

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSÉ DARCY DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DA VINHAÇA COMO COMPONENTE DE
SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA HIDROPONIA**

CURITIBA

2010

JOSÉ DARCY DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DA VINHAÇA COMO COMPONENTE DE
SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA HIDROPONIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos.

Área de concentração: Agroindústria (Biotecnologia Vegetal), Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Biotecnológicos.

Orientador: Dr. Carlos Ricardo Soccol

Co-Orientador: Dr. Gessiel Newton Scheidt

CURITIBA

2010

“Quanto maior o conhecimento da matéria e da vida, maior é o arsenal para melhorar a vida do homem”.

Arantes, O. M. N

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Ricardo Soccol
Universidade Federal do Paraná

Prof. Dra. Adenise Woiciechowski
Universidade Federal do Paraná

Prof. Dra. Ida Pimentel Chapaval
Universidade Federal do Paraná

Orientador – Prof. Dr. Carlos Ricardo Soccol
Universidade Federal do Paraná

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa e companheira Vanda de Souza Tavares e meus filhos Adhan Santos e Adrian dos Santos, que nas horas difíceis me apoiaram com compreensão e afeto.

TERMO DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

A DEUS,

Pela vida, saúde e sabedoria concedida, sem a qual não alcançaria meu objetivo.

Aos Professores:

Prof. Dr. Carlos Ricardo Soccol, por sua orientação, dedicação e confiança depositado para que fosse possível a realização deste trabalho.

À Prof. Dra. Luciana P. S. Vandenberghe, por ter me acolhido neste curso, mesmo sem saber se corresponderia a sua confiança.

Aos Amigos companheiros neste trabalho:

Gessiel Newton Scheidt, pela paciência, e auxílio,

Andréa Haruko Arakaki pela correção do trabalho,

André Luís Lopes da Silva, pela imensa ajuda no que diz respeito à parte estatística, correção e finalização deste trabalho.

Aos Colaboradores:

Profº. Júlio César de Carvalho, Profª. Michele Rigon Spier, Jaime Azevedo, Jefferson da Luz Costa, Cleber Alexandre, André Luís Lopes da Silva que participaram e ajudaram à realização deste trabalho, seja apoio material, equipamentos ou mesmo apoio moral.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo Geral.....	12
2.2. Objetivos Específico.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	13
3.1. <i>Características da Vinhaça.....</i>	13
3.2. <i>Tratamento Físico-Químico da Vinhaça.....</i>	16
3.3. <i>Aplicações da Vinhaça.....</i>	17
3.3.1. <i>Fertilizante Agrícola.....</i>	18
3.3.2. <i>Outros Usos da Vinhaça.....</i>	22
3.3.3. <i>Efeitos da Vinhaça no Solo.....</i>	23
3.3.4. <i>Efeitos da Vinhaça nas Águas Subterrâneas.....</i>	24
3.3.5. <i>Efeitos da Vinhaça nas Plantas.....</i>	25
4. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DA VINHAÇA.....	26
4.1. <i>As Leis Federais.....</i>	28
4.2. <i>As Leis Estaduais.....</i>	28
5. HIDROPONIA.....	29
5.1. <i>Modelos de Sistemas Hidroponicos.....</i>	31
5.1.1. <i>Sistema NFT(Nutrient Film Technique).....</i>	31
5.1.2. <i>Sistema de Gotejamento.....</i>	32
5.1.3. <i>Sistema de DFT.....</i>	34
5.1.4. <i>Sistema de Aeroponia.....</i>	35
5.1.5. <i>Sistema Flutuante.....</i>	35
5.1.6. <i>Sistema de Pavio.....</i>	36
5.1.7. <i>Sistema de Subirrigação.....</i>	37

6. SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	37
6.1. <i>Água.....</i>	39
6.2. <i>pH da Solução.....</i>	39
6.3. <i>Condutividade Elétrica.....</i>	40
6.4. <i>Oxigênio.....</i>	40
6.5. <i>Pressão Osmótica.....</i>	40
6.6. <i>Temperatura.....</i>	41
6.7. <i>Formulação da Solução Nutritiva.....</i>	41
6.8. <i>Elementos Essenciais.....</i>	41
6.9. <i>Nutrição Mineral das Plantas.....</i>	43
6.10. <i>Função dos Nutrientes para as Plantas.....</i>	43
6.11. <i>Produtividade.....</i>	43
7. MATERIAIS E METODOS.....	44
7.1. <i>Localização do Experimento.....</i>	44
7.2. <i>Fonte e Preparo da Vinhaça.....</i>	44
7.3. <i>Análise Química da Vinhaça.....</i>	46
7.4. <i>Sistema Hidroponico.....</i>	47
7.5. <i>Quantidade de Vinhaça e Sobrevivência da Alface.....</i>	48
7.6. <i>Preparo da Solução Nutritiva com uso da Vinhaça e da Solução a Base de Formulações Comerciais.....</i>	48
7.7. <i>Cultivo Hidropônico de Alface, Rúcula e Agrião.....</i>	49
7.8. <i>Análise Estatística.....</i>	50
8. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	51
8.1. <i>Decantação, Filtração e Análise Química da Vinhaça.....</i>	51
8.2. <i>Sobrevivência da Alface em diferentes diluições de vinhaça.....</i>	52
8.3. <i>Cultivo de Alface, Rúcula e Agrião.....</i>	53

8.3.1. <i>Cultivo de Alface</i>	53
8.3.2. <i>Cultivo do Agrião</i>	60
8.3.3. <i>Cultivo da Rúcula</i>	63
9. CONCLUSÕES	66
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
11. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
12. OUTRAS PERSPECTIVAS	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

UTILIZAÇÃO DA VINHAÇA COMO COMPONENTE DE SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA HIDROPONIA

RESUMO

A vinhaça é um resíduo originado das destilarias de álcool combustível com elevado potencial poluidor, entretanto, apresenta relativa quantidade de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma solução hidropônica a base de vinhaça, além de compará-la com uma solução comercial no cultivo de alface, rúcula e agrião. A vinhaça obtida de mosto de caldo foi decantada e filtrada seguida de análises químicas dos nutrientes. A solução hidropônica a base de vinhaça foi feita baseado nos resultados das análises químicas comparadas aos nutrientes presentes na solução comercial de Furlani, adicionando nutrientes como: nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), nitrato de potássio (KNO_3) fosfato monoamônio (NH_4PO_4), sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), micronutrientes ($\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $0,2 \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 e $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na vinhaça a 10%. Os experimentos foram conduzidos em sistema NFT (*Nutrient Film Technique*) com as culturas de alface, rúcula e agrião por 42 dias. Os tratamentos consistiram no emprego da solução a base de vinhaça e uma solução comercial feita com produtos YARA[®]. Foram avaliadas a altura da parte aérea em centímetros e a quantidade de folhas das culturas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias. Para a altura da parte aérea da alface a solução a base de vinhaça foi inferior 0,01% no desenvolvimento das plantas comparada com a solução comercial e para o número de folhas foi superior 0,05% a solução comercial. Para a altura da parte aérea do agrião a solução vinhaça foi superior 0,01% no desenvolvimento das plantas em relação a solução comercial e para o número de folhas foi inferior 0,01% a solução comercial. Para a rúcula, não foram encontradas diferenças significativas no desenvolvimento das plantas tanto para o comprimento da parte aérea ou número de folhas entre a solução vinhaça e a comercial. Em conclusão, foi possível estabelecer uma solução hidropônica com uso da vinhaça e essa solução permitiu um crescimento satisfatório das culturas, sendo superior na cultura da rúcula, além do custo ser 70% inferior a solução comercial comparada.

Palavras chave: NFT, solução comercial, solução nutritiva, alface, rúcula, agrião.

UTILIZATION OF VINASSE AS NUTRITIVE SOLUTION COMPONENT FOR HYDROPONICS

ABSTRACT

The vinasse is an originated residue from the distilleries of combustible alcohol with high pollutant potential, however it presents relative amount of nutrients. The aim of this research was to develop a nutritive solution using vinasse, besides comparing it with a commercial solution to cultivate lettuce, watercress and rocket. Vinasse obtained from juice must was decanted and filtered followed by chemical analyses of the nutrients. In agreement with the results of the chemical analyses compared to the present nutrients in the commercial solution of Furlani, these nutrients were added in the vinasse solution at 10%, such nutrients were: Calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Potassium nitrate (KNO_3), ammonium phosphate (NH_4PO_4), Magnesium sulfate heptahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) and micronutrients ($\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 and $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The experiments were carried out in system NFT (Nutrient film technique) with the crops: lettuce, watercress and rocket for 42 days. The treatments were: solution using vinasse and a commercial solution constituted with products YARA[®]. The height of the aerial part and the number of leaves of the cultures were evaluated at the 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days. For the height of the aerial part of the lettuce the solution using vinasse was inferior to the commercial solution ($P < 0.01$) and for the number of leaves was superior to commercial solution ($P < 0.05$). For the height of the aerial part of the watercress the solution using vinasse was best than to commercial solution ($P < 0.01$) and the number of leaves the solution using vinasse was lower to commercial solution ($P < 0.01$). For the rocket, there were not found statistical differences for the length of the aerial part and the number of leaves between the solution using vinasse and the commercial solution. In conclusion, it was possible to establish a nutritive solution using vinasse and this solution results a suitable growth for the crops, being higher in some cases. Moreover, the cost of the vinasse solution was 70% lower than a compared commercial solution.

Keywords: NFT, commercial solution, nutritive solution, lettuce, rocket, watercress.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira elevou seu desenvolvimento com o processo de modernização nos anos 60 e 70. A produtividade agrícola disparou devido às novas tecnologias de mecanização, agroquímicos potentes e específicos, especialização de mão de obra, equipamentos com altas tecnologias e políticas governamentais que favoreceu a maximização da produção agrícola no país. A cana-de-açúcar já era uma das principais culturas agrícolas brasileira, sendo cultivada desde a época da colonização. Esta tradição histórica levou o país a apresentar um modelo energético ao mundo, em que, no auge do Pro-álcool (entre 1983 e 1988), as vendas de carro a álcool chegaram a representar 95% das vendas totais indicando o poder das inovações políticas, institucionais e tecnológicas implantada. O setor sucroalcooleiro, hoje não trata a cana de açúcar, apenas como mais um produto, mas sim a principal biomassa energética do Brasil, servindo de base para o agronegócio no país.

Desta forma, a participação brasileira no mercado mundial de cana-de-açúcar tem variado dependendo da safra, mas tem alcançado o patamar de 30% das exportações (Carvalho 2006). De acordo com IBGE (2010) a produção nacional da cana-de-açúcar, ampliou sua produção em 5,9% em relação ao ano anterior, alcançando 140,7 milhões de toneladas. No estado do Paraná, devido à demanda do etanol proveniente da cana de açúcar, esta se apresenta mais competitiva em relação a outras culturas, o que justifica a expansão da área plantada e o crescimento industrial no setor.

Contudo, o aumento da produção dos cultivos e a industrialização da cana-de-açúcar apresentam outros aspectos relacionados à produção de etanol, tais como, a monocultura e, por conseguinte a fuligem gerada pelas queimadas na época da colheita. Outro aspecto negativo acontece também na industrialização da cana-de-açúcar, quando são gerados maiores volumes de efluentes conhecidos como vinhaça, principal (subproduto) das destilarias de álcool, conhecido principalmente como líquido pouco viscoso, de natureza ácida, que sai da bica de destilação do álcool com temperatura entre 85 à 90 °C possuindo odor desagradável (Rossetto 1987). A vinhaça é um produto da destilação do licor de fermentação do caldo da cana-de-açúcar, líquido residual, também conhecido, em algumas regiões por restilo e vinhoto. A vinhaça tem um potencial de poluição superior ao efluente doméstico, gerando sério problema para seu tratamento.

Durante décadas, quando ainda não se gerava os volumes atuais, a vinhaça já provocava preocupação nos órgãos de controle ambiental e na comunidade científica quanto aos impactos ambientais gerados por este resíduo. O trabalho de (Almeida 1952) já demonstrava que o tema despertava a atenção dos cientistas e era objeto de estudos desde as décadas de 40 e 50, época em que o resíduo era despejado nos mananciais de superfície, ou colocado em áreas reservadas chamada de “*Áreas de sacrifício*”. Estudos afirmam que para cada litro de álcool produzido, são gerados aproximadamente 13 litros de vinhaça, gerando grandes volumes o qual leva a preocupação mencionada. Portanto a vinhaça é um resíduo diferenciado devido a riqueza em diversos minerais, mas principalmente de potássio que é necessário para o desenvolvimento das plantas, o que permite o aproveitamento como fertirrigação nas lavouras e restos culturais da cana-de-açúcar com bons resultados econômicos. (Almeida 1952) afirmou que a aplicação da vinhaça favorecia a conservação e o aumento da fertilidade do solo. A evolução da produção de álcool permitiu que a produção nacional de carros a álcool atingisse níveis elevados, sendo, portanto inevitável o aumento da produção da vinhaça, o que vem agravando o problema do destino do resíduo.

Hoje o principal uso da vinhaça ainda é como fertilizante agrícola sobre restos culturais (cana soca) o que no momento é a melhor opção, porém com algumas preocupações quanto às dosagens, espaço entre aplicações e época a ser aplicada. Outros destinos em menor escala são mencionados como o uso para geração de biogás e ração animal. Para a vinhaça como solução nutritiva para hidroponia, não há ainda estudos relevantes, mas vários trabalhos relatam o seu uso como fertilizantes e que é rica em vários elementos importantes para o desenvolvimento das plantas.

