A2	51,0A	54,3A	55,7A
SS C	47,0A	44,7B	51,7A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.2 Comprimento de ramos

Não houve diferença significativa na interação entre tratamentos salinos e extratos de algas no comprimento de ramos nas épocas avaliadas (Tabela 91).

Tabela 91. Comprimento de ramos (cm) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	94,5A	139,7A	211,7A
Sal A2	111,8A	139,3A	181,2A
Sal C	95,3A	120,7A	144,0A
SS A1	94,5A	152,3A	193,0A
SS A2	111,8A	127,3A	136,7A
SS C	95,3A	97,3A	139,3A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.3 Número de folhas

Houve diferença significativa na interação entre os tratamentos salinos e com extratos de algas para o número de folhas apenas na terceira época de avaliação (Tabela 92). O tratamento de alga A1 apresentou maior número de folhas que o controle na condição de salinidade.

Tabela 92. Números de folhas de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	52,7A	67,7A	133,7A
Sal A2	62,3A	66,0A	99,3AB
Sal C	48,7A	56,0A	73,3B
SS A1	52,7A	74,0A	105,7AB
SS A2	62,3A	68,7A	81,0B
SS C	48,7A	50,0A	75,7B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.4 Área foliar

Houve diferença significativa na interação entre tratamentos salinos e extratos de algas para a área foliar na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 93). Na segunda época o tratamento controle difere do tratamento de alga A1 na condição sem sal e na terceira época na condição salina.

Tabela 93. Área foliar (cm²) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	1970,3A	2704,0A	4006,3A
Sal A2	2279,1A	2335,7AB	3330,4AB
Sal C	1999,2A	2216,7AB	2111,2B
SS A1	1970,3A	2811,8A	3719,6A
SS A2	2279,1A	2429,9AB	3123,1AB
SS C	1999,2A	1775,8B	2548,8AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.5 Massa fresca de folhas

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa fresca de folhas na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 94). O tratamento de algas A1 apresentou maior massa fresca de folhas que o controle na condição sem salinidade nas épocas 2 e 3. Na condição salina da época 3 ambos tratamentos de algas A1 e A2 apresentaram maior massa fresca de folhas que o controle.

Tabela 94. Massa fresca de folhas (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	38,4A	67,7AB	106,0A
Sal A2	54,3A	58,9ABC	84,6ABC
Sal C	48,6A	53,4BC	49,3D
SS A1	38,4A	73,5A	100,9AB
SS A2	54,3A	62,8ABC	73,4BCD
SS C	48,6A	47,0C	66,7CD

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.6 Massa fresca de caules

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa fresca de ramos na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 95). Ambos os tratamentos de algas apresentaram massas frescas de caules superiores ao controle na segunda época na condição sem salinidade e na terceira época A1 e A2 resultaram maiores massas frescas de caule independentemente da condição salina.

Tabela 95. Massa fresca de caule (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	28,5A	33,5AB	58,1A
Sal A2	21,6A	33,2AB	48,7AB
Sal C	19,3A	26,9BC	33,4C
SS A1	28,5A	38,4A	58,2A
SS A2	21,6A	33,8AB	42,8BC
SS C	19,3A	22,8C	37,4BC

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.7 Massa fresca de raízes

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa fresca de raízes na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 96). O tratamento de alga A1 apresentou maior massa fresca de raízes superior ao controle na segunda época na condição sem salinidade e na terceira época independentemente da condição salina.

Tabela 96. Massa fresca de raiz (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	19,6A	24,0AB	55,7A
Sal A2	17,0A	24,2AB	42,6AB
Sal C	15,2A	15,5B	22,6B
SS A1	19,6A	34,6A	55,1A
SS A2	17,0A	23,4AB	39,1AB
SS C	15,2A	13,7B	22,0B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.8 Massa seca de folhas

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa seca de folhas na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 97). O tratamento de alga A1 apresentou maior massa seca de folhas que o controle na segunda época na condição sem salinidade e na terceira época independente da condição salina.

Tabela 97. Massa seca de folhas (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	12,0A	19,2AB	32,6A
Sal A2	13,3A	16,5ABC	26,4AB
Sal C	12,3A	15,8BC	17,3B
SS A1	12,0A	21,5A	32,1A
SS A2	13,3A	18,1ABC	23,8AB
SS C	12,3A	13,3C	20,1B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.9 Massa seca de caules

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa seca de caules na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 98). Os tratamentos de alga A1 e A2 apresentaram maior massa seca de folhas que o controle na segunda época na condição sem salinidade e na terceira época o tratamento A1 foi superior ao controle independentemente da condição salina.

Tabela 98. Massa seca de caule (g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	5,1A	11,3AB	23,9A
Sal A2	5,8A	9,7BC	19,7AB
Sal C	5,6A	8,9BC	13,3B
SS A1	5,1A	12,6A	23,6A
SS A2	5,8A	10,8AB	17,3AB
SS C	5,6A	7,7C	13,7B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.1.10 Massa seca de raízes

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa seca de raízes na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 99). O tratamento de alga A1 sem salinidade apresentou maior massa seca de raízes que os controles salinos e sem salinidade na época 2. E na época 3 os tratamentos de alga A1 apresentaram maior massa seca de raízes que os controles independentemente da condição salina.

Tabela 99. Massa seca de raiz(g) de cafeeiro cv. Obatã. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	3,8A	7,2AB	17,4A
Sal A2	3,6A	7,7AB	13,2AB
Sal C	3,3A	5,0B	8,3BC
SS A1	3,8A	9,6A	17,1A
SS A2	3,6A	7,5AB	12,3ABC
SS C	3,3A	4,6B	6,9C

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2 cv. Catuaí 99

4.2.9.2.1 Altura de planta e comprimento de ramos

Não houve diferença significativa na interação entre tratamentos salinos e extratos de algas em altura de planta e comprimento de ramos nas épocas avaliadas (Tabelas 100 e 101).

Tabela 100. Altura de planta (cm) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	53,0A	53,7A	54,3A
Sal A2	52,3A	50,7A	52,0A
Sal C	49,0A	46,0A	50,0A
SS A1	53,0A	48,7A	57,7A
SS A2	52,3A	48,0A	54,7A
SS C	49,0A	51,0A	60,0A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 101. Comprimento de ramos (cm) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	112,3A	138,0A	162,3A
Sal A2	87,0A	122,3A	156,3A
Sal C	110,3A	119,0A	169,0A
SS A1	112,3A	155,0A	214,7A
SS A2	87,0A	153,0A	146,7A
SS C	110,3A	101,0A	149,7A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.2 Número de folhas

Houve diferença significativa na interação entre os tratamentos salinos e com extratos de algas para o número de folhas na segunda e terceira épocas de avaliação (Tabela 102). O tratamento de alga A1 submetido ao tratamento salino apresentou maior número de folhas que o controle na condição sem salinidade na segunda época. E na terceira época o tratamento A1 sem salinidade apresentou maior números de

folhas que os controles independentemente do tratamento salino e que o tratamento A2 sem salinidade.

Tabela 102. Números de folhas de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	65,3A	82,7A	98,0AB
Sal A2	53,0A	62,0AB	91,7AB
Sal C	52,3A	57,3AB	84,0B
SS A1	65,3A	73,3AB	121,3A
SS A2	53,0A	79,0AB	80,0B
SS C	52,3A	48,7B	78,3B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.3 Área foliar

Houve diferença significativa na interação entre tratamentos salinos e extratos de algas para a área foliar na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 103). Na segunda época o tratamento A1 apresenta maior área foliar que os demais tratamentos salinos e na condição sem salinidade o tratamento controle apresentou área foliar inferior aos tratamentos de alga A1 e A2. Na terceira época A1 apresenta resultado superior ao controle na condição sem salinidade.

Tabela 103. Área foliar (cm²) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	2484,5A	3369,6A	3156,9AB
Sal A2	2203,6A	2344,0BC	2872,0B
Sal C	2291,8A	2096,0BC	2633,5B
SS A1	2484,5A	2915,1AB	3986,7A
SS A2	2203,6A	2892,1AB	2997,0AB
SS C	2291,8A	1940,5C	2527,9B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.4 Massa fresca de folhas

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa fresca de folhas na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 104). Na época 2 o tratamento de algas A1 sob salinidade apresentou maior massa fresca de folhas que ambos controles independentemente do tratamento salino. Na época 3 ambos tratamentos A1 apresentaram maiores massas frescas de folhas superiores aos controles salinos e sem sal.

Tabela 104. Massa fresca de folhas (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	59,7A	81,1A	84,4AB
Sal A2	53,9A	60,0ABC	76,6ABC
Sal C	53,7A	55,9BC	54,0C
SS A1	59,7A	76,1AB	101,4A
SS A2	53,9A	75,1AB	78,7ABC
SS C	53,7A	50,2C	66,0BC

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.5 Massa fresca de caules

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa fresca de ramos na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 105). O tratamento de algas A1 apresentou massa fresca de caule superior a A2 e controle na segunda época na condição sem salinidade. Na terceira época o tratamento A1 sem salinidade resultou maior massa fresca de caule que o controle da condição salina.

Tabela 105. Massa fresca de caule (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	26,7A	43,9A	47,0AB
Sal A2	23,6A	31,2B	43,3AB
Sal C	25,4A	28,3B	34,6B
SS A1	26,7A	38,3AB	54,2A
SS A2	23,6A	37,2AB	49,8AB
SS C	25,4A	26,9B	40,5AB

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.6 Massa fresca de raízes

Não houve diferença significativa na interação entre tratamentos salinos e extratos de algas em massa fresca de raízes nas épocas avaliadas (Tabela 106).

Tabela 106. Massa fresca de raiz (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	23,4A	34,1A	59,2A
Sal A2	20,4A	21,2A	53,2A
Sal C	15,1A	17,4A	35,9A
SS A1	23,4A	36,2A	52,3A
SS A2	20,4A	40,9A	52,0A
SS C	15,1A	15,8A	38,8A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.7 Massa seca de folhas

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa seca de folhas na segunda e terceira épocas avaliadas (Tabela 107). Ambos os tratamentos com algas resultaram maiores massas secas de folhas

que o controle na condição sem salinidade da segunda época. O tratamento de alga A1 apresentou maior massa seca de folhas que o controle na segunda época na condição salina e na terceira época A1 sem salinidade resultou maiores massas frescas de folhas que os controles, independentemente da condição salina.

Tabela 107. Massa seca de folhas (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	15,4A	23,0A	25,6AB
Sal A2	13,9A	16,7ABC	23,6AB
Sal C	13,8A	15,3BC	18,5B
SS A1	15,4A	21,0AB	33,3A
SS A2	13,9A	21,5AB	26,1AB
SS C	13,8A	13,7C	21,0B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.8 Massa seca de caule

Não houve diferença significativa na interação entre tratamentos salinos e extratos de algas em massa seca de caule nas épocas avaliadas (Tabela 108).

Tabela 108. Massa seca de caule (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	6,2A	13,6A	19,2A
Sal A2	6,5A	10,4A	17,5A
Sal C	6,8A	10,1A	13,8A
SS A1	6,2A	12,1A	21,3A
SS A2	6,5A	12,3A	20,9A
SS C	6,8A	9,2A	16,6A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.9.2.9 Massa seca de raízes

A interação entre tratamentos salinos e extratos de algas apresentou diferença estatística para massa seca de raízes apenas na segunda época avaliada (Tabela 109). Na época 2 o tratamento de alga A2 sem salinidade apresentou maior massa seca de raízes que os tratamentos A2 sob salinidade e que ambos tratamentos controle salino e sem salinidade.

Tabela 109. Massa seca de raiz (g) de cafeeiro cv. Catuaí 99. Interação entre tratamentos salinos e aplicação de extratos de algas em diferentes épocas de avaliação.