(Penatti et al. 1988) relatam que a vinhaça pode ser empregada como fertilizante orgânico e mineral, contendo alto teor de matéria orgânica e potássio. A utilização da vinhaça como fertilizante agrícola nas lavouras de cana de açúcar tem aumentado em substituição parcial ou total à adubação mineral de parte dos canaviais (Glória, et al., 1984). Outros estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar, porém ainda não foi avaliado o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (Lyra, et al. 2003).

Por outro lado, a hidroponia (*Cultivo de vegetais em solução nutritiva*), sem utilização do solo, apesar de ser uma técnica muito antiga usada pelas civilizações, egípcia chinesa e asteca, ficou restrita, durante muito tempo, às experiências

laboratoriais. Esse tipo de cultivo se desenvolveu juntamente com a química, na busca do homem pelo conhecimento; "*Como e por que as plantas se desenvolvem*".

Segundo (Douglas 1997) nos anos 30 o Professor William Frederick Gericke, da Universidade da Califórnia, nos EUA, definiu a hidroponia, como o cultivo de plantas em meio líquido. Somente no século passado, a hidroponia voltou a ser estudada, precisamente em 1950, quando os pesquisadores Hoagland e Arnon, apresentaram uma solução nutritiva da qual resultou na dissolução de sais em água, que hoje é utilizada nas soluções hidroponicas. No Brasil o cultivo hidropônico se desenvolveu entre 1985 e 1987, com Shigueru Ueda, que iniciou com o cultivo das culturas de morango e alface, no sistema NFT (*Nutriente Film Technique*), seguido por pesquisadores como (Castellane e Araújo 1995); Furlani 1995) e (Bernardes 1997) que desenvolveram vários trabalhos para a aplicação comercial desta tecnologia.

Neste sistema a solução nutritiva deve reproduzir artificialmente a solução do solo, a qual de suprir as necessidades nutricionais das plantas conforme acontece naturalmente no solo. Em um sistema hidropônico todos os nutrientes são oferecidos para as plantas na forma de solução. Esta solução é preparada com sais fertilizantes. Um aspecto fundamental para o sucesso do cultivo hidropônico é a escolha da solução nutritiva, que deve ser formulada de acordo com o requerimento nutricional da espécie que se deseja produzir, portanto, esta solução deve conter em proporções adequadas, todos os nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento (Schmidt, et al. 2001).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de usar a vinhaça como componente de uma solução nutritiva para cultivo hidropônico, além de comparar essa solução à base de vinhaça com uma solução comercial, no desenvolvimento das plantas de alface, agrião e rúcula.

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo Geral*

Estabelecer uma solução hidropônica a base de vinhaça como meio alternativo para o uso sustentável deste efluente produzido na destilação de álcool, retirar parte da matéria orgânica e aproveitar os nutrientes dispostos no efluente, agregando valor ao mesmo. Testar possibilidade de uso no sistema hidropônico ou ainda como alternativa para recuperação de áreas degradada, adubação para frutíferas, arbóreas entre outros.

2.2. Objetivos específicos

- Montar um sistema hidropônico de técnica filme nutriente (NFT), para cultivo de alface (*Lactuca sativa*), agrião (*Euruca sativa* Mill.) e rúcula (*Nasturtium officinale* R. Br.);
- Desenvolver uma solução nutritiva usando vinhaça contendo íons em quantidade semelhante às quantidades presentes em soluções nutritivas comerciais;
- Cultivar culturas de alface, agrião e rúcula usando a solução com vinhaça;
- Monitorar as variações de pH e CE (condutividade elétrica);
- Acompanhar semanalmente alturas e quantidade de folhas das culturas citadas;
- Comparar a eficiência da solução nutritiva a base de vinhaça e a solução comercial;
- Testar a solução vinhaça em diferentes épocas do ano.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1. Características da Vinhaça

O Brasil possui grande vocação agrícola a qual é ajudado pelo clima e espaço territorial, onde favorece o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinalis*). Nos países Europeus, devido ao clima desfavorável e espaço limitado a opção utilizada e para a produção da beterraba (*Beta vulgaris*). Já nos EUA a produção de álcool provém do milho (*Zea mays L.*), (Macedo 2005).

Como os materiais têm diferentes origens, isto faz com que a vinhaça originada em seu processamento apresente diferentes propriedades. Por exemplo, a concentração de sódio na vinhaça de cana-de-açúcar é menor quando comparada com a da beterraba, sendo este um fator importante, pois a elevação dos valores de sódio é indesejável, ele causa condições nocivas ao solo e às plantas (Gemtos, et al. 1999).

A vinhaça produzida na destilação do álcool é composta por 93% de água, possui alta quantidade de potássio, matéria orgânica além de outros elementos como cálcio, nitrogênio, magnésio e sulfato que são essenciais à nutrição de plantas (Almeida, 1952; Glória 1976). O ferro aparece em maior concentração entre os micronutrientes, em quantidades muito pequenas, foram observados também concentrações de manganês, cobre, zinco, maior quantidades de matéria orgânica e baixo pH, os índices de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), chega entre 20.000 à 35.000 mg L⁻¹, tornando nociva à fauna dos rios e lagos, onde este resíduo possa atingir (Silva et al. 2007). O que também pode ocorrer com este resíduo é poluir os oceanos, podendo afugentar a fauna marinha que chegam às costas brasileiras para procriação Freire e

(Cortez 2000). Analisando a vinhaça de diversas procedências e variedades, e, de mostos diferentes, pode-se observar através dos resultados obtidos que há semelhança na composição e que, mesmo variando sua concentração este resíduo pode ser empregado para uma mesma finalidade (Rodella e Ferrari 1977). A produção de álcool no Brasil advém da cana-de-açúcar onde são utilizados diferentes tipos de mostos como, o de caldo misto que mistura diferentes proporções de caldo com melaço ou a vinhaça de mosto de melaço puro, sendo este um mosto mais concentrado, pois é um subproduto da produção de açúcar a qual é obtida no processo de cristalização do caldo de cana-de-açúcar. O processo mais usado emprega o caldo extraído da cana pelas moendas. Este recebe ácido sulfúrico e nutriente, para então formar o mosto que alimenta as dornas de fermentação da destilarias de álcool. Este mosto é conhecido como mosto de caldo. A vinhaça de mosto misto é aquela originada da mistura do mosto de caldo e de mosto de melaço (Silva e Orlando 1981).

A Tabela 01 apresenta a composição da vinhaça dos diferentes tipos de mosto.

Tabela 1. Composição química de vinhaças conforme o tipo de mosto.

Parâmetro	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2-5,0	3,7-4,6	4,4-4,6
Temperatura	80-100	80-100	80-100
DBO (mg/l), (1)	25.000	6.000-16.500	19.800
DQO (mg/l), (2) ²	65.000	15.000-33.000	45.000
Sólidos totais (mg/l)	81.500	23.700	52.700
Sólidos voláteis (mg/l)	60.000	20.000	40.000
Sólidos (fixos (mg/l)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg/l N)	450-1.610	150-700	480-710
Fósforo (mg/l P)	100-290	10-210	9-200
Potássio (mg/l K)	3.740-7.830	1.200-2.100	3.340-4.600
Cálcio (mg/l MgO)	450-5.180	130-1.540	1.340-4.600
Magnésio (mg/l MgO) ²	420-1.520	200-490	580-700
Sulfato (mg/l SO ₄)	6.400	600-760	3.700-3.730
Carbono (mg/l C) ⁴	11.200-22.900	5.700-13.400	8.700-12.100
Relação C/N	16-16,27	19,7-21,07	16,4-16,43
Matéria orgânica (mg/l)	63.000	19.500	3.800
Subst. Redutoras (mg/l)	9.500	7.900	8.300

Fonte: Marques (2006).

A elevada quantidade de matéria orgânica contida principalmente no mosto de melaço é a consequência da biodegradação que aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes, aumento da capacidade de troca de cátions e soma de bases. O mineral com maior quantidade entre os macroelementos é o potássio e nos microelementos a

quantidade mais elevada é o ferro (Marques 2006). O alto teor destes elementos na vinhaça pode modificar as condições de salinidade do solo, e também, a condutividade elétrica do meio, o qual sofrerá alterações consideráveis.

De acordo com (Ranzani 1956) o aumento nos teores destes elementos está relacionado com aplicação de doses crescentes de vinhaça e que a vinhaça em função de sua característica química, pode ser usada em diversos tipos de aplicação, dentre elas o uso agrícola que pode substituir total ou parcialmente as adubações minerais da cana-de-açúcar e outras culturas. Alguns fatores podem interferir na composição química da vinhaça como, por exemplo, a natureza ou a origem da matéria prima, ou ainda o tipo e maneira como é operado o aparelho de destilação. O tipo e natureza do mosto utilizado podem gerar variações na composição química dos resíduos.

(Penatti et al. 1988) afirmaram que, a vinhaça pode ser empregada como fertilizante orgânico e mineral, porque contém alto teor de matéria orgânica e potássio, sendo relativamente pobre em nitrogênio e cálcio com baixos teores de fósforo e magnésio. Contudo, este resíduo apresenta alta concentração de matéria orgânica e elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), com níveis muito baixos do potencial hidrogeniônico (pH), características estas que lhe dão maior potencialidade corrosiva, sendo caracterizada como, efluente com alto poder poluente, chegando a ser cem vezes maior que o do esgoto doméstico, o que explica seu elevado valor fertilizante (Freire e Cortez 2000).

O elevado grau de preocupação com a vinhaça é devido a sua composição química e suas características ácidas e corrosivas. (Timbau 1978) mostrou em seus trabalhos o quanto era danoso para o meio ambiente o lançamento destes resíduos diretamente nos rios, córregos e lagos e que devia ser feito algo para limitar e adequar o descarte do mesmo.

3.2. Tratamento Físico-Químico da Vinhaça

Para se adequar a todas as exigências ambientais, às unidades produtoras de etanol, estão buscando desenvolver mecanismos eficientes. Algumas tecnologias estão surgindo como o tratamento de efluentes implantado pela Usina Colombo, de Santa Adélia (SP), que está usando um novo sistema, denominado Sistema Aerado de Lodo Biológico, suficiente para uma cidade de 200 mil habitantes. Formado por três lagoas e dois tanques de decantação (Figura 01), este processo utiliza bactérias para decompor a

matéria orgânica e atingir os níveis de poluição recomendados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Artigo 24 § VIII CETESB (2010).



Figura 01- Vista geral do Sistema Aerado.

Fonte: Usina Colombo (2001)

O tratamento da vinhaça que apresenta maior potencialidade é o físico-químico. Para reduzir a DQO (Demanda Química de Oxigênio) do sobrenadante, utilizam-se processos de decantação, coagulação, floculação e sedimentação. Dessa forma, as partículas coloidais presentes na vinhaça com parte de matéria orgânica serão arrastadas para o lodo.

No processo de decantação as águas residuais são geradas e encaminhadas para o sistema de tratamento. A primeira etapa abrange o processo de separação de óleos e graxas através de tanques de decantação. Depois o efluente vai para a lagoa de recepção, para haver uma homogeneização da matéria orgânica (Figura 02).



Figura 02- Sistema para decantação de resíduos sólidos da vinhaça

Fonte: Usina Colombo (1987) www.editoravalete.com.br/site.../ed.../ed_77a.htm, acesso maio de 2010.

A desestabilização por adição de produtos químicos coagulantes, onde são homogeneizados e acontece a coagulação. Os coagulantes reduzem as cargas elétricas dos colóides, permitindo que as partículas se aproximem coagulem e decantem. A floculação geralmente é apenas um processo de mistura onde os coágulos formados se encontram e aumentam de tamanho tornando-se mais facilmente separar do meio, na decantação ou na filtração. Os produtos comumente usados são o sulfato de alumínio e a barrilha (Na_2CO_3), mas pode ser usado também um polieletrólito (sintético de clarificação), para formar flocos mais pesados, no caso da vinhaça pela quantidade de matéria orgânica os polieletrólitos são bons aliados.

Na questão econômica (Silva e Orlando 1981) propuseram alternativa de tratamento para a vinhaça reduzindo o consumo de energia com o aproveitando do processo de clarificação e decantação contínua, usado na lavagem de cana e do lodo resultante da decantação, ambos podem ser aproveitados como fertilizante aplicando na soqueira ou posteriormente no plantio da cana-de-açúcar.

3.3. Aplicação da Vinhaça

De modo geral, a vinhaça apresenta elevadas cargas poluentes que podem alterar as características do solo, contaminando rios lagos e nascentes próximas às áreas de aplicação. Por outro lado a vinhaça tem melhorado a disponibilidade de elementos essenciais para as plantas e que após algum tempo acontece a oxidação da matéria

orgânica e então aumenta a capacidade de trocas catiônicas e eleva o potencial hidrogeniônico do solo. Além do uso da vinhaça como fertilizante agrícola, estudos têm sugerido outros usos como; na geração de biogás, ração animal e na construção civil para fabricação de tijolos chamados solo-vinhaça entre outros.

3.3.1. Fertilizante Agrícola

Em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e dos nutrientes contidos na vinhaça com destaque para o potássio, as destilarias brasileiras têm adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (Cunha, et al. 1981). A vinhaça como qualquer outro resíduo, é nociva ao meio ambiente, contudo este é um resíduo diferenciado, dado a sua riqueza em minerais e matéria orgânica, o que permite ser aproveitada como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar e resultados economicamente viáveis. Para a aplicação no solo como fertilizante existe técnicas de aplicação, sendo que a mais usada é a fertirrigação, que pode ser por inundação ou sulco de infiltração, por aspersão com equipamento fixo, ou aspersão com canhão hidráulico ou ainda por veículos tanque para distribuições nos talhões (Orlando Filho 1983).

Os canais de infiltração caíram em desuso, ou seja, pouco usados, por não ser possível quantificar o volume aplicado, o que pode estabelecer pontos com excesso e prejudicar tanto a cultura quanto a salinização do solo causando contaminação por escoamento ou infiltração para os corpos de água. Este sistema é abastecido por um canal de escoamento (adutora), onde a vinhaça, associada aos demais efluentes líquidos como, água de condensação, água de lavagem da cana que são retiradas dos tanques de contensão, e lançadas nos canais principais, passando pelas margens dos talhões e canais secundários. Sulcos são abertos entre as linhas, tornando um método mais barato, pois não há consumo de energia (Figura 03).



Figura 03- Canal adutora de transporte de vinhaça
Fonte: Antonio Dias Santiago, (2006)

Algumas inovações tecnológicas chegaram para melhorar os sistemas de aplicação da vinhaça. Neste sistema aproveita-se a adutora principal a qual distribui a vinhaça para canais principais e secundários, e estes, chegam aos sulcos de plantio por inundação ou por tubos de PVC (polivinilcloro) com saídas para cada sulco. Este sistema necessita de declividade de 0,2 à 0,5% com sulcos abertos entre linhas da cana (Rossetto 1987).

Devido às novas normas ambientais para aplicação da vinhaça nos canaviais, os canais devem possuir revestimento com lona para conduzi-la aos pontos convenientes evitando que grande parte se perca no caminho se infiltrando no solo. Estes canais chamados “*canais principais*” levam a vinhaça diretamente aos depósitos em lagoas abertas em pontos estratégicos na propriedade estocando o volume necessário onde a aspersão e aplicação é feita diretamente do depósito para os canaviais ou áreas preparadas para implantação de novos cultivos. São chamados canais “principais primários” conduzem a vinhaça diretamente a um ponto determinado. Secundário quando são ramificados para vários pontos, saindo do canal principal levando a vinhaça a outros depósitos, ou diretamente aos sulcos entre linhas (Figura 04).



Figura 04- Sulcos entre linhas em canaviais.
Fonte: Veronez Projetos e Consultoria, (2007)

Os canais distribuem o produto diretamente até a plantação, o qual é controlado visualmente, não necessita de equipamento para aplicação, ou seja, abastecendo diretamente os sulcos nas entre linhas de plantio. O sistema de transportar com caminhão tanque são usados para distancias maiores, é eficiente pois pode percorrer o campo lançando a vinhaça por meio de bombas acopladas á tomada de força ou acionadas por motores independentes, ou ainda levando a vinhaça em pontos mais elevado e por gravidade continuar sendo aplicada (Figura 05).



Figura 05- Aplicação de Vinhaça por Caminhão-Tanque
Fonte: Rossetto (2007)

Este sistema é de rápida implantação e de fácil operação. Porém, os custos são mais elevados pelo consumo de combustível e mão de obra especializada. Embora sendo mais dispendioso, ainda é bastante usado (Marques 2006).

A aplicação da vinhaça como fertilizante sobre plantas novas, restos culturais e soqueira dos cultivos da cana é ainda o processo mais usado pelas destilarias. O sistema de aplicação controlada vem trazendo excelentes resultados, em alguns casos substituindo praticamente toda a adubação química, baixando o custo de produção e gerando mais lucro para os produtores (Figura 06).



Figura 06- Aplicação de Vinhaça como fertilizante.
Fonte: Programa de Pesquisa em Políticas Públicas (2007)

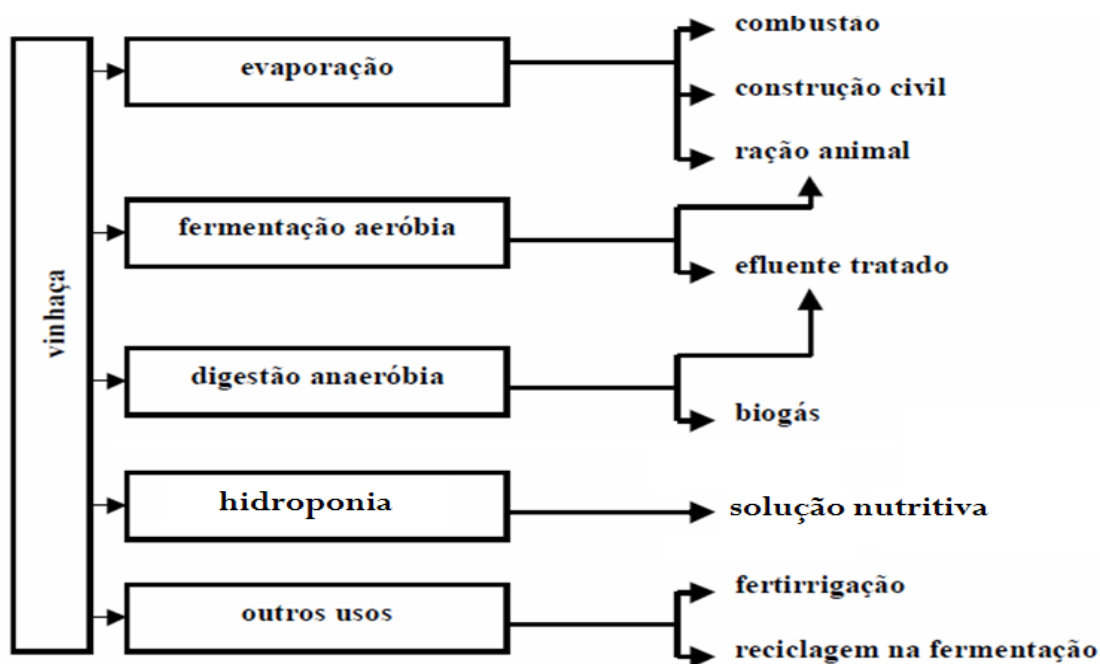
A tecnologia de uso agrícola da vinhaça no cultivo da cana, como fertilizante, foi desenvolvida quase toda no Brasil, isso pode ser explicado pela grande geração desse tipo de resíduo. Estudos têm demonstrado que para cada litro de álcool produzido, são gerados aproximadamente 13 litros de vinhaça. A evolução da produção de álcool permitiu que, a produção nacional de carros a álcool atingisse níveis elevados. Portanto, é inevitável que o aumento da produção da vinhaça aconteça, e com isso ocorra o agravamento do destino dos resíduos gerados. A produção de vinhaça acontece em todo o ciclo canavieiro que, dependendo da região, pode acontecer de abril a janeiro, parando a produção apenas por dois meses.

3.3.2. Outros Usos da Vinhaça

Além do uso da vinhaça como fertilizante agrícola, outras soluções foram sugeridas como a concentração da vinhaça por evaporação ou secagem para poder ser usada para a alimentação animal. Seria possível produzir proteínas em fermentação anaeróbia utilizando bactérias para a geração de biogás.

(Rolim 1996) utilizou a vinhaça para desenvolver tijolos para construção civil, chamado solo-vinhaça. (Freire e Cortez 2000) sugeriram a combustão da vinhaça ou incineração para recuperação dos sais de potássio e seu aproveitamento energético. Estudos das tecnologias mencionadas podem ser classificados em cinco grupos conforme o (Fluxograma 01), envolvendo tipos de tratamentos, tecnologias que requerem a concentração do resíduo por evaporação, fermentação aeróbia, digestão anaeróbia e solução nutritiva para hidroponia usando a vinhaça e outros usos.

Fluxograma 01: Grupos de opções tecnológicas para destinação da vinhaça.



Fonte: Adaptada de Corazza (2001)

No fluxograma 01, o uso da solução nutritiva a base de vinhaça na hidroponia soma-se as outras quatro tecnologias de aplicação da vinhaça, criando mais um destino limpo para o resíduo e correto para o meio ambiente.

3.3.3. Efeito da Vinhaça no Solo

(Almeida et al. 1950) realizaram os primeiros trabalhos para o uso da vinhaça como fertilizante agrícola, o que provou ser o contrário do que se pensava. Após a aplicação num primeiro momento percebia um aumento da acidez, mas gradativamente o teor de acidez reduziu-se devido à elevada atividade microbiana que acontecia após a adição de matéria orgânica presente na vinhaça. No início dos trabalhos foram recomendadas doses elevadas de vinhaça, sem quantificação ou tratamento era aplicada aleatoriamente, obtendo resultados desastrosos. Nos anos 70 um trabalho inovador e mais aprofundado foi realizado na Usina da Pedra São Paulo, onde pesquisadores desenvolveram meios racionais para o uso da vinhaça (Glória e Magro 1976). Num primeiro estudo analisaram a composição química da vinhaça para depois calcular a quantidade a ser aplicada, usando como parâmetro a análise do solo e a análise da vinhaça assim era então possível quantificar a aplicação para cada região o que era determinado pela qualidade de cada solo, sendo possível recomendar doses precisas para cada tipo de solo e cultura. Desta forma as doses aplicadas foram reduzidas, porém era mais eficiente o que tornou viável a aplicação da vinhaça na cultura da cana de açúcar.

A partir destes estudos, tornou-se possível substituir grande parte da adubação química pela vinhaça. As características físicas e químicas do solo também tiveram grande melhoria com adição da matéria orgânica.

(Glória e Orlando Filho (983) afirmam que os efeitos da vinhaça no solo são, a elevação do pH, aumento da disponibilidade de alguns íons, aumento na capacidade de troca catiônica (CTC), aumento na capacidade de retenção de água e melhoria da estrutura física do solo. Para os produtores, a vinhaça é vista e aceita como um grande aliado, por elevar a população microbiana do solo melhorando a aeração e a liberação de nutrientes. Usada como fertilizante era responsável pelo aumento da produtividade da cana de açúcar. Já (Leal et al. 1983) relataram que a aplicação da vinhaça nos primeiros 15 dias formava acidez no solo, mas que com o passar do tempo percebia uma alteração gradativa do pH do solo. Quando um solo recebe material orgânico em condições aeróbicas há oxidação do carbono orgânico com perda de elétrons. Isto faz com que se eleve o patamar de produtividade de muitos solos cultivados com cana de açúcar. E (Rodella et al. (1983) descrevem que os efeitos de elevação do pH do solo podem ser efêmeros, sendo que o pH do solo deve retornar aos valores originais após um

determinado período de tempo. Ambos têm concluído que a vinhaça contribui para a elevação do pH corrigindo a acidez do solo e promovendo a CTC (Capacidade de Troca Catiônica), que por sua vez aumenta a disponibilidade dos nutrientes. Em física do solo relata-se que a vinhaça melhora a estrutura, aumenta a retenção de água e melhora a atividade biológica. Porém, existe grande preocupação quanto às prováveis ocorrências de infiltração e alteração nas características das águas subterrâneas e também nos processos erosivos de alta intensidade sendo inevitável que ocorra lixiviação de vários materiais principalmente o nitrato e o potássio. Recomenda-se analisar alguns aspectos para uma aplicação segura, tais como, quantidade a ser aplicada, poder de infiltração do solo, época de aplicação, tecnologia de aplicação, equipamentos e consciência ecológica.

3.3.4. Efeito da Vinhaça nas Águas Subterrâneas

Estudos foram desenvolvidos em relação ao monitoramento da sensibilidade do lençol freático e dos aquíferos. A contaminação dos reservatórios naturais de águas potáveis seria um crime irreparável contra a humanidade. A pouca resistência à contaminação está associada aos locais nas bacias hidrográficas onde quanto menor for o tempo de trânsito de um contaminante da fonte de poluição até o aquífero mais rápido será a contaminação. Pode-se citar como exemplo, a exploração da cana-de-açúcar nas áreas de recarga do aquífero Guarani, na região de Ribeirão Preto, importante reserva de água doce para o sul-sudeste do Brasil, com menor distância da superfície do solo e com curto tempo de trânsito para os contaminantes. Estudo sobre a qualidade da água do sub-solo sob vários sistemas de cultivo foi analisado por (Shapley e Smith 1991), que verificaram que a cobertura do solo proporcionou redução nas perdas de nitrogênio por lixiviação e de fósforo por arrastos da camada de solo superficial. (Hassuda 1989) em suas pesquisas observou que as águas subterrâneas sofreram alterações físico-químicas após ter sido aplicada vinhaça a taxas muito elevadas, cerca de $12.000 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ durante nove safras seguidas em solo arenoso em clima temperado. Doses usuais de aplicação estão entre 60 a $500 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ por ano em diversos tipos de solo. Portanto, deve ser ressaltado que o lençol freático é muito importante, sendo a única fonte de água em regiões áridas como o nordeste do Brasil. Sua contaminação seria possível somente pelas atividades da agricultura que colocaria em risco severo a sobrevivência nesses ambientes áridos. O estado de São Paulo, por ser um grande produtor de cana de açúcar no país, saiu na frente com um severo controle deste tipo de contaminação, fazendo

acompanhamento das quantidades de nitrato na água. Em outras regiões são realizados controles através do acompanhamento do aumento da salinidade e da concentração do nitrato comumente encontrados em águas subterrâneas em áreas agrícolas. No caso específico do nitrato o que ocorre é um acúmulo no perfil do solo em períodos secos e pode haver também lixiviação nos períodos das chuvas (Rimski-khorsakov, et al. 2004).

O uso da vinhaça como fertilizante agrícola em larga escala nas plantações de cana-de-açúcar, usado pelas destilarias de álcool, tem acarretado sérios problemas de contaminação em águas superficiais e subterrâneas. (Resende et al. 2003) relatam que existe grande preocupação acerca dos efeitos do nitrato na saúde da população humana e animal.