Tratamentos	Épocas		
	1	2	3
Sal A1	4,4A	8,6AB	17,5A
Sal A2	4,0A	5,9B	14,4A
Sal C	3,3A	4,7B	7,9A
SS A1	4,4A	8,5AB	15,8A
SS A2	4,0A	10,4A	14,1A
SS C	3,3A	4,5B	11,4A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

5 DISCUSSÃO

5.1 Experimento 1 (DH)

5.1.1 Potencial hídrico foliar (PHF)

Os diferentes tratamentos de lâminas de irrigação apresentaram diferenças significativas no PHF para ambos os cultivares com redução gradual em PHF entre os D3 (100% da NHC) e D2 (50% da NHC) e ainda mais comparados a D1 (25% da NHC) ao longo de cada um dos 3 ciclos de DH, independentemente do tratamento com alga. De tal modo, os efeitos dos tratamentos de irrigação e dos ciclos de irrigação constatados no PHF são correlacionáveis aos valores de tensão de água no solo e podem ser visualizados na Figura 14.

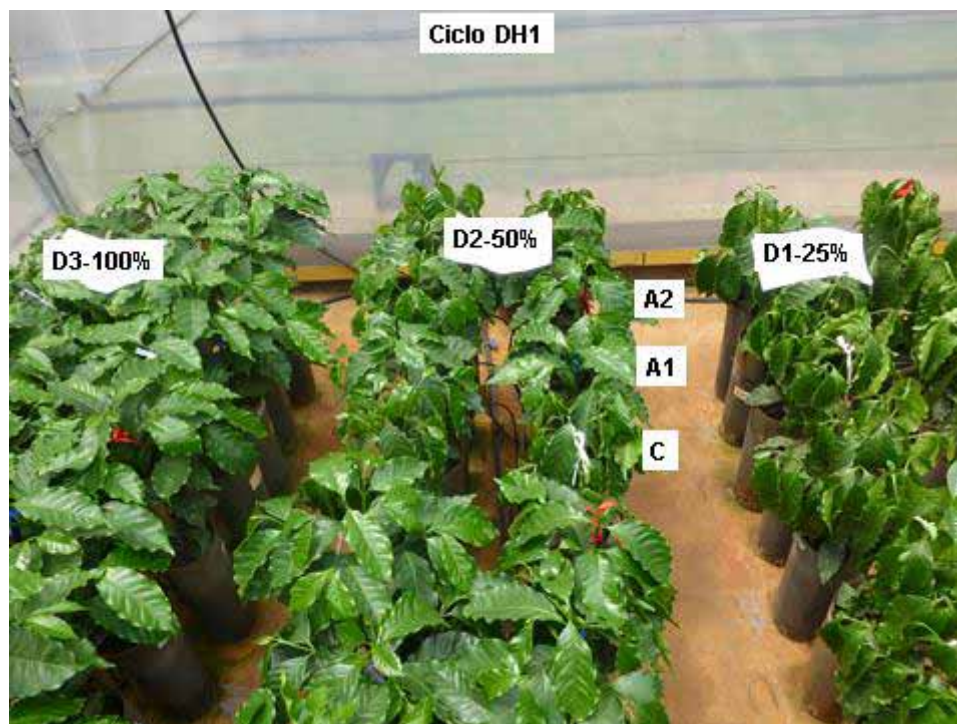


Figura 14. Aspecto do experimento ao final do ciclo DH1. Com o conjunto de plantas à direita para os tratamentos D1-25%NHC, ao centro D2-50%NHC e à esquerda para D3-100% NHC. Em fitas azuis A1, vermelhas A2 e brancas C. Cultivar Obatã nas linhas à direita e Catuaí 99 nas linhas à esquerda.

Também é possível relacionar os efeitos dos tratamentos no PHF aos resultados obtidos nos parâmetros de trocas gasosas. Em ambos cultivares os tratamentos com maior restrição hídrica (D1 e D2) sofreram reduções significativas na assimilação líquida de carbono (A) e na condutância estomática (g_s) na concentração interna de CO_2 (C_i) e na transpiração (E) nos finais dos ciclos de DH. Este resultado indicam que restrições hídricas severas limitaram o metabolismo da planta, ocasionando fechamento estomático visando diminuir perdas por transpiração, comprovado pela redução em (g_s e E) e conseqüente redução em (A).

É importante destacar que foi observado diferença significativa no PHF entre os tratamentos de alga e o controle na época 6 (final de DH2) para a cultivar Catuaí 99 sob restrição hídrica no tratamento D1 (Figura 15). Estes efeitos podem ser correlacionados com os principais parâmetros de trocas gasosas os quais responderam de forma similar. Assim, o efeito da aplicação de extratos de alga à luz dos resultados, favorecem algum mecanismo de ajustamento osmótico nas plantas tratadas de acordo com o cultivar. Spann e Little (2011) obtiveram resultados diferentes para trocas gasosas em

citrus tratados com extratos de algas, mesmo que os resultados de PHF tenham sido afetados pela DH.

Apesar do cv. Obatã ser mais sensível à seca (FAZUOLI, 2012), as plantas do presente experimento não apresentaram diferenças significativas em função do uso de extratos de algas quando comparadas ao cv. Catuaí 99 em relação aos parâmetros de trocas gasosas. Provavelmente por se tratar de um cultivar lançado em 2000 (mais recente) apresentando maior segregação e maior variabilidade que interfere nos resultados.



Figura 15. Aspecto de plantas de café que receberam os tratamentos na época 6 do ciclo DH2, a planta controle apresenta murcha pronunciada.

5.1.2 Teor relativo de clorofila, análise do tecido vegetal e trocas gasosas

Não foram encontradas diferenças estatísticas para os valores de TRC (teor relativo de clorofila) independentemente dos tratamentos de cultivares, lâminas ou extratos de algas.

Os resultados das análises foliares constataram maiores teores de K^+ e Na^+ nas plantas tratadas com extrato de algas para D1 e D2, e inferiores em D3, independentemente do tratamento do cultivar. Estes cátions estão envolvidos nos mecanismos de ajustamento osmótico e explicam as diferenças obtidas em PHF e trocas gasosas nas plantas tratadas com extratos de alga sob restrição hídrica.

Foram obtidas diferenças relevantes entre as interações e os tratamentos de deficiência hídrica para os parâmetros de trocas gasosas. Os tratamentos D3

apresentaram maiores valores para A , gs , E e menores para Ci quando comparados aos tratamentos D1 e D2 durante diferentes épocas de avaliação para ambas cultivares (Figura 16).

Os tratamentos com extratos de algas apresentaram A , gs e E superiores ao controle na época 7 (início de DH3) para cv. Obatã, não se observaram diferenças em Ci . Para cv. Catuaí 99, não se verificaram diferenças em gs . O tratamento A2 apresentou maiores A e E e menor Ci na época 6 (DH2), enquanto o tratamento A1 apresentou maior A e menor Ci na época 9 (DH3).

As alterações observadas nos parâmetros de trocas gasosas estão possivelmente correlacionadas ao menor crescimento de área foliar nas plantas dos tratamentos D1 e D2 comparadas a D3, conforme resultados nas avaliações de dados biométricos.

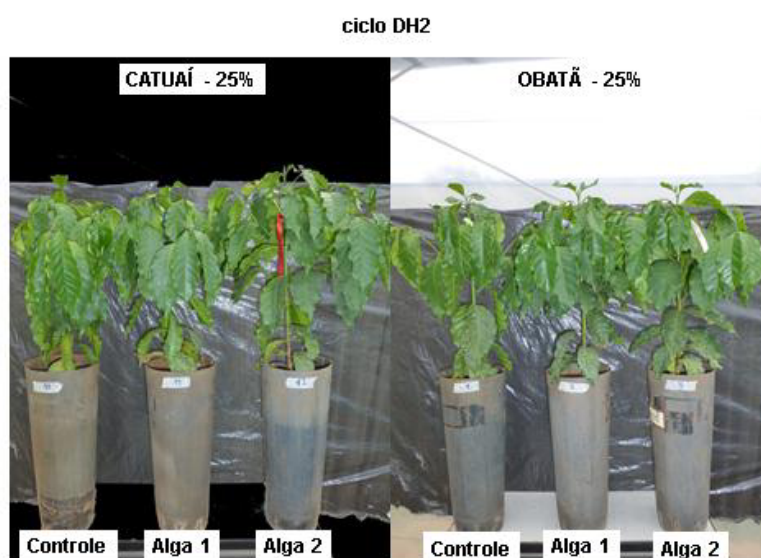


Figura 16. Tratamento D1 na época 6. Plantas controle apresentam murcha parcial e menor crescimento que plantas que receberam extratos de algas.

5.1.3 Análises dos componentes principais (PCA) para os parâmetros biométricos

5.1.3.1 Cultivares

Através da análise de componentes principais para os cultivares Obatã (V1) e Catuaí 99 (V2) (Figura 17), utilizando todas as variáveis de parâmetros biométricos (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes) avaliados se

verifica heterogeneidade na dispersão dos dados, indicando que as causas de variação dos dados não podem ser associados aos cultivares.

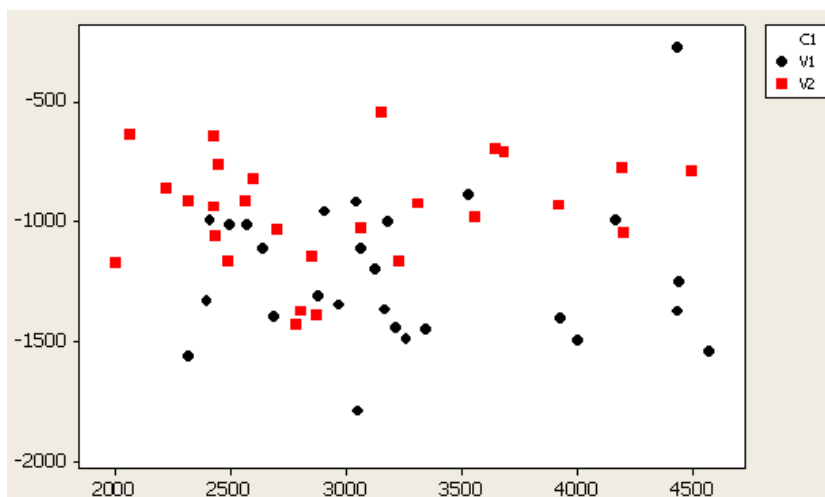


Figura 17. Análise de componentes principais por cultivares. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. V1 e V2 representam os cv. Obatã e Catuaí 99, respectivamente.

5.1.3.2 Lâminas de irrigação

Através da análise de componentes principais para os tratamentos de lâminas de irrigação D1 - 25% da NHC, D2 - 50% da NHC e D3 - 100% da NHC (Figura 18), utilizando todas as variáveis de parâmetros biométricos avaliados (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes) se verifica uniformidade na dispersão dos dados (pontos verdes à direita, vermelhos mais ao centro e pretos à esquerda) indicando que as causas de variação dos dados podem estar associadas aos tratamentos de lâminas de irrigação.

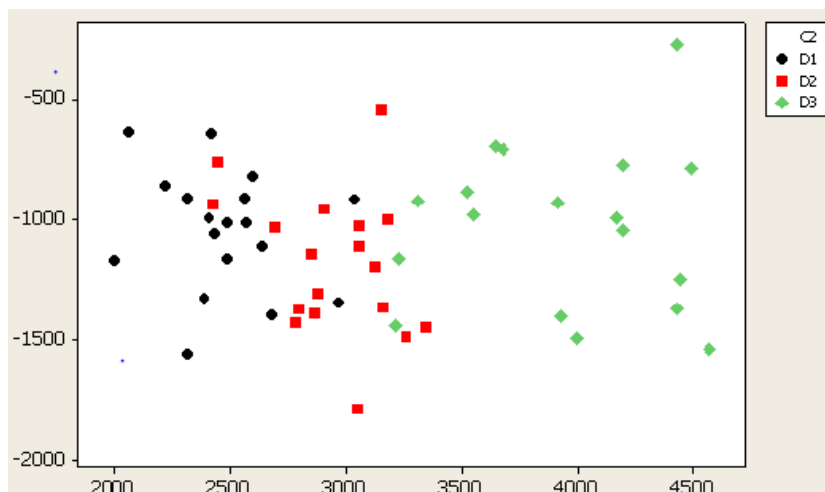


Figura 18. Análise de componentes principais por lâminas de irrigação. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. D1, D2 e D3 representam as lâminas de irrigação de 25, 50 e 100 % da NHC, respectivamente.