(Stevenson 1986) mostrou que os impactos causados pelo nitrato não se restringe apenas à saúde humana e animal, o seu excesso em plantas causam enfezamento, ou seja, a planta para de se desenvolver. Além do problema da poluição com nitratos, também deve ser salientado que a poluição de cursos d'água pode ocorrer também com o fosfato, este muitas vezes associado ao uso de fertilizantes em geral os orgânicos para facilitar sua locomoção, já que é mineral praticamente imóvel no solo. Deste modo, o modelo de agricultura adotado não parece estar próximo da sustentabilidade e o que parece é que estamos na contra mão. A necessidade da produção crescente tem levado a utilização de tecnologias sofisticadas, e que nem sempre é feita para pensar em algo que não seja produzir a qualquer preço cada vez mais, e na maioria do tempo não existe a menor chance de preocupação com responsabilidade sócio-ambiental.

3.3.5. Efeitos da Vinhaça nas Plantas

A eficiência nutricional é o ponto primordial para uma produção equilibrada para todas ou qualquer tipo de cultura. Na agricultura moderna os custos se elevam cada vez mais. O ponto almejado é a maior produção, e muitas vezes são esquecidos pontos primordiais para uma boa produção, o aumento da produtividade esta relacionada com o clima, solo, eficiência da cultura, fertilidade e manejo correto. As características químicas e físicas do solo e a eficiência da cultura escolhida estão totalmente ligadas, sendo um dependente do outro. Pensando nestes quesitos os produtores tem buscado maneiras de produzir com eficiência, baixando custo de produção, elevando a receita da propriedade agrícola. A vinhaça que até pouco tempo era descartada nos rios e área de descarte deixou de ser um simples resíduo industrial para ser um ótimo fertilizante

agrícola aceito pelos produtores de cana de açúcar, que tem visto a olhos nus os custos de produção mais baixos, já que a aquisição de fertilizante baixou e ao mesmo tempo elevou os lucros. Do ponto de vista ambiental um resíduo poluente deixa de ser jogado nos rios passando a ser utilizado como fertilizante em doses recomendadas sobre os restos de culturas, o que representa ganho muito importante. Para as plantas a utilização da vinhaça apresentou efeitos positivos sobre a produtividade agrícola por hectare prolongando o ciclo da cana (Freire e Cortez 2000).

Com os resultados expostos, esta prática está sendo adotada até hoje por praticamente todas as usinas de álcool no Brasil. Técnicas como estas estão sendo desenvolvidas com características próprias, cada empresa tem sua forma de trabalhar, o que tem gerando inúmeros ensaios que comprovam os resultados positivos obtidos na produtividade agrícola, associados à economia dos adubos minerais (Penatti, et al. 1988). A grande vantagem no emprego da vinhaça é que ela pode substituir em grande parte os nutrientes da adubação mineral, elevando a produtividade da cana-de-açúcar e em outras culturas.

4. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DA VINHAÇA

Ainda hoje o homem tem utilizado os recursos naturais como extrativistas sem nem uma responsabilidade, considerando que os recursos naturais são inesgotáveis. Em troca da devastação sem limites, existe fartura de alimentos, combustíveis e tecnologia, capazes de salvar vidas. Em contrapartida, os desastres ecológicos pela degradação do meio ambiente se tornaram comuns, ao mesmo tempo acontecem chuvas intensas em uma região, secas e desertificação em outras. A degradação da biodiversidade e a contaminação das fontes de água e do solo são fatores de grande relevância neste contexto, que associado a pouca importância das autoridades tem se elevado a pontos preocupantes. A população cresce e em decorrência do sucesso da sociedade, a pressão por alimento se torna excessiva para os recursos naturais e pela falta de alimentos começa a gerar fome e desagregação social. Fatos estes que obrigaram os legisladores e a comunidade científica buscar meios de resguardar os recursos naturais.

Entretanto, (Abreu Júnior et al. 2005) descreveram que com uso do solo cada vez mais intenso, cresceu também a preocupação da população com relação à segurança ambiental de forma que a legislação surgiu para normatizar o uso de resíduos na agricultura. Até o final dos anos 70, quando a prática foi proibida, volumes crescentes

de vinhaça eram lançados nos mananciais superficiais, principalmente os cursos d'água como nascentes, rios e lagos das proximidades das usinas de açúcar e álcool.

O Instituto de Economia Agrícola, o Estado de São Paulo expandiu sua área de cultivo de cana de açúcar em 54% desde 2002, passando hoje por uma fase agrícola só comparável à do café, que devastou boa parte das matas. Para evitar abusos, a CETESB criou em 2006, um protocolo que determina os limites máximos e seguros para a aplicação do resíduo no solo. Hoje, a agência considera que a situação está sob controle, mas, em sigilo, pessoas ligadas à área dizem que não há como garantir que usinas não despejem vinhaça em rios longe dos olhares da fiscalização CETESB (2001). De qualquer modo o conhecimento da população em relação aos diferentes tipos de resíduos, seja, de baixo ou alto poder poluente, ainda é muito pequeno, considerado os prejuízos que estes possam acarretar ao meio ambiente.

Hassuda (1989) ressalta que o Estado de São Paulo conta com legislação sobre a contaminação de aquíferos subterrâneos desde 1988, e que, até então, não havia na esfera federal nenhuma legislação a esse respeito (Tabela 02).

Tabela 02: Legislação sobre a contaminação de aquíferos subterrâneos

Legislação	Descrição
Portaria MINTER n° 323, de 29/11/1978	Proíbe o lançamento da vinhaça nos mananciais superficiais.
Portaria MINTER n° 323, de 03/11/1980	Proíbe o lançamento da vinhaça nos mananciais superficiais.
Resolução CONAMA n° 0002, de 05/06/1984	Determinação da realização de estudos e apresentação de projeto de resolução contendo normas para controle da poluição causada pelos efluentes das destilarias de álcool e pelas águas de lavagem da cana.
Resolução CONAMA n° 0001, de 23/01/1986	Obrigatoriedade da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para novas indústrias instaladas ou qualquer ampliação efetuadas nas já existentes.

Fonte: Cetesb (2001)

4.1. As Leis Federais

As legislações Federais, não são específicas quanto a resíduos como a vinhaça, e são usado desde de 1965 – Código Florestal, Resoluções e Portarias migraram mais tarde os que se aplicam aos resíduos como a vinhaça:

- ✓ Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal;
- ✓ Resolução do CNRH nº 15, de 01 de junho de 2001 - Diretrizes para a gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas;
- ✓ Portaria do Ministério do Interior nº 158, de 03 de novembro de 1980 – Dispõe sobre o lançamento de vinhoto em coleções hídricas e sobre efluentes de destilarias e usinas de açúcar;
- ✓ Portaria do ministério do Interior nº 124, de 20 de agosto de 1980 – Normas para localização e construção de instalações que armazenem substâncias que possam causar poluição hídrica. CETESB / P4.231 /dez./06;
- ✓ Portaria do Ministério do Interior nº 323, de 29 de novembro de 1978 – Proíbe o lançamento de vinhoto em coleções de água;
- ✓ Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, de 25 de março de 2004 – Estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

4.2. As Leis Estaduais

Estas leis começaram pelo o estado de São Paulo, onde o cultivo da cana foi mais intenso, e conseqüentemente surgiram às primeiras destilarias. Nestas regiões surgiram os impactos ambientais, então se fazendo necessária uma legislação própria:

- ✓ Lei nº 997, de 31 de maio de 1976 – Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente;
- ✓ Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 – Aprova o regulamento da Lei nº 997 de 31 de maio de 1976 - Controle da poluição das águas, ar, resíduos, padrões, exigências, licenciamento, penalidades;
- ✓ Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988 – Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas;
- ✓ Lei nº 6.171, de 04 de julho de 1988 – Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola;

- ✓ Constituição do Estado de São Paulo de 05 de outubro de 1989. Capítulo IV. Do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais e do Saneamento;
- ✓ Lei nº 7.641, de 19 de dezembro de 1991 – Dispõe sobre a proteção ambiental das bacias dos Rios Pardo, Mogi-Guaçu e Médio Grande e estabelece critérios para o uso e ocupação do solo;
- ✓ Decreto nº 32.955, de 07 de junho de 1991– Regulamenta a Lei nº 6.134, de 02 junho de 1988 que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas;
- ✓ Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997 – Regulamenta a Lei nº 6.171, de 04 de julho de 1988 que dispõe sobre uso, conservação e preservação do solo agrícola.

5. *HIDROPONIA*

A hidroponia refere-se ao cultivo de vegetais em solução nutriente, sem utilização do solo. Apesar de ser uma técnica muito antiga usada pelas civilizações, egípcia, chinesa e asteca, ficou restrita, durante muito tempo, às experiências laboratoriais.

(Prieto et al. 2006) descrevem que durante a Segunda Guerra Mundial, precisamente em 1939, o Exército norte americano usou o cultivo hidropônico a céu aberto em ilhas do pacífico, em áreas rochosas usando como substrato areia, produzindo hortaliças e verduras frescas para alimentação das tropas. Outros países como Israel e Japão, adotaram a alternativa de cultivo hidropônico logo que acabou a guerra. Esta técnica foi adotada seguidamente por países europeus, que melhoraram as técnicas tornando possível a produção em escala comercial. (Resh 1985) afirma que havia cultivos sem a utilização do solo na era cristã: Obras históricas como os jardins suspensos da Babilônia, jardins dos Astecas, entre outras obras citada nas historia antigas. (Jensen 1997) esclarece que no século XVII, na França e Inglaterra, começaram os primeiros experimentos usando as técnicas hidropônicas.

A hidroponia é provavelmente o método mais intenso de produção vegetal na agricultura industrial. Combinada com plantio protegido em casas de vegetação ou estufas, a técnica alia altos investimentos com tecnologias avançadas. É altamente produtiva, conserva água e solo, além de proteger o ambiente.

Contudo, os sistemas hidropônicos podem ser classificados como aberto quando a solução nutritiva é descartada, fechado quando não se descarta a solução, a qual pode ser reaproveitada para as culturas subsequentes.

Segundo (Prieto et al., 2006) técnicas de hidroponia são recentes e vem se expandindo de maneira muito rápida, principalmente em regiões metropolitanas próximas a centros consumidores, onde as áreas de produção já são escassas e existe grande demanda por vegetais. O cultivo hidropônico possui algumas vantagens como: possibilidade de aproveitamento de áreas onde não é possível realizar cultivos convencionalmente, zonas com chuvas escassas, solos degradados ou pequenas áreas.

(Teixeira 1996) descreve vários fatores importantes, tais como, produção de melhor qualidade, menor mão de obra empregada, uso mínimo de produtos químicos, colheita precoce, menor consumo de água. Cita ainda vantagens como, maior aproveitamento dos insumos, maior aceitação dos produtos no mercado, aproveitamento de áreas não usadas em cultivos convencionais, não necessita de rotação de culturas e maior produtividade por área. Seguem na Tabela 03, as principais hortaliças cultivadas no sistema hidropônico e suas produtividades por hectare comparando com a produtividade no campo.

Tabela 03: Produção de hortaliças cultivadas em estufas no sistema hidropônico e em campo.

Culturas	n° de cultivo – ano	t/ha/ano – Hidroponia	t/ha/ano- campo
Brócolis	3	97,5	10,5
Feijão-vagem	4	46,0	6,0
Repolho	3	172,5	30,0
Pepino	3	750,0	30,0
Berinjela	2	56,0	20,0
Alface	10	313,0	52,0
Pimentão	3	96,0	16,0
Tomate	2	375,0	100,0

Fonte: Teixeira (1996)

Têm-se ainda vantagens como à independência do cultivo, que não sofre interferências climáticas como: Altas temperaturas, frios e geadas, chuvas fortes e granizo, ventos, encharcamento, etc. Estes fatores vêm permitir que seja possível cultivar diversas culturas o ano todo.

(Prieto et al., 2006) também analisaram fatores econômicos como ciclo de produção menor, possibilidade de uso do espaço vertical da casa de vegetação, maior produtividade, redução dos tratos culturais que antecedem o plantio, com equipamentos

mecânicos ou atividades braçais durante o ciclo das culturas, são procedimentos que elevam os custos de produção. Na hidroponia estes fatores são extintos o que tende a suavizar os custos de produção e manutenção das culturas. (Faquin et al. 1996) destaca também que no sistema hidropônico ocorre antecipação da colheita devido ao encurtamento do ciclo da planta e que no cultivo feito longe do solo às plantas ficam livres dos contaminantes do meio, como: bactérias, fungos, lesmas, insetos e vermes. As pragas e doenças são bem manejadas pelo próprio sistema do ambiente, pois sendo este ambiente fechado, torna o ataque quase inexistente, diminuindo ou anulando a aplicação de defensivos, o que possibilita planta saudável, crescendo em um ambiente controlado que procura atender as exigências das culturas, o que gera retorno rápido e economia (Faquin, et al. 1996).

No sistema hidropônico não há necessidade da rotação de culturas, podendo produzir uma única cultura quantas vezes for compensativa durante todo o ano (Teixeira, 1996). A água é um dos principais problemas nas culturas convencionais, quando estas precisam ser irrigadas. O custo é caro tanto na implantação como na manutenção dos sistemas, além disso, uma grande parte da água fornecida é desperdiçada pelo volume aplicado no solo para atender a demanda de consumo exigido pelas plantas. Tal fato não ocorre na hidroponia, pois a água neste caso está toda contida no sistema e, no final do ciclo, das culturas, pode ser reaproveitada no próprio sistema apenas ajustando a solução.

(Van Os 1999) constatou em suas pesquisas, que é possível economizar na hidroponia um percentual que varia, de 15%, 21% e 29% na água requerida para a produção de crisântemo, pepino e rosas, se comparado à produção no solo. (Lorenzo 2003) conseguiu reduzir em 32% o consumo de água no tomateiro, através do uso de cortinas de sombreamento de alta reflexão, instaladas sobre casa de vegetação.