A análise de componentes principais para os tratamentos de lâminas de irrigação D1- 25% da NHC, D2 – 50% da NHC e D3 – 100% da NHC (Figura 19), permite identificar que o parâmetro área foliar foi o mais relevante na variação dos dados de lâminas entre todas as variáveis biométricas avaliadas (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes), para os três ciclos de deficiência hídrica (DH).

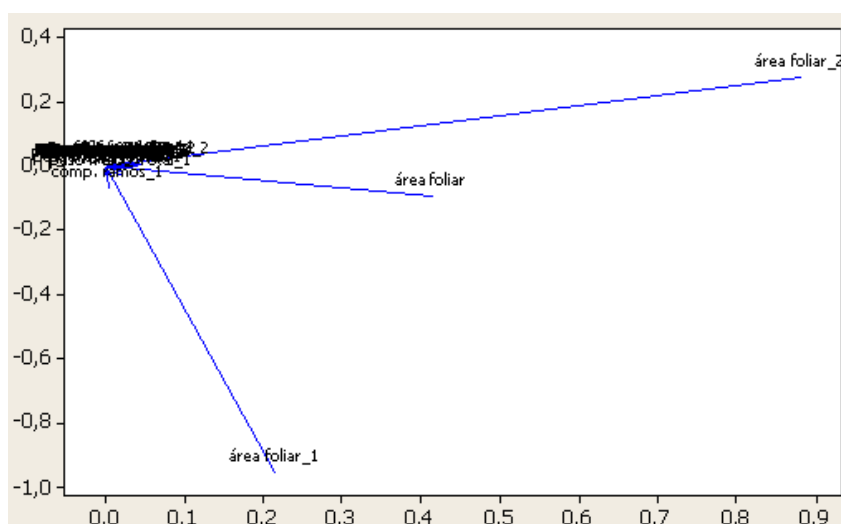


Figura 19. Análise de componentes principais por lâminas de irrigação. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. Onde, o Ciclo DH1 é representado em área foliar; o ciclo DH2 é representado em área foliar 1 e o Ciclo DH3 é representado em área foliar 2.

5.1.3.3 Tratamentos com extratos de algas

A análise de componentes principais para os tratamentos com extratos de algas *Ascophyllum nodosum* Líquido (A1); *A. nodosum* + *Lithothamnium Calcareum* sólidos (A2) e Controle (C) (Figura 20), utilizando todas as variáveis de parâmetros biométricos (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes) verificou heterogeneidade na dispersão dos dados, indicando que as causas de variação dos dados não podem ser associadas aos tratamentos com algas.

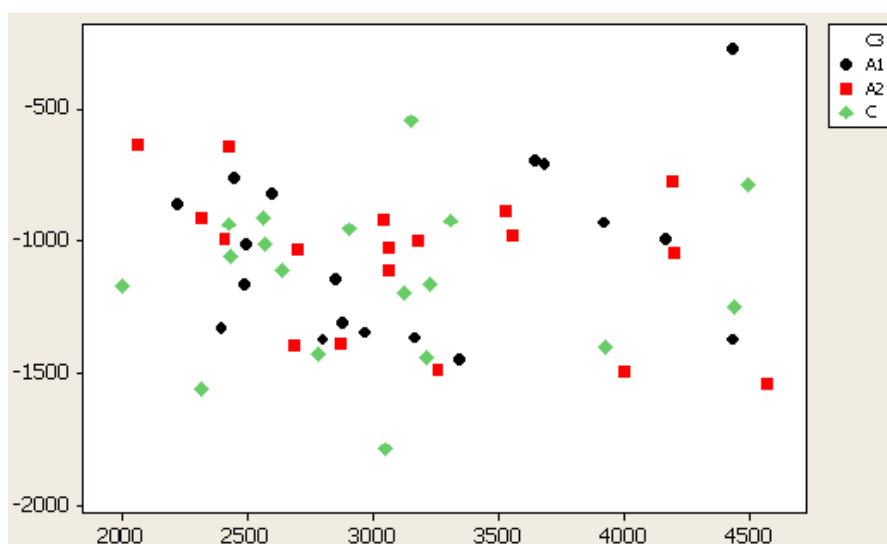


Figura 20. Análise de componentes principais por tratamento de extrato de algas. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente.

As análises de componentes principais para os parâmetros biométricos não permitiram observar diferenças relevantes entre cultivares e tratamentos de algas. E permitiram observar diferenças significativas para os tratamentos de lâminas, marcadamente para o parâmetro de área foliar. Plantas sob D3 apresentaram maiores áreas foliares que D2 e estas maiores que D1 e podem ser visualizadas na Figura 21.



Figura 21. Aspecto geral do experimento na época 9 para o tratamento D1-25% NHC, D2-50% NHC e D3-100% NHC com respectivo gradiente de turgescência.

5.2 Experimento 2 (ES)

5.2.1 Potencial hídrico foliar e trocas gasosas

As plantas dos tratamentos salinos apresentaram diferenças significativas no potencial hídrico foliar para ambos cultivares. Além da redução do PHF nos tratamentos salinos, houve também redução no segundo ciclo ES2, independentemente do tratamento com extratos alga. Considerando que a tensão de água no solo se manteve em capacidade de campo, as diferenças em PHF não podem ser associadas a problemas de deficiência hídrica, mas apenas ao efeito da salinidade. Da mesma forma foram encontradas diferenças significativas nas avaliações de trocas gasosas para (A , g_s , C_i e E) apenas entre os tratamentos salinos, independentemente dos tratamentos de algas e das cultivares. No trabalho de Spann e Little (2011) também não foram observadas diferenças significativas em assimilação líquida de carbono em plantas cítricas submetidas a tratamentos de algas. Por outro lado esses autores perceberam maior PHF e maior eficiência no uso de água em plantas tratadas com extratos de *A. nodosum* submetidas à deficiência hídrica quando comparadas ao controle.

5.2.2 Análise de tecidos vegetais

As plantas tratadas com extratos de alga A1 conseguiram absorver e/ou acumular mais potássio em suas folhas, caules e raízes que as plantas controle, considerando que havia teores similares no solo a todos os tratamentos. Foram encontrados maiores teores de sódio no solo, nas análises de solução e nos tecidos vegetais das plantas dos tratamentos salino comparadas àquelas que não receberam NaCl. Em maior intensidade para os tratamentos salinos, as plantas tratadas com A1 acumularam mais Na^+ nas raízes e menos Na^+ na parte aérea que plantas dos tratamentos A2 e C. Da mesma forma os valores da relação Na^+/K^+ foram superiores aos das plantas controle, independentemente do cultivar.

A capacidade de adaptação das plantas à salinidade está relacionada com a capacidade de regular internamente as concentrações de Na^+ e Cl^- (AMZALLAG et al., 1995). As plantas glicófitas, que incluem o café e a maioria das espécies cultivadas, possuem mecanismos de exclusão de sódio, porém não possuem a habilidade de compartimentalizar os sais nos vacúolos. Plantas halófitas possuem os dois mecanismos, reduzindo a concentração de sais no citoplasma celular (MUNNS, 2002).

Jitesh et al. (2012) identificaram genes expressos pela aplicação de *A. nodosum* em plantas de *Arabidopsis thaliana* submetidas a altos níveis de salinidade. A tolerância à salinidade é associada à manutenção da homeostase K^+/Na^+ , redução no potencial hídrico, sobre expressão de genes relacionados à produção de osmólitos compatíveis, exclusão de sódio e eliminação de oxigênio reativo, entre outros. Plantas tratadas com extrato de *A. nodosum* sobre expressaram diversos destes genes reconhecidos associados à tolerância a estresse salino e também a identificação de um novo gene (PMEI), inibidor da atividade da enzima pectina metil esterase, também associado a este mecanismo de tolerância.

5.2.3 Teor relativo de clorofila

Em geral houve diferença no teor relativo de clorofila (TRC) para a interação entre tratamentos salinos e extratos de alga para ambos cultivares. Em geral o TRC foi superior em plantas submetidas aos extratos de algas. Plantas do cv. Catuaí 99 apresentaram maiores TRC para os tratamentos com algas em maior número de épocas que

plantas da cv. Obatã. Khan et al. (2009) verificaram maiores teores de clorofila medidas com clorofilômetro (SPAD) em plantas tratadas com extratos de alga e betaínas.

5.2.4 Análises dos componentes principais (PCA) para os parâmetros bioquímicos

5.2.4.1 Cultivares

Considerando a análise de componentes principais (PCA) para os dois cultivares (Figura 22) utilizando todas as variáveis, verificamos que a heterogeneidade dos pontos possivelmente indica que a causa da variação dos dados avaliados em todas as análises (proteína, prolina, SOD e CAT) não está associada aos cultivares Obatã (V1) e Catuaí 99 (V2).

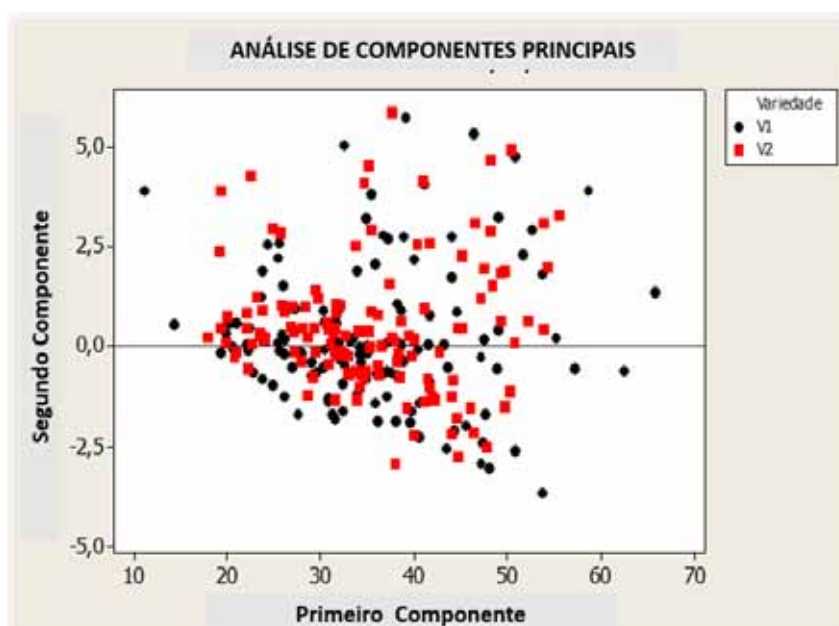


Figura 22. Análise de componentes principais para variável cultivar. V1 e V2 representam os cv. Obatã e Catuaí 99, respectivamente.

5.2.4.2 Tratamentos salinos

Utilizando a mesma análise considerando os tratamentos salinos é possível observar que há homogeneidade na distribuição dos pontos relacionados aos tratamentos sem NaCl (SS), demonstrando menor variabilidade dos dados de todas as análises bioquímicas (proteína, prolina, SOD e CAT). Diferindo nos dados dos tratamentos

aos quais foram adicionados NaCl (Sal) que são mais dispersos (Figura 23), uma vez que em resposta aos mesmos parâmetros bioquímicos avaliados os teores de Prolina e SOD foram os parâmetros que mais se destacaram conforme o gráfico da (Figura 24).