5.1. MODELO DE SISTEMAS HIDROPÔNICOS

5.1.1. Sistema Nutrient Film Technique-NFT

Segundo Furlani et al., 1999) no Brasil tem se elevado o interesse pelo cultivo hidropônico, predominando o sistema *Nutrient Film Technique-NFT*.

Segundo (Prieto et al. (2006) descrevem uma técnica onde há circulação de um fino filme de solução nutritiva dentro de canais com declividade de 2 à 4%. Estes canais podem ser instalados sobre o solo ou em bancadas de madeira, concreto ou metal. O cultivo sem solo, principalmente o sistema NFT, vem colaborar com as expectativas de

sustentabilidade dos sistemas de produção através do baixo consumo de água, eficiência no uso de nutrientes e agrotóxicos. Esta técnica promove a recirculação da solução nutritiva e possibilita uma maior eficiência na utilização de água (Montezano, et al. 2002).

(López-Galvez e Peil 2000) compararam a produção de frutos e resíduos na cultura de tomate em sistema NFT e em substrato, concluindo que a técnica melhorou a eficiência no uso de água em 62%. O sistema NFT é composto basicamente de um tanque de solução nutritiva em PVC ou inox, um sistema de bombeamento de baixa potência canais de cultivo e de um sistema de retorno ao tanque. A solução nutritiva é bombeada aos canais e escoar por gravidade, formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes (Figura 07).

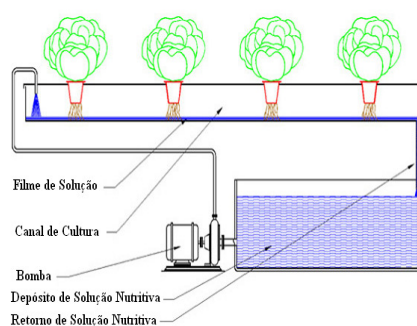


Figura 07- Sistema Nutrient Film Technique -NFT

Fonte: www.hydor.eng.br

5.1.2. Sistema de Gotejamento

É um sistema ativo, e possivelmente o mais utilizado no mundo. A solução nutritiva é retirada do depósito por uma bomba controlada por um temporizador e levada através de tubos até o colo da planta, onde é descarregada na forma de gotas, por meio de pequenos dispositivos chamados gotejadores (Figura 08).

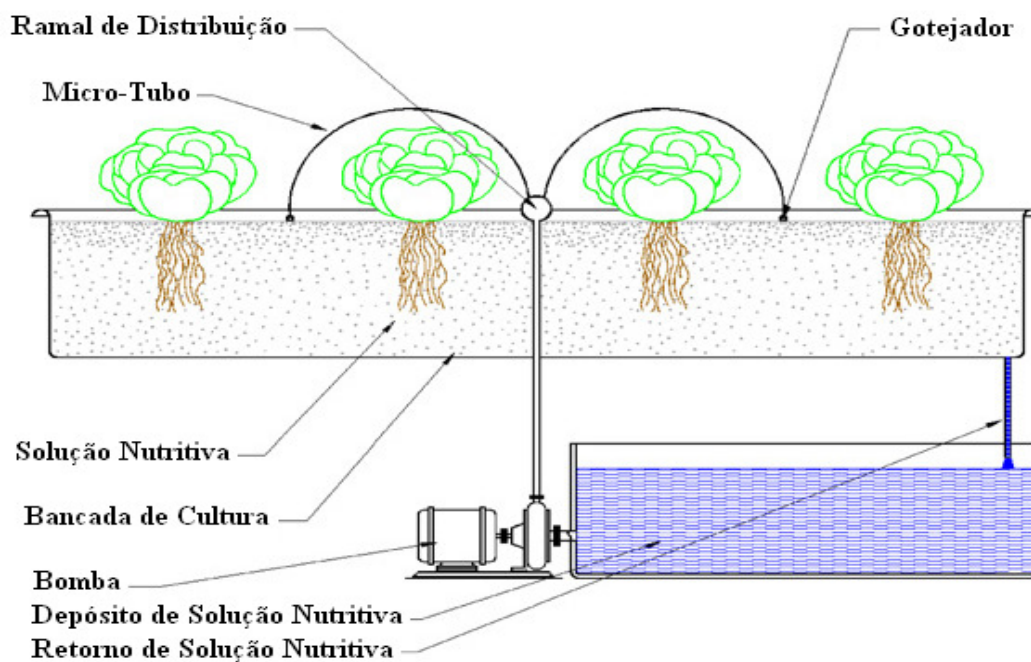


Figura 08- Sistema de Gotejamento

Fonte: www.hydor.eng.br

Existem dois tipos de sistema de gotejamento: Solução perdida e recuperação de solução.

No sistema de solução perdida, os excessos da solução nutritiva são descartados no subsolo, geralmente por infiltração, através de um sumidouro. As plantas são irrigadas sempre com uma solução nutritiva nova, não havendo necessidade de controle constante de pH e condutividade. O descarte da solução para o solo pode a médio ou longo prazo, causar problemas de poluição ambiental. Já no sistema de recuperação de solução os excessos de solução são reconduzidos ao depósito e reciclados para o sistema. Para isso é necessária a utilização de um temporizador de maior precisão para se obter ciclos de rega muito precisos. Exige ainda controle constante de pH e condutividade elétrica.

No sistema por gotejamento, usa-se um tanque de cimento ou plástico, com 20 ou 30 cm de profundidade, ligeiramente inclinado para possibilitar a drenagem. Preenche-se o tanque com um substrato, preferencialmente se usa a areia grossa ou cascalho, estes são necessários para a fixação das plantas. A aplicação da solução nutriente se dá através de um gotejador que aplica gota a gota em cada planta.

5.1.3. Sistema *Deep Flow Technique* -DFT

No sistema *Deep Flow Technique* DFT, ou Técnica do Fluxo Profundo, as plantas ficam flutuando numa espécie de piscina com solução nutritiva. Em geral, são apoiadas em placas de isopor com furinhos. Exige muita água e um excelente sistema de aeração, ou seja, as plantas permanecem submersas na solução nutritiva por todo o período de cultivo, por isso a oxigenação da solução merece especial atenção, tanto no depósito quanto na caixa de cultivo (Figura 09).

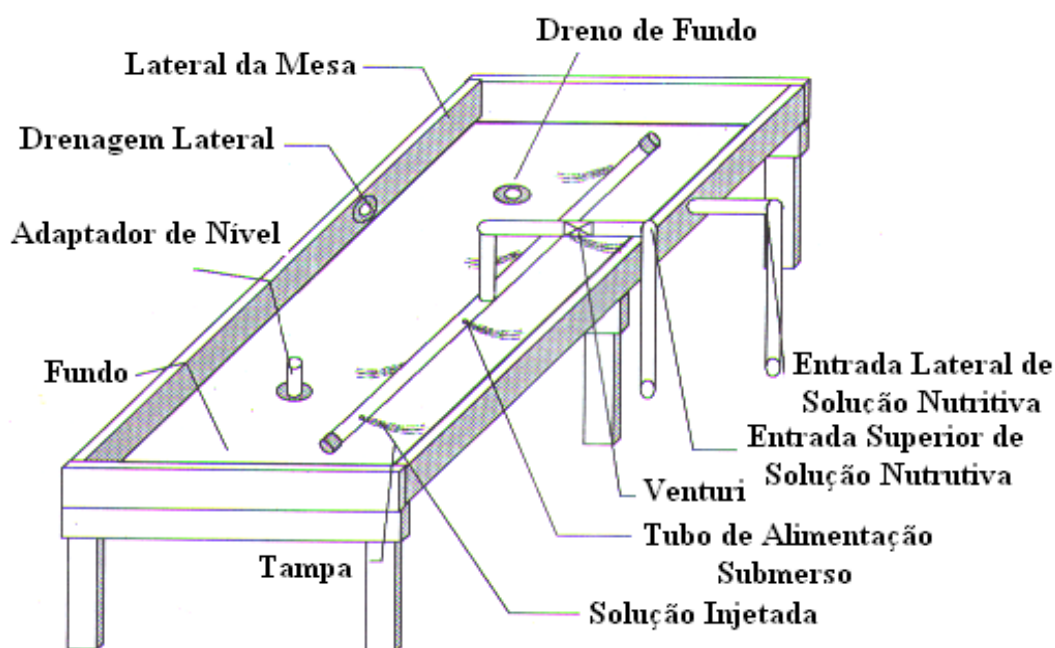


Figura 09 Sistema *Deep Flow Technique* - DFT
Fonte: Silva (1999)

Este sistema permite eficiente oxigenação na lâmina de solução. As mesas, em geral são pré-fabricadas em material plástico ou fibras de vidro e com revestimento interno. Pode ser construída em madeira, mas deve-se cobrir o fundo e as laterais com dois filmes plásticos, sempre o preto por baixo e o de polietileno tratado contra radiação UV por cima, para conferir resistência aos raios solares. Neste sistema substratos são usados para a sustentação das plantas e enchendo as canaletas ou vasos são preenchidos com material inerte. A solução é percolada pelos materiais e drenada pela parte inferior dos vasos ou canaletas, retornando ao estoque de solução.

5.1.4. Sistema de Aeroponia

De acordo com (Teixeira 1996) é um sistema ativo e é o de maior tecnologia. Consiste em cultivar plantas suspensas no ar. As raízes são protegidas para evitar o contato diretamente com a luminosidade. A solução nutritive é aplicada por aspersão diretamente, gota a gota ou por ar úmido, onde as raízes ficam suspensas e imersas numa câmara de cultivo, onde são aspergidas com uma névoa de solução nutritiva em intervalos de curto tempo. A solução é retirada do depósito por uma bomba, comandada por temporizador de alta precisão. É um sistema suscetível à falta de energia, falha nas bombas e entupimento nos aspersores (Figura 10).

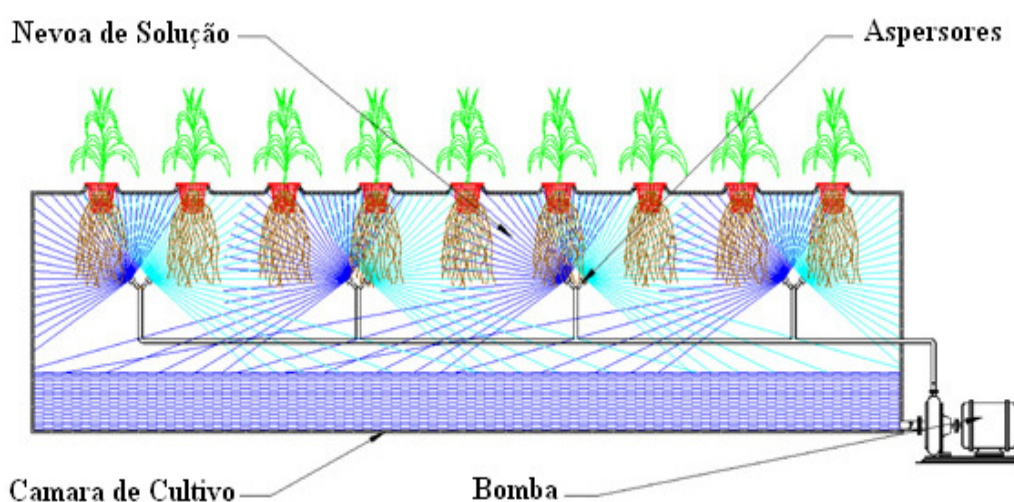


Figura 10 Sistema de Aeroponia

Fonte: www.hydor.eng.br

5.1.5. Sistema de Leito Flutuante

Este sistema permite que a oxigenação das raízes seja feita através de borbulhamento de ar, o sistema é considerado passivo. Quando a oxigenação é feita por circulação da solução de nutrientes, usando-se ou não algum tipo de injetor de ar, o sistema é ativo. O leito flutuante é considerado o sistema mais simples entre os ativos. As plantas são ancoradas em uma plataforma que flutua diretamente na superfície da solução de nutrientes contidas em um depósito. As raízes ficam total ou parcialmente imersas na solução. A oxigenação da solução é necessária. Este sistema é usado geralmente em plantas de pequeno porte que necessitam de muita água (Figura 11).

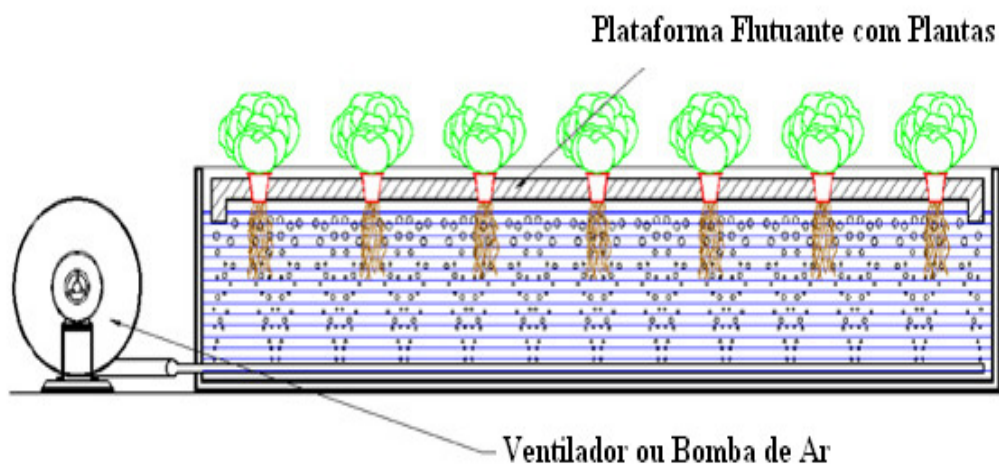


Figura 11 - Sistema de Leito Flutuante

Fonte: www.hydor.eng.br

5.1.6. Sistema de Pavio

É um sistema passivo e considerado o mais simples de todos os sistemas. A solução nutritiva é retirada de um depósito e conduzida para o meio de cultura e raízes das plantas por capilaridade, através de um ou mais pavios. Normalmente é usada uma mistura de vários meios de cultura, de modo a incrementar ao máximo a capacidade capilar do meio de cultura. É utilizado para plantas de pequeno e médio porte, como hortas caseiras, pois pode ser feito em tamanhos reduzidos (Figura 12).