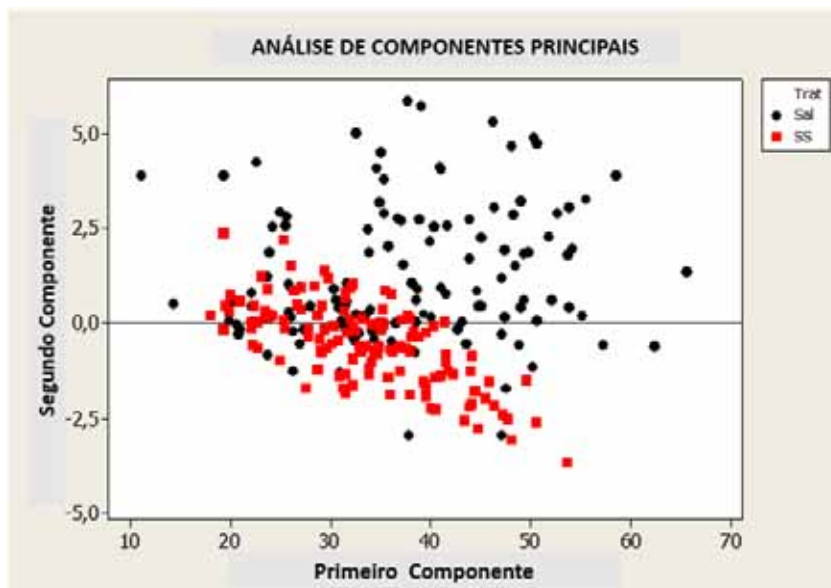


Figura 23. Análise de componentes principais para variável tratamento salino.

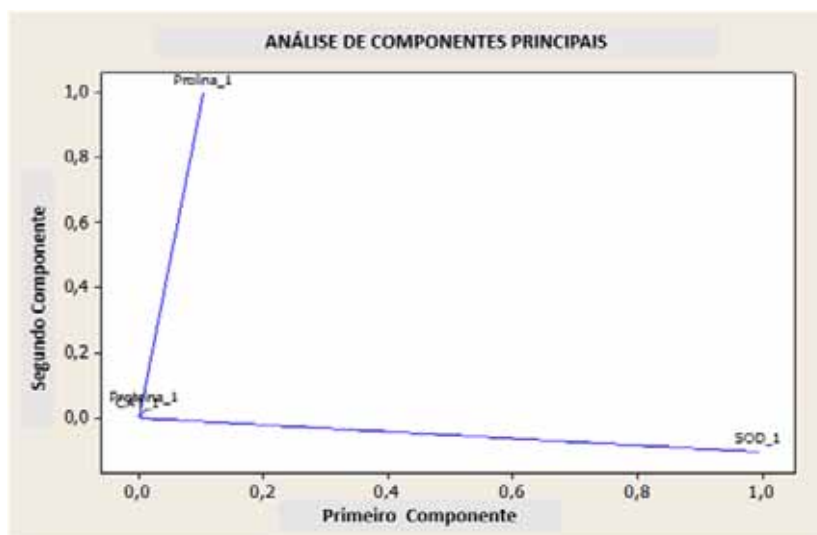


Figura 24. Análise de componentes principais para variável tratamento salino indicando a resposta das componentes prolina e SOD em função do aumento da salinidade.

5.2.4.3 Tratamentos com extratos de alga

Não há homogeneidade na distribuição dos pontos relacionados aos tratamentos com extratos de algas, indicando que a causa da variação dos dados avaliados

em todas as análises (proteína, prolina, SOD e CAT) não está associada aos extratos de algas A1, A2 ou C. Em analogia aos resultados obtidos, Carvalho et al. (2014) também observaram maior concentração de prolina em avaliações anteriores à aplicação do estresse por DH em plantas de feijoeiro, podendo ser um indício de pré-condicionamento promovido pelo extrato de algas nas plantas tratadas (Figura 25). Por outro lado, ao contrário dos dados deste experimento, esses autores encontraram maiores concentrações deste aminoácido após cinco e dez dias de restrição hídrica nas plantas com extratos de algas. Coelho e Lizzi (1999) relataram que extratos da alga *A. nodosum* apresentaram potencial redução nos efeitos de toxicidade ou tolerância a estresse biótico em *Festuca arundinaceae*. Plantas de festuca inoculadas com fungos endofíticos apresentaram maiores atividades de SOD quando submetidas a tratamentos com extratos de alga. Zhang et al (2004) observaram maior recuperação e maior atividade de SOD em plantas da espécie *Poa pratensis* submetidas a injúrias por calor, quando tratadas com extrato de *A. nodosum*. O'Sullivan et al. (2010) não observaram aumento na atividade de catalase em aplicações “in vitro” de preparados de diversas tipos de algas marinhas na redução de estresses oxidativos em membranas .

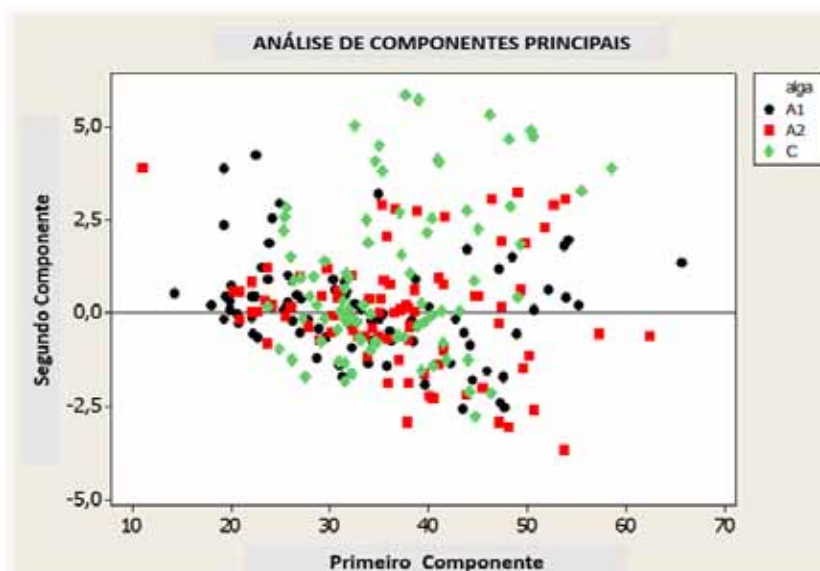


Figura 25. Análise de componentes principais para variável extrato de algas

5.2.4.4 Ciclos de estresse salino (ES1 e ES2)

Considerando a dispersão dos pontos referentes às respostas das variáveis em função dos ciclos onde foram distribuídas as aplicações de NaCl, é possível diferenciar os ciclos através das variáveis avaliadas SOD e prolina à partir do 2º ciclo, onde houve maior acúmulo e efeito da concentração de sal (Figura 26).

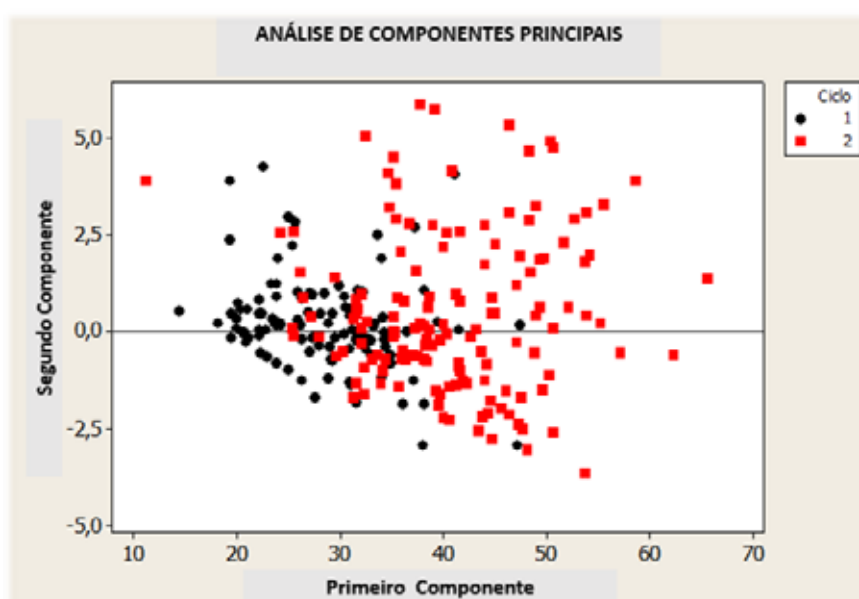


Figura 26. Análise de componentes principais para variável ciclo de ES.

5.2.5 Análises dos componentes principais (PCA) para os parâmetros biométricos

5.2.5.1 Cultivares

Através da análise de componentes principais para os cultivares Obatã (V1) e Catuaí 99 (V2) (Figura 27), utilizando todas as variáveis de parâmetros biométricos (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes) avaliados se verifica heterogeneidade na dispersão dos dados. Indicando que as causas de variação dos dados não podem ser associados aos cultivares.

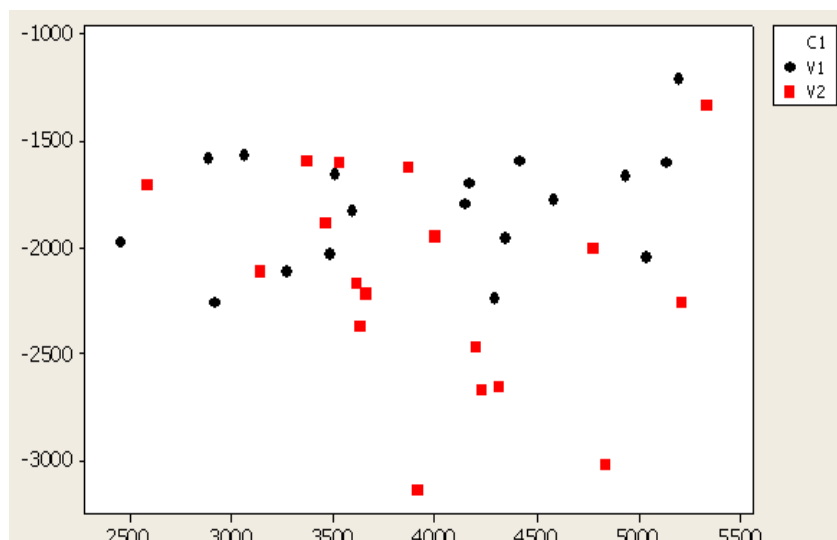


Figura 27. Análise de componentes principais por cultivares. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. V1 e V2 representam os cv. Obatã e Catuaí 99, respectivamente.

5.2.5.2 Tratamentos salinos

A análise de componentes principais para os cultivares Obatã (V1) e Catuaí 99 (V2) (Figura 28), utilizando todas as variáveis de parâmetros biométricos (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes) avaliados verificou heterogeneidade na dispersão dos dados. Indicando que as causas de variação dos dados não pode ser associada aos tratamentos salinos.

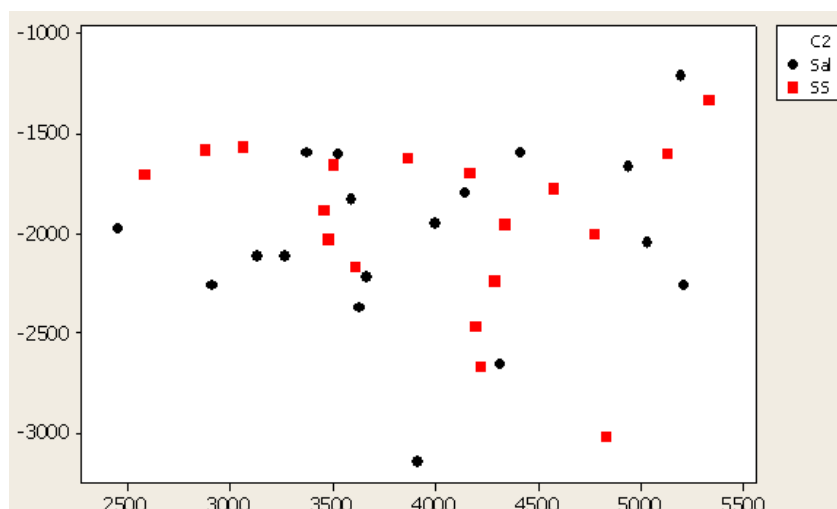


Figura 28. Análise de componentes principais por tratamento salino. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente.

5.2.5.3 Tratamentos com extratos de algas

Através da análise de componentes principais para os tratamentos com extratos de algas *Ascophyllum nodosum* Líquido (A1); *A. nodosum* + *Lithothamnium Calcareum* sólidos (A2) e Controle (C) (Figura 29), utilizando todas as variáveis de parâmetros biométricos avaliados (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes) foi verificada homogeneidade na dispersão dos dados, indicando que as causas de variação dos dados podem ser associados aos tratamentos com algas.

Independentemente do tratamento salino o tratamento de algas A1 apresentou valores maiores significativamente que A2 e estes maiores que C para os parâmetros de número de folhas, área foliar, massa fresca e massa seca de folhas e ramos para os dois cultivares nos dois ciclos de estresse salino. E também maiores massas secas de raízes apenas para o cultivar Obatã.

A análise de componentes principais para os tratamentos com extratos de algas A1, A2 e Controle, permitiu identificar que o parâmetro área foliar foi o mais relevante na variação dos dados entre todas as variáveis biométricas avaliadas (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes) para os dois ciclos de ES. (Figura 30).

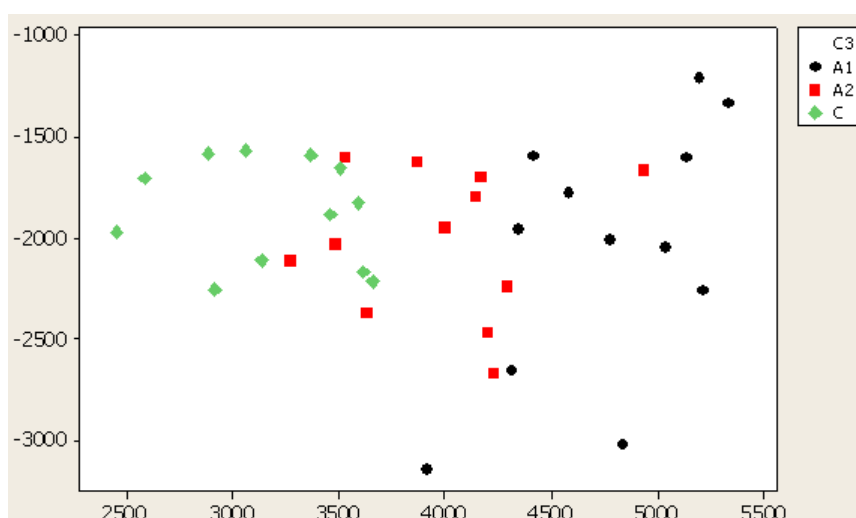


Figura 29. Análise de componentes principais por tratamento de extrato de algas. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente.

A análise de componentes principais para os tratamentos de lâminas de irrigação D1- 25% da NHC, D2 – 50% da NHC e D3 – 100% da NHC (Figura 30), permite identificar que o parâmetro área foliar foi o mais relevante na variação dos dados de lâminas entre todas as variáveis biométricas avaliadas (altura de plantas, comprimento de ramos, número de ramos, número de folhas, área foliar, massas frescas e massas secas de folhas, ramos e raízes). Para os três ciclos de deficiência hídrica (DH).

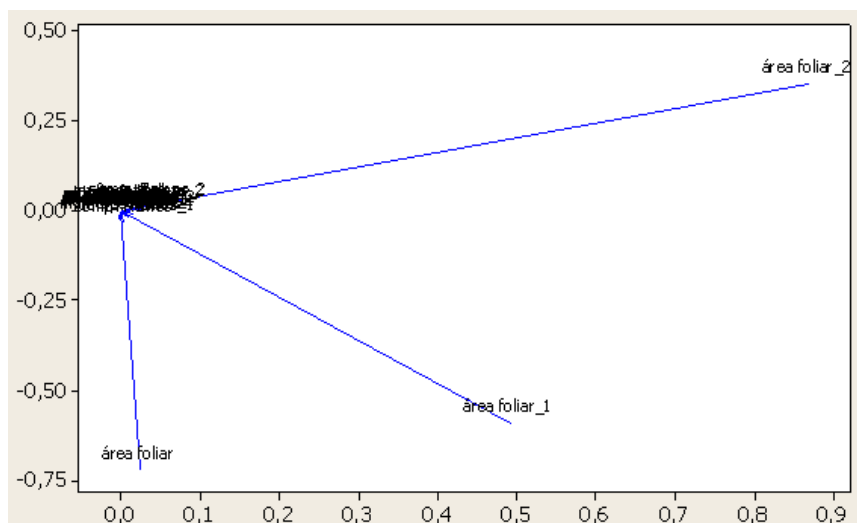


Figura 30. Análise de componentes principais para os tratamentos com extratos de alga. No eixo vertical – segundo componente. No eixo horizontal – primeiro componente. Onde, área foliar representa a avaliação anterior ao ES1, área foliar_1 a avaliação após o ciclo ES1 e área foliar_2 a avaliação ao final de ES2.

As análises de componentes principais para os parâmetros biométricos não permitiram observar diferenças relevantes entre cultivares e tratamentos salinos. E permitiram observar diferenças significativas para os tratamentos com extratos de alga, marcadamente para o parâmetro de área foliar. Plantas tratadas com A1 apresentaram maiores áreas foliares que em A2 e estas maiores que em plantas controle e podem ser visualizadas na Figura 18. Rayorath et al. (2007) observaram crescimento em parte aérea e sistema radicular de *A. thaliana* tratada com extrato de *Ascophyllum nodosum*.

6 CONCLUSÕES

O Trabalho foi organizado em dois experimentos independentes sobre deficiência hídrica e estresse salino visando estudar respostas fisiológicas em dois cultivares de café. Foram avaliados dois diferentes tratamentos com extratos de alga e sua participação na tolerância a estes estresses. Os resultados obtidos de forma isolada ou através de interações permitem concluir que:

De maneira geral, os tratamentos com restrição hídrica e salinidade promoveram redução no potencial hídrico foliar (PHF), parâmetros de trocas gasosas e crescimento das plantas para os dois cultivares;

Quando se avaliou parâmetros bioquímicos, exclusivamente para o experimento 2 com salinidade, verificou-se elevação na concentração de Na^+ nos tecidos vegetais, no teor de prolina e na atividade das enzimas antioxidativas SOD e CAT para os dois cultivares, quando comparado ao controle.

A partir da aplicação de extratos de algas marinhas, observou-se que as plantas de ambos os cultivares apresentaram maiores teores de K^+ foliar quando submetidas a deficiência hídrica e salinidade;

Houve diferença entre cultivares em resposta a deficiência hídrica quando aplicou-se extrato de *A. nodosum* (A1). O cv. Catuaí 99 apresentou maior potencial hídrico foliar, quando comparado nas mesmas condições com o cv. Obatã.

A associação do tratamento salino com extrato de algas (A1) apresentou efeito marcante de exclusão de Na^+ nas folhas, o qual acumulou no tecido radicular, independentemente do cultivar. Igualmente, a presença dos extratos de algas (A1 e A2) promoveram aumento no teor relativo de clorofila e alterações nas atividades das enzimas SOD, CAT bem como maior concentração de prolina.

Para ambos os cultivares, a avaliação dos parâmetros biométricos revelou que o tratamento com alga A1 promoveu incremento para número de folhas, massa fresca e seca de folhas e ramos. As plantas salinizadas, responderam ao estresse com aumento marcante de área foliar e massa fresca de raízes quando as plantas foram tratadas com extratos de algas, principalmente para A1.

Com base nos resultados apresentados e correlacionados aos parâmetros avaliados, se conclui que aplicação de extratos de algas exerce efeitos positivos no crescimento de plantas de cafeeiro, submetidas a estresses abióticos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD EL BAKY, H. H.; HUSSEIN, M. M.; EL-BAROTY, G. S. Algal extracts improve antioxidant defense abilities and salt tolerance of wheat plant irrigated with seawater. **African Journal of Biochemistry Research**. Durban, v. 2, p. 151-164, 2008.

ABRAHÃO, S. A. et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 34, n. 2, 2010.

ABRISQUETA, I. **Balance hídrico y respuesta del melocotonero extratemprano al riego deficitário**. 2012. 238 f. Tesis Doctoral - Universidad de Murcia, Murcia, 2012.

AHMED, B.A.; MORITANI, I.S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water. **Agricultural Water Management**. Auckland, v. 1, n. 97, p. 165–170, 2010.

ALVES, A. A. C.; SETTER, T. L. Response of Cassava to water deficit: leaf area growth and abscisic acid. **Crop Science**. Madison, v. 40, p. 131–137, 2014.

AMZALLAG, G. N.; LERNER, H. R. Physiological adaption of plants to environmental stresses. In: Pessarakli, M (ed.) **Handbook of plant and crop physiology**. New York, Marcel Dekker Inc...1995, p. 557-576.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**. Limerick, v. 166, p. 3-16, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem 29 (Revisado). Campina Grande – PB UFPB. trad: GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. 1999, 218 p.

- BATES, L.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BATISTA, A. L. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao DH. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- BENNET, J. M. Problems associated with measuring plant water status. **HortScience**. v. 25, p. 1551-1554, 1990.
- BERTELI, F. et al. Salt stress increases ferredoxin-dependent glutamate synthase activity and protein level in the leaves of tomato. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 93, n. 2, p. 259-264, 1995.
- BETTONI M. M.; ADAM W. M.; MÓGOR A. F. Tuberização de batata em função da aplicação de extrato de alga e cobre. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 26, n. 2, p. 256-5260, 2008.
- BOURSIER, P.; LYNCH, J.; LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Chloride partitioning in leaves of salt-stressed sorghum, maize, wheat and barley. **Australian Journal of Plant Physiology**. Clayton South, v. 14, p. 463-473. 1987.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72 p. 248-254, 1976.
- BRAGA, M. B.; CALGARO, M. **Uso da tensiometria no manejo da irrigação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 28 p. Documentos, 235. 2010.
- BRITO, L. K. F. L. et al. Alterações no perfil de frações nitrogenadas em calos de cana-de-açúcar induzidas por déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 43, p. 683-690, 2008.
- BRODRIBB, T. Dynamics of Changing Intercellular CO₂, Concentration (ci) during Drought and Determination of Minimum Functional ci. **Plant Physiology**. v. 111, p. 179-185, 1996.
- BROETTO, F.; LÜTTGE, U.; RATAJCZAK, R. Influence of light intensity and salt-treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of

Mesembryanthemum crystallinum. **Functional Plant Biology**, Western, v. 29, p. 13-23, 2002.

CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C.; AZEVEDO, R. A.; GAZIOLA, S. A. Seaweed extract increases the proline content of common bean plants under drought stress. In: Simpósio de Pós-graduandos do CENA, 6, 2013, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: USP, 2014.

CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Transferência do fator Caturra para o cultivar Mundo Novo de *Coffea arabica*. **Bragantia**. Campinas, v. 31, p. 379-399, 1972.

CASTANHEIRA, T. D. et al. Floração e potencial hídrico foliar de cafeeiros sob regimes hídricos e densidades de plantio. **Coffee Science**. Lavras, v. 8, n. 2, p. 192-204, 2013.

CÉSAR, F. R. C. F. et al. Morfofisiologia foliar de cafeeiro sob diferentes níveis de restrição luminosa. **Coffee Science**. Lavras, v. 5, n. 3, p. 262-271, 2010.

CHANDRASHEKAR, K. R.; SANDHYARANI, S. Salinity induced chemical changes in *Crotalaria striata* dc. plants. **Indian Journal Plant Physiology**. New Delhi, v. 1, n. 1, p. 44-48, 1996.

CHAVES, M. M. et al. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.

CHEESEMAN, J. M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. **Plant Physiology**. Waterbury, v. 87, p. 547-550. 1998.

COELHO, A. R. et al. Teor de clorofila nas folhas do cafeeiro (*coffea arabica* l.) em monocultivo e dois sistemas agroflorestais em barra da choça, BA. In; Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 5, 2007, Águas de Lindóia **Anais...** Brasília, DF.: Embrapa Café, 2007.

(CONAB) COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**. Conab. Brasília, v. 1, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. 2013.

CAMPOHERMOSO, M. A. C. Establecimiento de los niveles de tolerancia al riego deficitário y empleo de agua salina em plantas autóctonas mediterrâneas com fines ornamentales. 2011. 186 f. Tese de doutorado em Ciências. Universidade Politécnica de Cartagena, 2011.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Sciences**. Sacramento, v. 5, p. 187–188, 2000.