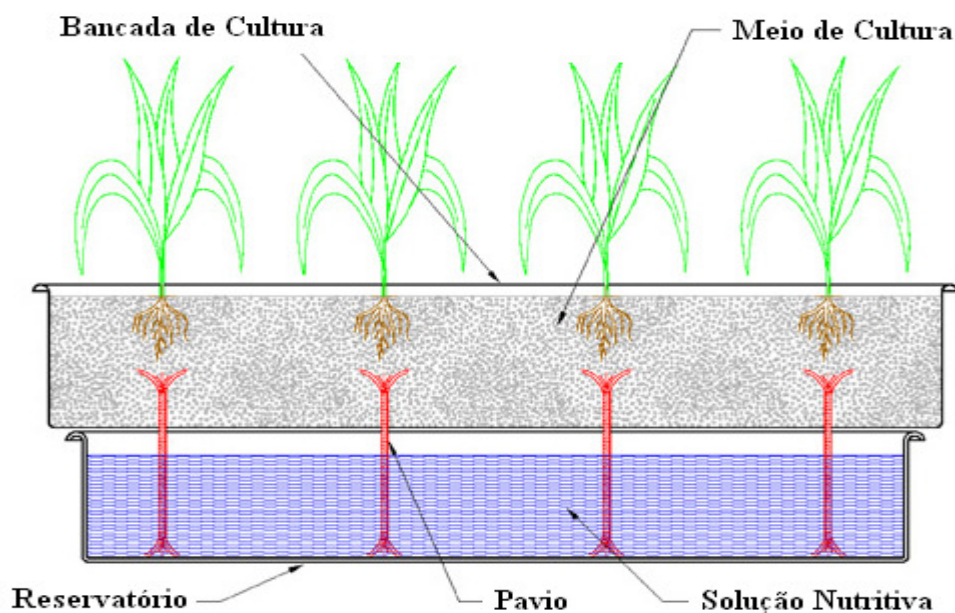


Figura 12 - Sistema de Pavio

Fonte: www.hydor.eng.br

5.1.7. Sistema de Subirrigação

No sistema sub-irrigação é usada uma quantidade maior de solução nutritive. O tanque-canteiro é idêntico ao utilizado no sistema por gotejamento, com a diferença de possuir em sua base um recipiente sobre o qual a tanque fica submerso em alguns centímetros de água, que em seguida é esgotado (Figura 13).

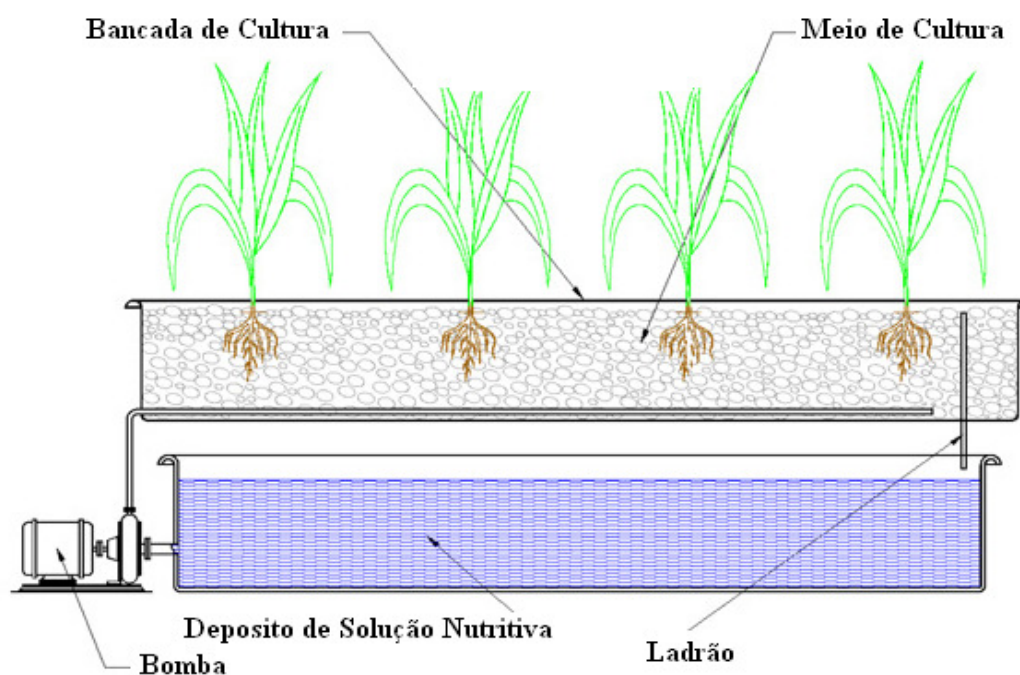


Figura 13 - Sistema de Subirrigação

Fonte: www.hydor.eng.br

A frequência das irrigações é no mínimo de três vezes ao dia podendo ser aumentada nos dias mais quentes. A solução nutritive deve permanecer num depósito separado, provido de água encanada e bóia para manter sempre o mesmo volume. A solução é totalmente renovada a cada oito dias.

6. SOLUÇÃO NUTRITIVA

Segundo (Teixeira 1996) não existe uma formulação ideal para todas as espécies a serem cultivadas. Cada planta tem sua exigência nutricional. Entretanto, uma solução nutritive deve possuir algumas características como: conter todos os nutrientes necessários para manter e desenvolver a planta cultivada, ter potencial osmótico entre 0,5 a 0,8 atm. e pH entre 5,8 à 6,2. (Alberoni 1998) comenta que o ponto básico para produção vegetal, tanto no solo como em solução hidropônica, é o fornecimento de todos os nutrientes que a planta necessita.

Concordando com o autor (Alberoni 1998). Silva (2007) citou que 16 elementos são considerados essenciais para as plantas. Dentre os macronutrientes são incluídos: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg). Dentre os micronutrientes estão: ferro (Fe), cloro (Cl), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu) e molibdênio (Mo). Na solução nutritiva deve conter todos estes nutrientes e estar na forma assimilável para as plantas.

(Texeira 1996) relata que muitas vezes, em diferentes condições de cultivo ou clima, uma solução que é eficiente para um produtor não serve para outro, pois vários fatores podem influenciar no seu comportamento. O clima juntamente com a época do ano são aspectos relevantes. Em regiões mais quentes as plantas absorvem maior quantidade de água, a solução deve estar mais diluída. No inverno a situação se inverte, ou seja, menor é o consumo de água e a solução é mais concentrada. De acordo com (Prieto et al. 2006) ao usar solução concentrada o produtor facilita o manejo, seja manual ou automatizado. Tais soluções devem ser ao menos duas para compor a formulação, uma vez que o cálcio e o fósforo em altas concentrações dão origem a fosfato bicálcicos e tricálcicos as quais são geralmente insolúveis. Esta mesma relação pode ocorrer com Ca e o S, que precipita como sulfato de cálcio. A solução nutritiva é preparada com sais fertilizantes e existem vários sais que fornecem os mesmos nutrientes para plantas, devendo-se optar por aqueles fáceis de dissolver em água, possuir baixo custo e ser facilmente encontrados no mercado.

Segundo (Texeira 1996) para se formular uma solução nutritiva adequada deve-se conhecer a exigência nutricional a cultura da qual se deseja produzir, sendo que uma difere da outra conforme mostrado na (Tabela 04).

Tabela 04 - Quantidades adequadas de alguns nutrientes, em mg/l^{-1} , para algumas culturas.

Espécie vegetal	N	P	K	Ca	Mg	S
Tomate	98	21	156	60	56	38
Pimentão	126	28	234	60	42	42
Melão	182	41	234	140	84	42
Alface	110	16	156	40	28	24
Rosa	117	25	276	72	112	32
Agrião	110	11	195	40	28	24
Cravo	124	32	78	120	84	42
Pepino	182	33	234	140	112	30

Fonte - Hidroponia uma alternativa para pequenas áreas (1996)

Observa-se que as espécies como alface e agrião são espécies com exigência nutricional muito parecida, o que torna possível sua cultura com a mesma solução nutritiva. Já cultivares com necessidades diferentes como, por exemplo, o pepino cultivado com a mesma empregada para alface seria improvável sua produção, uma vez que sua fisiologia é diferente.

6.1. Água

A água usada para preparar a solução nutritiva deverá ser pura, de preferência deionizada ou destilada. Para produção comercial os produtores devem usar água de boa qualidade, de preferência analisada para não alterar os cálculos dos nutrientes. A água pode conter alguns minerais como sulfatos ou carbonatos em quantidades elevadas, estes minerais podem elevar alguns elementos na solução (Texeira 1996). Na seleção de áreas favoráveis ao cultivo hidropônico, a qualidade da água é um fator fundamental, pois nela estarão dissolvidos minerais essenciais que formará a solução nutritiva que será a única fonte de alimentação das plantas por isso, na hidroponia, o primeiro passo a ser dado é a análise química e microbiológica da água, devido aos efeitos da salinidade em cultivos (Soares, et al. 2007). Assim, o conhecimento da composição química da água auxilia na formulação e nos ajustes no preparo da solução nutritiva. Caso os teores dos macronutrientes supere 1/4 da formulação sugerida, as quantidades de sais devem ser recalculadas.

6.2. pH da Solução

Segundo (Prieto et al. 2006) o pH mede o potencial hidrogeniônico do substrato, ou seja, medir o grau de acidez ou alcalinidade. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 à 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 à 14 indicam aumento de basicidade. As medidas de pH são de extrema utilidade, pois fornecem inúmeras informações a respeito da qualidade da água. As águas superficiais possuem um pH entre 4 e 9. As vezes são ligeiramente alcalinas devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Naturalmente, nesses casos, o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre. A faixa ideal do pH, segundo (Texeira 1996) fica entre 5,8 à 6,5, porém deve ser considerado a espécie e estágio da planta cultivada, pode haver necessidade de pequenos ajustes do pH da solução nutritiva.

6.3. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, sulfatos e cloretos. O parâmetro de condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais. Qualquer solução que contenha sais tem a capacidade de conduzir a corrente elétrica. Porém, a diminuição da condutividade elétrica não indica os nutrientes que foram mais utilizados, a proporção é usada praticamente a mesma se o sistema for bem manejado.

(Costa et al. 2001) afirmam que aumentos na condutividade levam à diminuição da produção de material seco, bem como, da produtividade. O controle é determinante para se saber quando e quanto deve se adubar, pois quanto mais íons na solução, maior será a condutividade elétrica, e vice-versa. Com a utilização de um condutivímetro, as medidas ideais da solução nutritiva ficam na faixa de 1,5 a 3,5 mS/cm, que corresponde a 1000 à 1500 ppm de concentração total de íons na solução.

6.4. Oxigênio

É preciso utilizar água de boa qualidade, sendo esta livre de contaminação por resíduos químicos, dejetos ou esgotos. A oxigenação da solução nutritiva é um fator muito importante, pois a baixa concentração de oxigênio na solução impede a absorção dos nutrientes pelas plantas. A oxigenação necessária pode acontecer durante a circulação e retorno da solução ao reservatório, caso não seja suficiente pode ser ejetado ar comprimido no reservatório. De acordo com (Martinez 2002) pode ser realizada a aeração injetando-se ar comprimido aos vasos contendo solução nutritiva e quanto mais subdividido as bolhas de ar, melhor a oxigenação da solução.

6.5. Pressão Osmótica

Quando se dissolvem sais na água, sua pressão osmótica aumenta, ou seja, a tendência que a solução tem de penetrar nas raízes diminui, até o ponto que deixa

completamente de penetrar e começa a retirar a água das plantas. Isso ocorre pelo fato da água se movimentar de um meio hipotônico para um meio hipertônico, ou seja, do menos concentrado para o mais concentrado. No cultivo hidropônico, quando a pressão osmótica está acima da recomendada, ocorre a redução de absorção de água no transporte de nutrientes e um menor ganho de peso. Quando a solução possui uma pressão menor que a recomendada, a planta absorve mais água, porém o ganho de peso é menor, devido à oferta de nutrientes em quantidade inadequada à demanda da planta (Martinez 2002). Por isso, a solução deve conter os nutrientes nas proporções adequadas e suficientemente diluídas para não causar danos. Segundo Teixeira (1996) a pressão osmótica ideal está entre 0,5 à 0,8 atm.

6.6. Temperatura

A temperatura do ar tem influencia direta nas condições ambientais para a eficiência das plantas (Caron, et al. 2003). Segundo (Joubert e Coertze 1982) a temperatura do ar favorável para o crescimento da alface situa-se entre 17 a 28°C durante o dia, pois é a faixa que representa o melhor balanço entre fotossíntese e respiração, e 2 a 12°C durante a noite.

(Andriolo 1999) afirma que as temperaturas noturnas abaixo de 15°C comprometem o crescimento de hortaliças de verão. (Sanches 1989) considera a temperatura da solução não deve ultrapassar os 30°C, sendo que o ideal para a planta é a faixa de 18 à 24°C, em períodos quentes, e 10 à 16°C, em períodos frios. Temperaturas muito acima ou abaixo desses limites causam danos à planta, bem como, uma diminuição na absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, uma menor produção.