COSTA, R. A. As relações hídricas em plantas vasculares. *Universidade de Évora*. Portugal, 2001. Disponível em: <http://www.angelfire.com> Acesso em 25/11/2014.

COSTA, P. H. A. et al. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Brazilian Journal of Botany**. São Paulo, vol. 26, n. 3, p. 289-297, 2003.

CRAIG, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*. Copenhagen, v. 23, n. 3, p. 371-393, 2011.

DA SILVA, A. L. S. et al. A possible role of sphingolipids in the aluminium resistance of yeast and maize. **Journal of Plant Physiology**. California, v. 163, n. 1, p. 26-38, 2006.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Campinas, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2007.

DEL LONGO, O. T.; GONZÁLES, C. A.; PASTORI, G. M.; TRIPPI, V. S. Antioxidant defenses under hyperoxygenic and hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with differential sensitivity to drought. **Plant Cell Physiology**, v. 34, p. 1023-1028, 1993.

DEUNER, S. et al. Stomatal behavior and components of the antioxidative system in coffee plants under water stress. **Scientia Agricola Jornal**. Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 77-85, 2011.

DIAS, L. A. S. et al. **Cultivo de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG, 2007. 40p.

DOURADO NETO et al. Programa SWRC (Version 3.0):**Soil-Water Retention Curve (Software)**. Piracicaba: ESALQ; Davis: University of California, 1995.

EAMUS, D. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends in Ecology & Evolution**. Cambridge, v. 14, p. 11-16, 1999.

ECHER, F. R. et al. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 41, p. 4, p. 638-645, 2010.

ESTEVEES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Australis**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.

FAO-Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. 2013. **Agricultural Production/strawberry**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 18 jan. 2013.

FARRANT, J. M. A comparison of mechanism of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species. **Plant Ecology, Dordrecht**, v. 151, p. 29-39, 2000.

FAZUOLI, L. C. Cultivares de café arábica do IAC e tendências atuais do melhoramento. In: VIII Simpósio de pesquisas de café do Brasil, Salvador. **Anais...** Brasília, DF EMBRAPA Café, 2012.

FERNANDES, A. L. T. et al. A Moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R. Irrigação de café no Brasil. Anuário do café - **Revista Campo & Negócios**. Altamira. p. 45-47, 2010.

FERNANDES, A.L.T., SILVA, R.O., ALVES, A.C.C.N., BETTINI, M.O., BROETTO, F., ALMEIDA, F. Avaliação do concentrado de algas Acadian no desenvolvimento vegetativo e produtivo do cafeeiro cultivado no cerrado de Minas Gerais, com e sem irrigação por gotejamento. In: 40º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras **Anais do...**, Serra Negra, 2014.

FIGUEIRÊDO; V. B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina grande, v. 10, n. 1, 2006 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1415-43662006000100008&lng=en&nrm=iso>. access on 13 jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662006000100008>

GÁBORCÍK, N. Relationship between contents of Chlorophyll (a+b) (SPAD values) and nitrogen of some temperate grasses. **Photosynthetica**. Slovakia, v. 41, n. 2, p. 285-287, 2003.

GARCÍA, B. L.; ALCÁNTARA, L. P.; FERNÁNDEZ, J. L. M. Soil tillage effects on monovalent cations (Na⁺ and K⁺) in vertisols soil solution. **Catena**. v. 84, p. 61-69. 2011.

GIANNOPOLITIS, C. N.; REIS, S. K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**. Waterbury, v. 59, p. 309-314, 1997.

GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; BOAS, R. V.; JUNIOR, J. L.; Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 1, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832008000100021&script=sci_arttext&tlng=e>. Acesso: 22 dez 2014.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1.049-1.056, 2003.

GOLOVINA, E. A., HOEKSTRA, F. A., HEMMINGA, M. A. Drying increases intracellular partitioning of amphiphilic substances into the lipid phase: impact on membrane permeability and significance for desiccation tolerance. *Plant Physiology*, v. 118, p. 975-986, 1998.

GOMES, L. C.; BALDISSEROTTO, B.; SENHORINI, J. A. Effect of stocking density on water quality, survival, and growth of larvae of matrinxã, *Brycon cephalus* (*Characidae*), in ponds. **Aquaculture**, Stirling, v. 183, p. 73-81, 2000.

GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em <<http://www.algaebase.org>>. Acesso em 18 out 2014.

GUIRY, M. D. How many species of algae are there? **Journal of Phycology**. Malden, v. 48, n. 5, p. 1057-1063, 2012.

GRAHAM, L. E.; WILCOX, L. W. **Algae, Prentice-Hall, Inc., Upper**. Saddle River, NJ, 2000. 640p.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 31, p. 149-190, 1980.

HERMS, D. A.; MATTSON, W. J. The dilemma of plants: to grow or defend. **The Quarterly Review of Biology**, Chicago, v. 67, n. 3, p. 283-335, 1992.

HOEKSTRA, F. A., GOLOVINA, E. A. The role of amphiphiles. **Comparative Biochemistry and Plant Physiology**, v. 131, p. 527-533, 2002.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 6, n. 9, p. 431-438, 2001.

IYENGAR, E. R. R.; REDDY, M. P. **Photosynthesis in high salt tolerant plants**. In: Pesserkali, M. (Ed.). Hand Book of Photosynthesis. Marshal Dekker. Baten Rose, USA, p. 56-65, 1996.

JITHESH, M.N., et al. Analysis of seaweed extract-induced transcriptome leads to Identification of a negative regulator of salt tolerance in Arabidopsis. **HortScience**, v. 46, n. 6, p. 704-709, 2012.

JONES, H. G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**. v. 49, p. 387-398, 1998.

KARASAWA, S. et al. Comportamento de mudas de café submetidas a irrigação com diferentes níveis de salinidade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBEA, 2000.

KHAN, W.; HILTZ, D.; CRITCHLEY, A.; PRITIVIRAJ, B. Bioassay to detect *Ascophyllum nodosum* extract-induced cytokinin-like activity in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Applied Phycology**. Copenhagen, v. 23, n. 3, p. 409-414, 2010.

KHAN, W. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Jornal Plant growth Regulation**. Dresden, v. 28, n. 4, p. 386-399, 2009.

KLAR, A. E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

KRAMER, T.; KOZLOWSKI, T. **Physiology of woody plants**. New York, Academic Press, 1979. 811p.

KUMAR, A. **Activity and mechanisms of *Ascophyllum nodosum* extract induced salinity tolerance in tomato**. 2014. 124 f. Dissertação - University of Dalhousie, Halifax, 2014.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531p.

LÄUCHLI, A.; S. R. GRATTAN. Plant growth and development under salinity stress. In: Jenks, M. A.; Hasegawa, P. M.; Jain, S.M. **Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops**. Dordrecht: Springer, p. 285-315, 2007.

LEITE JÚNIOR, J. B. **Fertirrigação por gotejamento e seu efeito na cultura do café em formação**. 2003. 108 f. Dissertação (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

Le Jolis, A. **Liste des algues marines de Cherbourg. Mémoires de la Société Impériale des Sciences Naturelles et Naturelles de Cherbourg**. v. 10, cap. I-IV, p. 5-168, 1863.

LEONARDO, M. **Estresse salino induzido em plantas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) e seus efeitos sobre a produtividade e parâmetros agrônômicos e bioquímicos**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

LIMA, M. D. B.; BULL, L. T.; GRASSI FILHO, H. Índices fisiológicos e absorção de nutrientes pela cultura da cebola submetida a condições de salinidade e DH. **Irriga**, v.11, n.3, p.356-366, 2006.

LIMA, M. G. S. et al. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**. Campinas, vol. 63, n. 3, p. 335-340, 2004.

LIU, J.; ZHU, J.K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt hypersensitive mutant of arabidopsis. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 114, n. 2, p. 591-596, 1997.

LUNDE, C. et al. Exclusion of *na1* via sodiumatpase (*ppen1*) ensures normal growth of *Physcomitrella patens* under moderate salt stress. **Plant Physiology**. Waterbury, vol. 144, p. 1786-1796, 2007.

MACKINNON, S.A. et al. Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. **Journal of Applied Phycology**. Durham, v. 22, p. 489-494, 2009.

- MAHMOUD, A. A.; MOHAMED, H. F. Impact of Biofertilizers Application on Improving Wheat (*Triticum aestivum* L.) Resistance to Salinity. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**. v. 4, n. 5, p. 520-528, 2008.
- MARCONATO, A. R. **Estado da Arte na fertirrigação do cafeeiro**. 2012. 41 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão) – Faculdade de Tecnologia “Shunji Nishimura”, Pompéia, 2012.
- MATIELLO, J. B. et al. Estiagem prolongada prejudica café na Bahia. **Folha técnica-PROCAFÉ**, Varginha, n. 140, 4 p, 2012. Disponível em:<
<http://www.fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/publicacoes/pdf/folhas/Folha140%20%20%20Estiagem%20prolongada%20prejudica%20cafe%C3%A9%20da%20Bahia.pdf>>. Acesso em 29 mai. 2012b.
- MATIELLO, J. B. Evolução da salinidade e comportamento do cafeeiro em área irrigada por gotejamento em Brejões, BA. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 25, 1999, Franca. **Anais...** Franca: CP&D, 1999. p.185.
- MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. A qualidade da água de irrigação. **Boletim Técnico**, 22, Mossoró: ESAM, 1994. 60p.
- MELONI, D. A. et al. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycine-betaine accumulation in *Prosopis alba*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Campos dos Goytacazes, n. 16, p. 39-46, 2004.
- MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C. A. Salinity tolerance in *Schinopsis quebracho colorado*: seed germination, growth, ion relations and metabolic responses. **Journal of Arid Environments**. Trelew, n. 72, p. 1785-1792, 2008.
- MILTON, R. F. Liquid seaweed as a fertilizer. **Proc. Int Seaweed Symposium**. p. 428-431, 1964.
- MÓGOR, A. F.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; MÓGOR, G. Aplicação foliar de extrato de alga, ácido l-glutâmico e cálcio em feijoeiro. **Scientia Agraria**. Curitiba, vol. 9, n. 4, p. 431-437, 2008.
- MOHAMMADKHANI, N.; HEIDARI, R. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences**. Kandahar, v. 11, p. 92–97, 2008.

MORAIS, D.L. et al. Acumulação de íons e metabolismo de N em cajueiro anão em meio salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 11, p. 125-33, 2007.

MORAIS, F.A, et al. A. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 327-336, 2011.

MOTOMOYA, A. V. A. et. al. Diagnose nutricional com o uso de sensor óptico ativo em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 16, n. 11, 2012. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012001100003&script=sci_arttext>. Acesso: 22 de dezembro de 2014.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**. Stanford, v. 59, p. 651-681, 2008.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell Environment**. v. 25, p. 239-250. 2002.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole plant responses to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**. Clayton South, v. 13, n. 143, p. 160, 1986.

NAIR, P. et al. Transcriptional and methabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **BMC genomics**. v. 13, p. 643- 666, 2012.

NAZAR, R.; IQBAL, N.; SYEED, S.; KHAN, N. A. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. **Jornal Plant Physiology**. Ontario, n. 168, p. 807–815, 2011.

NEVES, A. L. R., et al. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina grande, v. 13, p. 873-881, 2009.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. Academic Press, New York, 1999.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et

al. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas.** Recife: Imprensa Universitária, p. 22-31, 2005.

NORRIE, J.; HILTZ, D. A. Agricultural applications using *Ascophyllum* seaweed products. **Agro-food industry high-tech.** v. 2, p. 15-18, 1999.

OLIVEIRA, L. A. A. et.al. Uso de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Verde.** Mossoró, v. 6, n. 2, p.1-4, 2011.

OLIVER, A. E. et al. Non-disaccharide-based mechanisms of protection during drying. **Cryobiology,** San Diego, v. 43, p. 151-167, 2001.

O'SULLIVAN, K. et al. Electromyographic analysis of the three subdivisions of gluteus medius during weight-bearing exercises. **Therapy & Technology.** v.2, p.17, 2010.