6.7. Formulação da Solução Nutritiva

Como não existe receita única para solução nutritiva e, embora o mecanismo de absorção e transporte seja diferente para cada espécie, é possível variar a concentração da solução nutritiva desde que se respeitem os limites toleráveis de pH, pressão osmótica e composição (Prieto, et al. 2006).

6.8. Elementos Essenciais

A solução nutritiva deve conter diversos elementos químicos os quais são indispensáveis para o crescimento e produção das plantas, num total de dezesseis elementos (Tabela 05).

Tabela 05 ELEMENTOS ESSENCIAIS

Elementos químicos indispensáveis para a formulação da solução nutritiva.			
Carbono	C	Magnésio	Mg
Hidrogênio	H	Manganês	Mn
Oxigênio	O	Ferro	Fé
Nitrogênio	N	Zinco	Zn
Fósforo	P	Boro	B
Potássio	K	Cobre	Cu
Enxofre	S	Molibdênio	Mo
Cálcio	Ca	Cloro	Cl

Fonte: Alberoni (1998)

A divisão, entre macro e micronutrientes está baseada na exigência nutricional necessário de cada planta para o seu ciclo. As plantas têm, em sua constituição, em torno de 90 a 95% do seu peso em C, H, O. e N, porém estes, não constituem problemas, pois estão dispostos na água e no ar. Segundo (Furlani et al. 1999) o níquel (Ni) entrou para o rol dos elementos essenciais por fazer parte da estrutura molecular da enzima urease que é necessária para a transformação de nitrogênio amídico em nitrogênio mineral.

Eventualmente, a quantidade de todos os nutrientes exigidos pelas plantas deve ser inferior à de molibdênio. Outros elementos químicos são considerados benéficos ao crescimento das plantas, mas não são considerados essenciais. Entre eles o sódio (Na), silício (Si) e o cobalto (Co). Cada um dos macros e micronutrientes exerce pelo menos uma função dentro dos vegetais e a sua deficiência ou excesso gera sintomas próprios e característicos.

6.9. Nutrição Mineral das Plantas

A absorção dos minerais é realizada por uma planta ou organismo para suprir suas necessidades metabólicas que é chamada de nutrição. Tais necessidades estão ligadas aos processos nos quais os compostos químicos são utilizados para o crescimento e manutenção de um organismo. Os nutrientes são convertidos em material celular ou são usados como fonte de energia. As plantas, geralmente autotróficas, não

dependem do fornecimento de compostos ricos em energia produzidos por outros organismos. Em cultivos hidropônicos, a absorção de nutrientes é muito influenciada pela espécie vegetal, cultivares e ambiente, sendo proporcional à concentração de nutrientes na solução próxima às raízes (Adams 1994); (Furlani, et al. 1999).

6.10. Função dos Nutrientes para as Plantas

De acordo com Prieto et al. (2006) no preparo da solução nutritiva deve-se optar por adubos ou sais puros e solúveis, levando-se em conta a disponibilidade do produto no mercado.

(Malavolta et al. 2002) também afirma que os elementos essenciais (nutrientes) são requeridos pelas plantas em quantidades variáveis conforme a espécie e o estágio de desenvolvimento. Os nutrientes que são exigidos em maiores quantidades pelas plantas são denominados macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e aqueles exigidos em menores quantidades são denominados micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn). Além desses elementos minerais, são também elementos químicos essenciais o C, H e O os quais a planta retira principalmente do ar e do solo, na forma de CO₂ e de H₂O.

6.11. Produtividade

Um dos principais atrativos da hidroponia é a alta produtividade, comparada à plantação convencional. Na hidroponia é possível produzir uma grande gama de verduras e legumes, tais como, alface, tomate, vagem, pepino, berinjela, brócolis, rabanete, alcachofra entre outras. As verduras e legumes apresentam precocidade e produtividade, tanto em pequena quanto em grande escala, sendo possível programar a seqüência do plantio durante todos os meses do ano.

(Douglas 1997) descreve que na hidroponia consegue-se alta produtividade desde que bem manejado, havendo condições favoráveis, plantas como tomateiros chegam a produzir até 14 kg de frutos por plantas, é comum produtividades de até 300 t/ha. Semelhantemente ocorrem em culturas de alface, agrião, rúculas entre outras.

7. MATERIAL E MÉTODOS

7.1. Localização do Experimento

Os experimentos foram conduzidos na casa de vegetação do Laboratório de Processos Biotecnológicos no Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, localizada geograficamente a 25°26'55" de longitude oeste e

49°13'50" de latitude sul, com uma altitude de 923,9 metros. A precipitação média mensal nessa região é de 81 mm e a temperatura mínima média de 13,3 °C e máxima média de 22,6 °C para o mês de abril. O tipo climático é subtropical úmido, Cfb, pela classificação de Köppen, mesotérmico úmido com verões frescos, caracterizados por verões suaves e invernos relativamente frios. A casa-de-vegetação utilizada foi uma estufa do tipo semi-arco com cobertura de polietileno (1,5 mm), com controle de temperatura e umidade nas seguintes dimensões: 5 metros de largura; 10 metros de comprimento; 3,6 metros de altura de pé direito e 5,1 metros de altura da concavidade do arco. Os experimentos foram iniciados em maio de 2007 e concluído em novembro de 2009

7.2. Fonte e Preparo da Vinhaça

A vinhaça usada foi adquirida com a Usina de Açúcar e Álcool Goioerê Ltda, localizada no município de Goioerê Paraná Coletada da lagoa principal com revestimento impermeável instalada nas proximidades da usina, a vinhaça armazenada nessa lagoa foi originada da destilação do álcool obtido do mosto de caldo conforme a Figura 14. A vinhaça passou por um processo de decantação para remover o excesso da matéria orgânica dispersa no líquido. A decantação foi realizada nas instalações da UFPR em um tanque horizontal com 100 litros de vinhaça e adicionado hidróxido de cálcio e sulfato de alumínio nas proporções de 40g de Ca(OH)_2 e 30g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para 100 litros de vinhaça por 24 horas (Figura 15). O líquido obtido após a decantação da vinhaça foi filtrado através de um sistema constituído de tubo de PVC (polivinil cloreto) com 20 cm de diâmetro e 1,80 m de comprimento firmado sobre tripé de ferro cantoneira, e na parte inferior foi instalado uma saída de 2,5 cm. O material filtrante foi formado por várias camadas, no sentido de cima para baixo, seguindo essa ordem: (1) Camada de cascalho grosso; (2) Camada de cascalho fino; (3) Camada de areia grossa; (4) Camada de areia fina e (5) Manta de Bedin em duas camadas sobre o ralo metálico com uma peneira com malha de 3 mm (Figura 16). A filtração da vinhaça decantada teve por objetivo reter os flocos que não foram eliminados na fase de decantação.



Figura 14 - Lagoa de vinhaça no solo com revestimento impermeável (semelhante)
Fonte - Koerner (1994)



Figura 15 - Tanque para decantação da vinhaça.

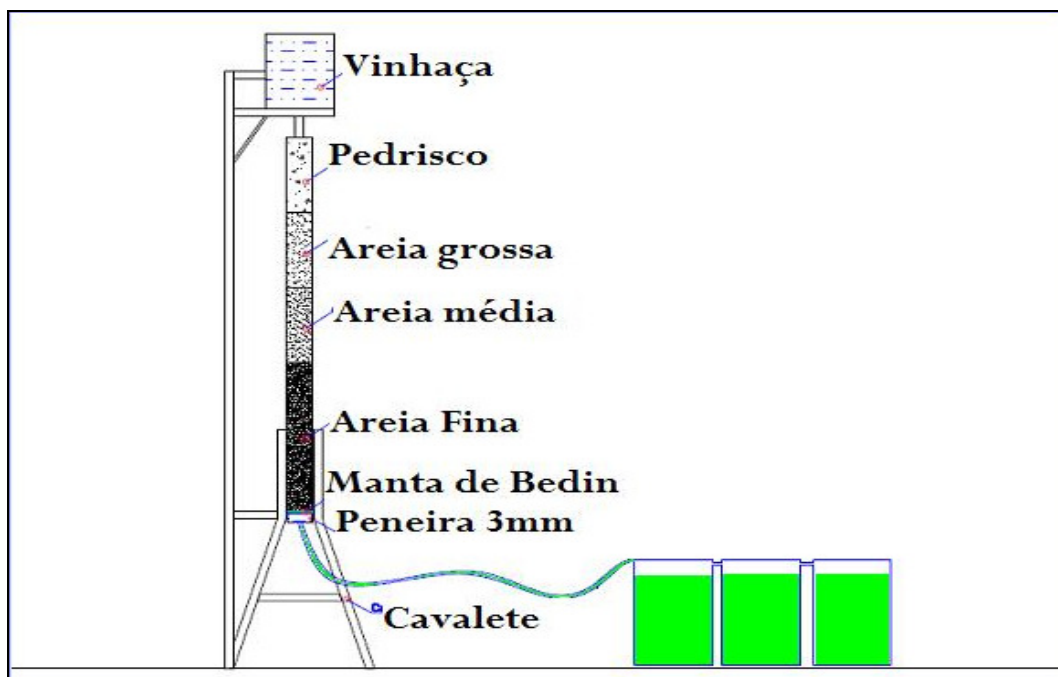


Figura 16: Sistema de filtração para vinhaça decantada.

7.3. Análise Química da Vinhaça

A vinhaça pura e a vinhaça tratada (decantada e filtrada) foram analisadas com relação ao teor de sulfato, cloreto, fosfato, nitrato, amônio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, manganês e ferro total. O sulfato foi quantificado pelo método turbidimétrico, o cloreto pelo método titulométrico com nitrato de mercúrio, o teor de fosfato foi obtido pelo método colorimétrico (ácido ascórbico), (Clesceri, et al. 1998). As formas de nitrogênio, nitrato e o nitrogênio amoniacal foram quantificados pelos métodos de redução com cádmio e pelo método fenato, repetitivamente Clesceri, et al. (1998) Os teores de cálcio e magnésio foram obtidos por titulometria com EDTA (Etilenodiaminotetracetato) e os de sódio e potássio foram obtidos por fotometria de chama. O conteúdo de ferro total e manganês foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Clesceri, et al. 1998).

7.4. Sistema Hidropônico

O sistema de cultivo hidropônico utilizado foi a da Técnica de Filme Nutriente sigla inglesa Nutrient Film Technique – NFT, o qual está representado na (Figura 17)



Figura 17 – Sistema Nutrient Film Technique –NFT

As bancadas foram constituídas de cinco canais de cultivo com 4,0 cm de profundidade e espaçamento de 25 cm entre plantas e 20 cm entre linhas de canais distintos. No armazenamento das soluções nutritivas utilizou-se cinco reservatórios, um para cada canal de cultivo, cada reservatório tinha capacidade para 36 litros, entretanto, foi usado apenas 80% da capacidade, ou seja, 30 litros. Os reservatórios foram instalados abaixo do nível dos canais de cultivo das plantas, permitindo assim, o retorno da solução nutritiva, por meio de uma tubulação de 19 mm de diâmetro, sob efeito da gravidade a 15% de declividade. Utilizou-se o sistema fechado para reaproveitamento da solução nutritiva, sendo que a mesma solução aplicada nas raízes das plantas retornava ao reservatório e era reutilizada com frequência em turnos programados a cada 15 minutos com tempo de 5 minutos ligado. O sistema de bombeamento da solução nutritiva do reservatório para o início dos canais de cultivo foi composto por um conjunto de bombas de 28 W de potência, instaladas no fundo do reservatório, acionadas por temporizador (*timer*), o qual fazia circular a solução em intervalos de 15 minutos em 15 minutos. As soluções foram aplicadas na vazão de $0,8 \text{ L min}^{-1}$ nos canais de cultivo.

7.5. Quantidade de Vinhaça e Sobrevivência da Alface

Mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Vanda (tipo crespa) foram cultivadas no sistema hidropônico testando as doses de vinhaça como solução nutritiva não tratada

nas seguintes proporções: 5, 10, 20, 40, 60, 80 e 100%. Foi avaliada a sobrevivência das mudas foi avaliada após de 20 dias.

7.6. Preparo da Solução Nutritiva com Uso da Vinhaça e da Solução a Base de Formulações Comerciais

A solução nutritiva a base vinhaça foi preparada utilizando como parâmetro as principais soluções comerciais existente no mercado (Tabela 06).