PANG, C. A.; WANG, B. Oxidative Stress and Salt Tolerance in Plants. **Progress in Botany.** v. 69, p. 231-246, 2008.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety.** New York, v. 60, p. 324-49, 2005.

PARTELLI, F. L. et al. Cold induced changes on sugar contents and respiratory enzyme activities in coffee genotypes. **Ciência Rural.** Santa Maria, v. 40, p. 781-786, 2010.

PARTELLI, F. L. et al. Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, v. 44, p. 1404-1415, 2009.

PASSIOURA, J. B. Drought and drought tolerance. In: BELHASSEN, E. **Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis.** Dordrecht: Kluwer, p.1-5, 1982.

PASTORI, G. M.; FOYER, C. H. Common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of "redox" and abscisic acid-mediated controls. **Plant Physiology,** Waterbury, v. 129, p. 460-468, 2002.

PEIXOTO, P. H. P. et al. Aluminum effects on lipid peroxidation and on activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal.** Londrina, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.

PEREIRA, T. B. et al. Teores de clorofila em cafeeiros submetidos a diferentes ambientes avaliados por dois métodos de determinação. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 7, 2011, Araxá. **Anais...**, Araxá. 2011.

PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GREYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C.F. In: **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 143-159, 2010.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds). 2. Ed. rev. Campinas: IAC - (**Boletim Técnico, 100**), p. 182, 1997.

RAZA, S. H. et al. Glycinebetaine-induced modulation of antioxidant enzymes activities and ion accumulation in two wheat cultivars differing in salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany**. Paris, v. 60, p. 368-376, 2007.

RAYORATH, P. et. al. Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **Journal of Applied Phycology**. Perth, v. 20, n. 4, p. 423-429, 2009.

RAYORATH, P. et al. Extracts of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* and gibberellic acid (GA₃) – independent amylase activity in barley. **Journal Plant Growth Regulation**. Dresten, v. 27, p. 370-370, 2008.

REJILI, M. et al. Effect of NaCl on the growth and the ionic balance K⁺ /Na⁺ of two populations of *Lotus creticus* (L.) (Papilionaceae). **South African Journal of Botany**. Sofia, n. 73, p. 623-631, 2007.

RIZHISKY, L.; LIANG, H.; MITTLER, R. The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 130, p. 1143–1151, 2002.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, L. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. **Agronomía Colombiana**. Bogotá v. 24, p. 28-37, 2006.

ROLÃO, M. B. **Resposta antioxidativas de cafeeiros (*coffea arábica*) expostos ao metal pesado cádmio**, 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências / Genética e Melhoramento de plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

SAKAMOTO, A. et al. Transformation of Arabidopsis with the *codA* gene for choline oxidase enhances freezing tolerance of plants. **Plant Journal**. London, v. 22, p. 449–453, 2000.

SÁNCHEZ-DÍAZ, M., AGUIRREOLEA, J. Relaciones hídricas. **Fisiología y Bioquímica Vegetal**. (Azcon-Bieto, J. y Talón, M., Eds.), p. 49- 90, 1993.

SÁNCHEZ-ROMERA, B. et.al. Enhancement of root hydraulic conductivity by methyl jasmonate and the role of calcium and abscisic acid in this process. **Plant, Cell and Environment**. Oxford v. 37, p. 995–1008. 2014.

SANTOS, D. B. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 638-645, 2010.

SAVÉ, R., et al. Gas exchange and water relations. In: RODA, F. (Ed), **Ecology of Mediterranean Evergreen Oak forest**. Springer, Berlin, p. 135-147, 1999.

SCHOLANDER, P. F., et al. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, v. 51, p. 119-125, 1965.

SEN, D. N.; KASERA, P. K.; MOHAMMED, S. Biology and Physiology of Saline Plants. In PESSARAKLI, M. (Ed). **Handbook of Plant and Crop Physiology**. Marcel Dekker ed., New York, p. 563-581, 2002.

SHAO, H. B. et al. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. Amsterdam, v. 53, p. 113–119, 2008.

SHARMA, H. S. S., et al. Plant bioestimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stress. **Journal of Applied Phycology**. Belfast, n. 26, p. 465-490, 2014.

SHARMA, P. K.; HALL, D. O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 138, n. 5, p. 614-619, 1991.

SHVALEVA, A. L., et al. Metabolic responses to water deficit in two *Eucalyptus globulus* clones with contrasting drought sensitivity. **Tree Physiology**. V. 26, p. 239-248, 2006.

SILVA, A. V., et al. Respostas fisiológicas de clone de café Conilon sensível à DH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 45, n. 5, p. 457-464, 2010.

SILVA, E. N., et al. Contribuição de solutos inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, n. 5, v. 44, p. 437-445, 2009.

SILVA, R. L. O., et al. **Influência do estresse salino sobre a concentração de solutos compatíveis em jatobá submetido a estresse de NaCl**. In: 64ª Reunião Anual da SBPC. 2012.

SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, p. 136, 2002.

SILVEIRA J. A. G. et al. Proline accumulation and glutamine synthetase are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves. **Journal of Plant Physiology**. California, n. 2, v. 160, p. 115-123, 2003.

SMIRNOFF, N. Metabolic flexibility in relation to the environment. In: **Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation**. Oxford: Bios Scientific publishers, p. 1-13, 1998.

SPOMER, L. A. Techniques for measuring plant water. **HortScience**, v. 20, p. 449-484, 1985.

SOLOMINOS, S. A. **Ruta de transducción de señal del ácido abscísico: Regulación por HAB1 y dianas de interacción. La inactivación combinada de PP2Cs como herramienta biotecnológica para incrementar la tolerância a sequia em plantas**. 2010. 135f. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valência, 2010.

SOLOMON, A.; BEER, S.; WAISEL, G.; JONES, P.; PALEG, L. G. Effects of NaCl on the carboxylating activity of Rubisco from *Tamarix jordanis* in the presence and absence of proline-related compatible solutes. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 90, n. 1, p. 198-204, 1994.

SOUZA, T. R. et al. Medida indireta da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas fertirrigadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 993-1003, 2011.

SOUSA, G. B., et al. Salinidade do substrato contendo biofertilizante para formação de mudas de maracujazeiro amarelo irrigado com água salina. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 172-180, 2008.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown Hamlin sweet orange nursery trees. **HortScience**. Florida, v. 46, n. 4, p. 1471-1474, 2011.

SUCRE, E. B.; TUTTLE, J. W.; FOX, T. R. The use of ground-penetrating radar to accurately estimate soil depth in rocky forest soils. **Forensic Science**. Catambria, v. 57, n. 1, p. 59-66, 2011.

TAIZ, L., ZEIGER, E. 2011. Fisiologia Vegetal. 4ª ed., Artmed, Porto Alegre, 719p.

TATTINI, M. et al. Morpho-anatomical, physiological and biochemical adjustments in response to root zone salinity stress and high solar radiation in two Mediterranean evergreen shrubs, *Myrtus communis* and *Pistacia lentiscus*. **New Phytologist**. Lancasterv, n. 170, p. 779-794, 2006.

TÁVORA, F. J. A. F.; FERREIRA, R. G. E.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 12, 2001.

TEMÓTEO, A. S. **Cultivares de café conilon (*coffea canephora*) sob estresse salino-hídrico**. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia-Irrigação e Drenagem), Universidade estadual Paulista-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. 2012.

TESTER N.; DAVENPORT R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**. Oxford, v. 91, p. 1-25, 2003.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, **Zeitschrift Geophysic**, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

TONIN, F. B. **Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

VAN GENUTCHEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 41, p. 892 – 898, 1980.

VILLAS BÔAS, R. L.; OLIVEIRA, M. V. M.; MOTA, P. R. A.; BETTINI, M. O. Fertirrigação no Brasil, técnica inovadora nos cultivos irrigados. In: Congresso brasileiro de fertirrigação, João Pessoa, 2003. **Anais...** João Pessoa: UFPB/CCA, 2003. 1 CD-ROM.

WALLY, O. S. D. et.al. Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in *Arabidopsis thaliana* following treatment with commercial extract from the marine macroalga *Ascophyllum nodosum*. **Journal of Plant Growth Regulation**. New York, v. 32, p. 324–339, 2013.

XU, J. et al. Salt affects plant Cd-stress responses by modulating growth and Cd accumulation. **Planta**. Bonn, v. 231, p. 449–459, 2010.

YANG, J. K. et al. Chemical composition and antimicrobial activity of *Chamaecy parisobtusa* leaf essential. **Fitoterapia**, n. 78, p. 149-152, 2007.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**. Heidelberg, v. 38, p. 171- 186, 2000.

ZANINI, J. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; FILHO, J. C. F.; BETTINI, M. O. Panorama da fertirrigação via irrigação localizada no Brasil e sua evolução na cafeicultura do cerrado. In: (Org.). **Uso e manejo da fertirrigação e hidroponia**. 1 ed. Jaboticabal: FUNEP, v. 1, p. 63-65, 2002.

ZHANG, X. ERVIN, E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic extracts associated with creeping betgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop Science**. Madison, v. 44, p. 1737-1745, 2004.

8 APÊNDICE

Anexo 1: Composição do extrato líquido solúvel de *Ascophyllum nodosum* utilizado no tratamento de alga A1.

Dados Físicos: Aparência viscosa - líquido marrom escuro. Odor marinho solubilidade em água – 100% e pH – 7,8 a 8,2

Análises típicas:

Matéria orgânica: 13-16%;

N: 0,3-0,6%; P₂O₅: ≤ 0,1%; K₂O: 5-7%; S: 0,3-0,6%; Mg: ≤ 0,1%; Ca: 0,1-0,2%;

Fe: 30-80ppm; Cu: 1-5 ppm; Zn: 5-15 ppm; Mn: 1-5 ppm; B: 20-50 ppm;

Na: 0,6 %.

Carboidratos: Ácido algínico, Manitol e Laminarina

Aminoácidos totais: 1,01% Alanina, Ac. Aspártico, Ac. Glutâmico, Glicina, Isoleucina, Leucina, Metionina, Fenilalanina, Prolina, Tirosina, Valina e Triptofano.

Anexo 2: Caracterização e composição do Extrato de alga sólido de *Ascophyllum nodosum* (DNP) utilizado no tratamento alga A2.

DNP é um sub-produto da manufatura do extrato líquido de *Ascophyllum nodosum*, contendo partes de alga fresca que não foram dissolvidas na extração alcalina. No final do processo de extração a fração insolúvel separada na etapa de clarificação e filtragem é desidratada em forma de flocos que são moídos até formarem, uma “farinha” em pó. Este produto tem em torno de 5% de umidade, 35% de fração mineral e 60% de material orgânico e o pH é em torno de 10. A composição orgânica consiste de celulose, grandes alginatos, xilanas e outros polímeros da parede celular da alga. Quando misturado

em água uma pequena porção do produto se dissolve e a maior parte restante das partículas ficam em suspensão e precipitam.

Composição geral:

Matéria seca	~ 95% •	Matéria Orânica	~60%
• Cinzas	~35% •	Proteína bruta	~4%
• Ácidos Graxos Brutos	~6% •	pH	10-11
• N	~0.5% •	P ₂ O ₅	~0.4%
• K ₂ O	~14% •	Enxofre	~3.0%
• Ca	~2.0% •	Mg	~1.2%
• Na	~2.0% •	Fe	~250ppm
• B	~50 ppm •	Mn	~30ppm
• Cu	~3ppm •	Zn	~40ppm

Anexo 3: Composição do extrato de alga sólido de *Lithothamnium calcareum* utilizado no tratamento de alga A2.

NUTRIENTES PRINCIPAIS:

Determinação	Análise	Unidade	Resultado
Cálcio	CaO	%	25,65
Magnésio	MgO	%	3,40
Soma de Óxidos	%	*
Carbonato de Cálcio	CaCO ₃	%	*
Carbonato de Magnésio	MgCO ₃	%	*
P N	%	*
P R N T	%	*
Sílica e Insolúveis	%	16,25
GRANULOMETRIA			
ASTN	Tyler	Abertura	*
USS	Mesh	(mm)	
8	8	2,380	ans
10	10	2,000	ans
20	20	0,840	ans
40	35	0,420	ans
50	48	0,297	ans
60	60	0,250	ans

Anexo 4 – Delineamento do experimento 1 – DH: Cor verde para a cultivar Obatã e cor rosa para a cultivar Catuaí 99. A1 – Alga 1 (Extrato líquido de *Ascophyllum nodosum*), A2 – Alga 2 (*Ascophyllum nodosum* + *Lithothamnium calcareum* sólidos) e em vermelho 25% NHC, em amarelo 50% NHC e em azul 100% NHC da lâmina de irrigação.

C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1-T4		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1		C-T7	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2-T3		A1	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1-T10	100%	A1
A1	25%	A1		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C-T9	100%	C
C	25%	C-T2		A2	50%	A2-T6		A1	100%	A1
A1	25%	A1		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1-T5	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1-T1		C	50%	C		A2-T8	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C	100%	C
C	25%	C		A2	50%	A2		A1	100%	A1
A1	25%	A1		C	50%	C		A2	100%	A2
A2	25%	A2		A1	50%	A1		C	100%	C

Anexo 5 – Croqui delineamento experimental – Experimento 2 – Estresse Salino, onde V1 – cultivar Obatã, V2 - cultivar Catuaí 99; A1 – Alga 1 (Extrato líquido de *Ascophyllum nodosum*), A2 – Alga 2 (*Ascophyllum nodosum* + *Lithothamnium calcareum* sólidos) e em verde tratamento com NaCl, em azul tratamento sem NaCl.

V1		V2		V1		V2		V1		V2
B		B		B		B		B		B
C		C		C		C		C		C
A1		A1		A1		A1		A1		A1
A2		A2	Am	A2		A2		A2		A2
C		C		C	Az	C		C		C
A1	Ro	A1		A1		A1		A1		A1
A2		A2		A2		A2		A2		A2
C		C		C		C		C		C
A1		A1	Ro	A1		A1		A1		A1
A2		A2		A2		A2		A2		A2
C	Az	C		C		C		C		C
A1		A1		A1		A1		A1		A1
A2		A2		A2		A2	Am	A2		A2
C		C		C		C		C		C
A1		A1		A1		A1		A1		A1
A2		A2		A2		A2		A2		A2
C		C		C		C	Az	C		C
A1		A1		A1	Ro	A1		A1		A1
A2	Am	A2		A2		A2		A2		A2
C		C		C		C		C		C
A1		A1		A1		A1		A1		A1
A2		A2		A2	Am	A2		A2		A2
C		C	Az	C		C		C		C
A1		A1		A1		A1	Ro	A1		A1
A2		A2		A2		A2		A2		A2
B		B		B		B		B		B
V2		V1		V2		V1		V2		V1

Anexo 6 - Concentração mineral do solo para os tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.

Tratamentos	pH	M.O. g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	Na ⁺ mmol _c /dm ³
	CaCl ₂						mmol _c /dm ³					mg/dm ³	
Obatã													
Ciclo1													
Sal A1	5,5	15	90	---	28	0,6	34	7	42	70	60	---	15,4
Sal A2	5,4	17	94	---	26	0,6	31	8	40	66	60	---	10,8
Sal C	5,0	15	183	---	27	0,6	33	7	40	68	59	---	16,9
SS A1	5,8	15	64	---	21	0,6	37	11	49	70	70	---	1,2
SS A2	5,7	16	69	---	22	0,7	35	11	47	68	68	---	1,6
SS C	5,9	15	95	---	20	0,6	44	9	54	74	72	---	2,4
Ciclo 2													
Sal A1	5,5	16	50	---	25	0,7	35	6	42	67	63	---	12,7
Sal A2	5,8	15	69	---	21	0,6	40	6	47	67	69	---	17,5
Sal C	5,9	13	147	---	20	0,6	41	6	47	67	70	---	18,9
SS A1	5,7	13	104	---	23	0,6	37	6	44	68	66	---	0,7
SS A2	5,7	15	126	---	22	0,6	39	12	51	73	70	---	1,0
SS C	5,9	16	73	---	19	0,8	40	10	51	70	72	---	0,8

Catuaí 99

Ciclo 1

Sal A1	5,1	16	183	---	38	0,6	21	4	25	62	40	---	14,1
Sal A2	5,9	14	85	---	20	0,6	39	6	46	66	69	---	12,0
Sal C	5,5	15	85	---	28	0,6	30	5	36	64	56	---	11,4
SS A1	5,5	16	113	---	30	0,6	31	8	40	69	57	---	1,0
SS A2	5,9	15	66	---	19	0,6	35	10	46	65	71	---	1,0
SS C	5,4	16	108	---	26	0,6	39	7	46	72	64	---	0,8

Ciclo 2

Sal A1	5,6	22	184	---	25	0,6	34	9	43	68	63	---	19,5
Sal A2	5,8	17	109	---	21	0,6	46	11	57	79	73	---	13,3
Sal C	5,8	15	95	---	24	0,8	34	9	44	68	65	---	15,7
SS A1	6,0	16	158	---	20	0,6	47	15	63	83	76	---	1,0
SS A2	5,8	16	152	---	24	0,6	41	12	53	77	69	---	0,7
SS C	5,9	16	78	---	20	0,6	47	13	61	81	75	---	2,5

Época 3 (início de ES2)

Tratamentos	Obatã										
	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg/L -----										
Sal A1	1,0	18,0	142,0	760,0	20,0	100,3	0,03	0,0	0,05	0,02	0,01
Sal A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal C	3,0	36,0	130,0	560,0	22,0	224,0	0,09	0,0	0,24	0,01	0,01
SS A1	1,0	23,0	520,0	480,0	3,0	11,0	0,03	0,0	0,00	0,01	0,01
SS A2	1,0	283,0	116,0	940,0	11,0	11,0	0,06	0,0	0,03	0,01	0,01
SS C	1,0	46,0	500,0	460,0	6,0	13,5	0,03	0,0	0,03	0,01	0,02
	Catuaí 99										
Sal A1	4,0	68,0	320,0	120,0	47,0	113,5	0,16	0,0	2,14	0,01	0,03
Sal A2	36,0	24,0	420,0	140,0	14,0	109,5	0,35	0,0	3,38	0,01	0,01
Sal C	6,0	61,0	314,0	206,0	8,0	234,0	0,08	0,0	0,00	0,01	0,01
SS A1	17,0	18,0	260,0	80,0	21,0	77,5	0,43	0,0	5,40	0,01	0,04
SS A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SS C	1,0	20,0	436,0	208,0	71,0	18,8	0,03	0,0	0,09	0,03	0,01

Anexo 8: Leituras de C.E. (dS m^{-1}) e pH na solução do solo para tratamentos salinos e com extratos de alga em função da época de avaliação para cvs. Obatã e Catuaí 99.

Ciclo 1																				
Épocas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
Tratamentos	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH								
Obatã																				
OSaIA1	0,141	6,7	0,180	6,9	0,300	6,8	0,927	6,3	1,984	6,5	1,920	6,3	1,930	6,4	1,950	6,6	2,100	6,2	2,510	5,9
OSaIA2	0,274	6,5	0,300	6,9	0,310	6,8	0,473	5,3	1,376	6,6	1,889	6,4	2,740	6,4	3,340	6,7	3,750	6,3	4,410	6,4
OSaIC	0,194	6,6	0,204	6,6	1,250	6,7	1,289	6,7	1,300	6,8	1,298	6,8	2,250	6,9	2,230	7,0	2,200	7,1	2,178	7,2
OSSA1	0,25	5,9	0,270	6,0	0,280	6,2	0,300	6,4	0,310	6,5	0,315	6,7	0,320	6,7	0,340	6,9	0,340	6,8	0,340	6,9
OSSA2	0,18	6,1	0,190	6,3	0,197	6,6	0,188	6,8	0,198	6,9	0,289	6,9	0,318	6,3	0,370	7,0	0,380	6,9	0,396	6,9
OSSC	0,298	7,0	0,310	7,1	0,270	7,2	0,263	7,3	0,495	7,0	0,580	6,8	0,851	6,6	0,774	7,3	0,652	7,2	0,453	7,0
Catuaí 99																				
CSaIA1	0,22	6,7	0,550	6,5	0,890	6,3	1,413	6,0	1,816	6,7	2,200	6,4	3,500	6,4	4,260	6,6	5,200	6,7	8,150	6,4
CSaIA2	0,274	6,8	0,400	6,9	0,720	7,2	1,134	6,1	1,788	6,3	2,160	6,5	2,170	6,5	2,610	6,9	2,860	7,4	3,033	7,2
CSaIC	0,314	6,0	0,280	6,8	0,350	6,7	1,005	5,3	1,643	6,3	1,930	6,3	3,050	6,4	2,940	6,6	2,920	6,5	4,020	6,3
CSSA1	0,29	5,8	0,310	5,9	0,180	6,0	0,175	6,1	0,200	6,7	0,258	6,7	0,260	6,8	0,290	6,8	0,393	6,9	0,395	6,8
CSSA2	0,268	6,3	0,245	6,1	0,210	6,2	0,280	5,4	0,263	5,9	0,259	6,2	0,299	6,3	0,236	6,7	0,214	6,9	0,221	6,7
CSSC	0,186	6,9	0,250	6,2	0,280	7,4	0,173	5,9	0,185	7,0	0,186	7,1	0,190	7,0	0,188	7,4	0,184	7,4	0,177	7,2

Ciclo 2

Épocas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
Tratamentos	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH	C.E	pH								
Obatã																				
OSaIA1	0,140	7,0	0,144	7,3	2,140	6,7	4,720	6,5	2,190	6,8	5,730	6,4	5,000	6,8	3,950	6,7	7,080	6,4	7,100	6,3
OSaIA2	0,596	6,4	0,545	6,3	0,739	6,3	1,940	6,2	0,744	6,3	3,110	6,0	3,070	6,1	3,330	6,2	3,450	5,9	4,060	5,9
OSaIC	0,198	7,6	1,230	7,4	1,300	7,0	1,405	6,8	1,480	6,5	2,573	5,9	2,551	5,1	2,700	5,1	2,716	5,8	2,890	6,3
OSSA1	0,210	7,1	0,242	7,0	0,250	7,2	0,255	7,0	0,280	7,0	0,300	6,9	0,313	6,9	0,334	6,9	0,347	6,9	0,358	6,8
OSSA2	0,201	7,5	0,210	7,4	0,220	7,3	0,218	7,3	0,230	7,1	0,248	7,1	0,256	6,9	0,309	6,9	0,327	6,7	0,300	6,6
OSSC	0,366	7,4	0,342	7,3	0,316	7,7	0,313	7,3	0,333	7,0	0,261	7,1	0,246	7,3	0,205	7,4	0,201	7,2	0,25	7,0
Catuaí 99																				
CSaIA1	0,700	7,4	1,414	7,4	2,120	7,1	3,699	7,2	4,450	7,2	5,020	6,9	4,560	7,1	5,260	7,3	5,300	6,9	5,350	6,8
CSaIA2	0,148	7,4	0,180	7,6	0,345	7,4	0,569	7,4	0,894	7,5	1,234	7,3	1,800	7,0	2,530	6,8	2,890	6,7	3,480	6,6
CsaIC	0,362	7,6	0,925	7,2	1,901	7,0	1,940	6,8	1,985	7,1	3,040	6,8	2,940	6,9	3,070	7,2	3,210	6,7	3,300	6,9
CSSA1	0,247	7,5	0,182	7,1	0,190	7,1	0,196	7,2	0,200	7,3	0,210	7,1	0,230	7,0	0,244	6,7	0,257	6,5	0,293	6,1
CSSA2	0,232	6,6	0,211	7,0	0,210	6,8	0,237	6,8	0,211	7,1	0,240	6,9	0,225	7,1	0,228	6,9	0,230	6,7	0,250	6,9
CSSC	0,749	7,1	0,725	7,6	0,673	7,5	0,703	7,4	0,690	7,5	0,676	7,5	0,632	7,6	0,598	7,6	0,564	7,3	0,494	7,2