Tabela 06 – Composição Química das Soluções nutritivas Utilizadas na Comparação

Componente	Solução (g/ 1000l de água)			
	Ueda	Castellane e Araújo	Furlani ¹	Bernardes
Ca(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	125	950	1000	1200
MAP	-	-	150	-
DAP	30	-	-	-
H ₂ PO ₄	-	-	-	150
KH ₂ PO ₄	-	272	-	136,1
KCl	-	-	150	250
KNO ₃	200	900	600	260
MgSO ₄ .7H ₂ O	60	246	250	500
MnCl ₂ .H ₂ O	-	-	2,34	-
MnSO ₄ .H ₂ O	2,00	1,70	-	1,55
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,05	1,15	0,88	0,22
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,03	0,19	0,20	0,08
H ₃ BO ₃	3,00	2,85	2,04	2,86
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,05	0,12	0,26	0,03
Fe-EDTA ²	1000 ml	1000 ml	500 ml	1000 ml

Fonte: Ohse et al. (2001)

MAP – Fosfato monoamônio DAP – Fosfato diamônio

Partiu-se das soluções nutritivas descritas para preparar uma solução a base de vinhaça. Devido à quantidade elevada de matéria orgânica existente na vinhaça fez-se necessário um pré-tratamento da mesma, a qual foi decantada, filtrada retirou-se em média 92% dos sólidos existente. Após a retirada da matéria orgânica a vinhaça foi diluída em água deionizada na porção de 10 litros de vinhaça para 100 litros de água para aproximar os nutrientes em maiores quantidades contidos na vinhaça com os nutrientes recomendados nas soluções nutritivas comerciais pesquisadas, tal fato possibilitou ajustes nas seguintes proporções da (Tabela07)

Tabela 07 – Complementação de sais necessários para solução vinhaça

Componentes	Quantidades
(NH ₄ PO ₄)	150 mg.L ⁻¹
(Ca(NO ₃) ₂ .6H ₂ O)	750 mg.L ⁻¹
(KNO ₃)	500 mg.L ⁻¹
(MgSO ₄ .7H ₂ O)	400 mg.L ⁻¹
(MnCl ₂ .H ₂ O)	234 mg.L ⁻¹
(ZnSO ₄ .7H ₂ O)	0,88 mg.L ⁻¹
(CuSO ₄ .5H ₂ O)	0,2 mg.L ⁻¹
((H ₃ BO ₃)	2,04 mg.L ⁻¹
(Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O)	0,26 mg.L ⁻¹
<i>Solução comparativa comercial (branco)</i>	
Kristalon [®] (06-12-36) N-P-K	800 mg.L ⁻¹
Calcinit [®] Yara Liva	800 mg.L ⁻¹
HydroFe [®]	25 mg.L ⁻¹
Solução estoque Furlani (1995)	1 mL.L ⁻¹

. Durante esse trabalho essa solução foi chamada de solução vinhaça.

Para a solução nutritiva comparativa (branco) foi usada formulação comercial constituída de: 800 mg.L⁻¹ de Kristalon[®] (06-12-36) N-P-K, 800 mg.L⁻¹ de Calcinit[®] Yara Liva, 25 mg.L⁻¹ de HydroFe[®] e 1 mL.L⁻¹ da solução estoque de micronutrientes da solução proposta por Furlani (1995). As formulações comerciais não foram disponibilizadas pelos fabricantes. Essa solução foi chamada de solução comercial nesse trabalho.

7.7. Cultivo Hidropônico de Alface, Rúcula e Agrião

As mudas de alface cv. Vanda, rúcula (*Nasturtium officinale* R. Br.) cv. Apreciatta e agrião (*Eruca sativa*) cv. Gigante redondo, quando foram transplantadas para os canais de cultivo tinham de 20 a 25 dias, apresentavam de 2 a 3 folhas e, aproximadamente, 4 a 6 centímetros de altura. (Figura 18)



Figura 18 – produção de mudas em células

As mudas foram adquiridas da Empresa Agro-Horta Produtos Agropecuários Ltda em Colombo-Paraná. A obtenção das mudas foi através da semeadura em bandejas com 200 células contendo substrato comercial (Plantmax[®] HT) vermiculita e irrigadas com solução nutritiva comercial por 15 min de nebulização intermitente a cada 60 minutos durante o dia, 01 vez durante a noite as 21:00 horas.

Foram testadas duas soluções nutritivas como tratamentos: solução vinhaça e solução comercial, ambas descritas anteriormente. A condutividade elétrica e o pH das soluções foram medidas uma vez por semana. O pH foi ajustado para 6,2 a cada sete dias e não houve reposição dos nutrientes nas soluções ao longo da cultura. Entretanto, devido à evapotranspiração, o nível das soluções foi completado com água isenta de sais a cada sete dias. A solução vinhaça apresentava uma condutividade elétrica (CE) inicial de 1,81 mS cm⁻¹ e a solução comercial apresentou 1,83 mS. cm⁻¹. Durante o período experimental não foi necessária a aplicação de agrotóxicos (inseticidas e fungicidas). Os dados meteorológicos e épocas de cultivo estão descritos Tabela 08.

Tabela 08 – Condições de cultivo protegido da alface, agrião e rúcula nas instalações do laboratório de Processo Biotecnológico no Centro Politecnico

Cultura	Temperatura °C		Umidade relativa %		Ano	Meses
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima		
Alface	21,5	7,9	80,8	79,5	2009	Maiio/junho
Alface ¹	29,2	7,3	26,7	99,0	2009	Setembro/outubro
Rúcula	23,1	10,9	84,9	80,3	2008	Setembro/outubro
Agrião	23,1	10,9	84,9	80,3	2008	Setembro/outubro

¹ Segundo experimento. Fonte SIMEPAR, 2009

Foram avaliadas a altura da parte aérea (cm) e o número de folhas (apenas as maiores que 5 cm) dessas culturas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias de cultivo hidropônico. Além desses experimentos, foi realizado outro experimento com a mesma cultivar de alface, porém outras avaliações foram feitas, uma aos 20 dias de cultivo e a outra aos 42 dias de cultivo. Nesse experimento foram consideradas a altura da parte aérea (cm), número de folhas, teor de nitrato nas folhas, massa fresca e seca da planta completa, parte aérea e raízes (g) e o volume e comprimento total das raízes. O volume e o comprimento das raízes foram obtidos com auxílio do aparelho WINRHYZO[®] e as massas secas foram obtidas após 72 horas em estufa a 65° C. O teor de nitrato nas folhas de alface foi obtido seguindo a metodologia proposta por (Cataldo et al. 1975).

7.8. Análise Estatística

Para os experimentos com agrião, rúcula e alface (no primeiro cultivo) o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial (2x5), sendo o primeiro fator, o tipo de solução nutritiva (comercial e vinhaça) e o segundo fator o período de avaliações foram de (0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias). Para o segundo cultivo da análise, o delineamento foi inteiramente casualizado sem esquema bifatorial. Todos os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors e submetidos à análise de variância e análise de regressão (dados oriundos dos tratamentos quantitativos) e ao teste F (dados oriundos de tratamentos qualitativos) nos níveis de 1 e 5% de probabilidade de erro. Os dados obtidos de contagem foram transformados para $\sqrt{x+1,0}$. Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa computacional (GENES), (Cruz, 2001).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1. Decantação, Filtração e Análise Química da Vinhaça

Após a decantação da vinhaça foi obtido um resíduo mais claro, além de apresentar um cheiro levemente adocicado, com pH variando de 5,0 à 6,0. A matéria orgânica retirada da solução foi de aproximadamente 90% na decantação e 2% com a filtração. Após a vinhaça ser pré-tratada, foram analisadas as amostras da vinhaça pura, tratada e diluída. Comparando a análise da vinhaça pura com pré-tratada observou-se que houve um aumento de aproximadamente 9,2% o potássio, após o pré-tratamento, e os demais nutrientes diminuíram. Essas alterações químicas ocorreram provavelmente

devido a reações químicas provocadas pelo $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ utilizados durante a decantação da vinhaça. Além disso, também é possível que tenha ocorrido solubilização de alguns íons oriundos da degradação da matéria orgânica restante, o que explicaria o aumento do potássio.

Após os tratamentos com decantação e filtração, a vinhaça apresentou quantidades reduzidas de aproximadamente 40% de cloreto, 15% de sulfato, 9% de sódio, 50% de cálcio, 47% de fosfato, 60% de ferro, 55% de manganês e 48% de zinco e elevou a concentração de potássio em 9,2%, comparado com as quantidades existentes na vinhaça pura. Além disso, os processos de decantação e filtração elevaram o pH de 3,5 para 6,2 possivelmente pela aplicação do hidróxido de cálcio conforme Tabela 09.

Tabela 09 - Quantidade de íons encontradas na vinhaça pura, vinhaça tratada (decantada e filtrada), vinhaça diluída a 10%, solução nutritiva proposta por (Furlani 1995) e a solução nutritiva feita a base de vinhaça.

Íon (mg.L^{-1})	Vinhaça pura	Vinhaça tratada	Vinhaça 10%	Furlani (1995)	Solução Vinhaça ²
Cl^-	59,4	37,1	3,71	72,6	4,95
SO_4^{-2}	1680	1458	145,8	106,2	302,1
Na^+	8,6	7	0,7	1,6	0,75
K^+	1620	1760	176	315,8	368,85
Ca^{+2}	3160	1642	164,2	147,3	274,45
Mg^{+2}	162,4	101,8	10,18	24,6	49,14
PO_4^{-3}	560	380	38	126,1	161,92
NO_3^{-1}	- ¹	0,15	0,015	823,7	648,315
NH_4	-	37	3,7	23,9	27,18
Fé	44,9	27,92	2,792	2,4	2,792
Mn	4,9	2,88	0,288	0,89	1,18
Zn^{+2}	1,2	0,75	0,075	0,2	0,27
BO_3^{-3}	-	0	0	1,94	1,94
Cu^+	-	0	0	0,06	0,06
MoO_4^{-4}	-	0	0	0,17	0,17

¹ Análise química não realizada para esses íons.

² Vinhaça diluída a 10% adicionada com 750 mg.L^{-1} de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 500 mg.L^{-1} de KNO_3 , 150 mg.L^{-1} de NH_4PO_4 , 400 mg.L^{-1} $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 1 mL.L^{-1} da solução estoque de micronutrientes proposta por Furlani (1995)

Na vinhaça pura, os nutrientes encontrados em maior quantidade foram o Ca, SO_4 e K, com concentrações maiores do que 1000 mg.L^{-1} . A dose de PO_4 foi 560 mg.L^{-1} e o Mg apresentou 110 mg.L^{-1} , o Cl e o Fe apresentaram níveis superiores a 10 mg.L^{-1} . Os nutrientes, Na, Mn e Zn foram encontrados concentrações abaixo de 10 mg.L^{-1} . Resultados concordantes foram encontrados em vinhaça de cana-de-açúcar, onde foram observadas altas quantidades de potássio, cálcio e sulfato (Almeida, 1952; Glória,

1976). Além disso, o micronutriente encontrado na vinhaça em maior quantidade também foi o ferro. Foram também observadas pequenas concentrações de manganês, cobre e zinco (Rodella e Ferrari, 1977).

8.2. *Sobrevivência da Alface em diferentes diluições de vinhaça*

Plantas de alface cultivadas nas diferentes diluições de vinhaça: 100, 80, 60, 40% morreram, possivelmente devido ao excesso de sais da solução, o que resultou em estresse salino severo. Já com diluição abaixo de 20% as plantas resistiram, mas não se desenvolveram. Tal fato mostrou a necessidade do pré tratamento de decantação e filtração para eliminar parte da matéria orgânica e evitar a proliferação de vários microrganismos danosos às raízes das plantas. Na diluição as concentrações de interesse entre 5 e 10% ficaram adequadas para sobrevivência das plantas, sendo necessário este ajuste dos nutrientes para que a solução nutritiva a base de vinhaça ficasse próxima, ou seja, com as mesmas quantidades de nutrientes da solução nutritiva comercial, conforme a (Tabela 09) facilitando assim a absorção dos nutrientes pelas plantas, e, os nutrientes dos quais não há interesse na solução nutritiva, como: sódio e o cloro ficaram em níveis aceitáveis, não interferindo na absorção dos outros nutrientes. Também os processos citados deixaram a vinhaça com cheiro levemente adocicado e aparência mais clara a cada etapa realizada conforme mostra a (Figura 19).

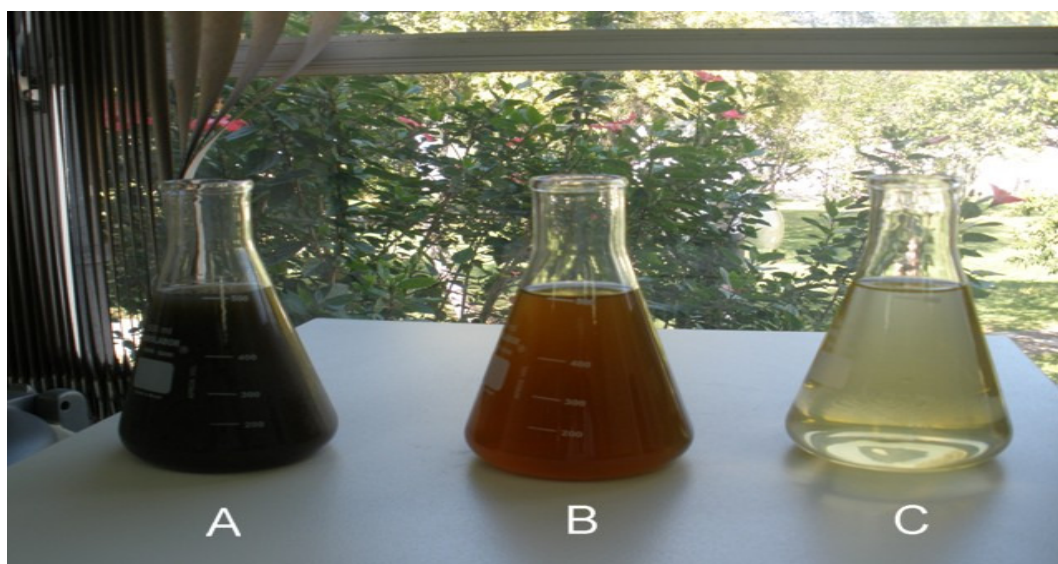


Figura 19 - (A) Vinhaça pura, (B) Vinhaça tratada (decantada e filtrada) e (C) Vinhaça diluída a 10%.

8.3. Cultivo de Alface, Rúcula e Agrião

8.3.1. Cultivo de Alface

O aumento da altura da parte aérea ou cabeça da alface seguiu um efeito linear positivo em função do período de cultivo (Figura 20 A). Como para essa variável não houve interação entre os fatores, foi ajustada apenas uma equação para ambas as soluções nutritivas. O aumento do número de folhas por planta também seguiu um efeito linear positivo em função do período de cultivo (Figura 20 B). Entretanto, devido à interação entre os fatores, duas equações foram ajustadas.

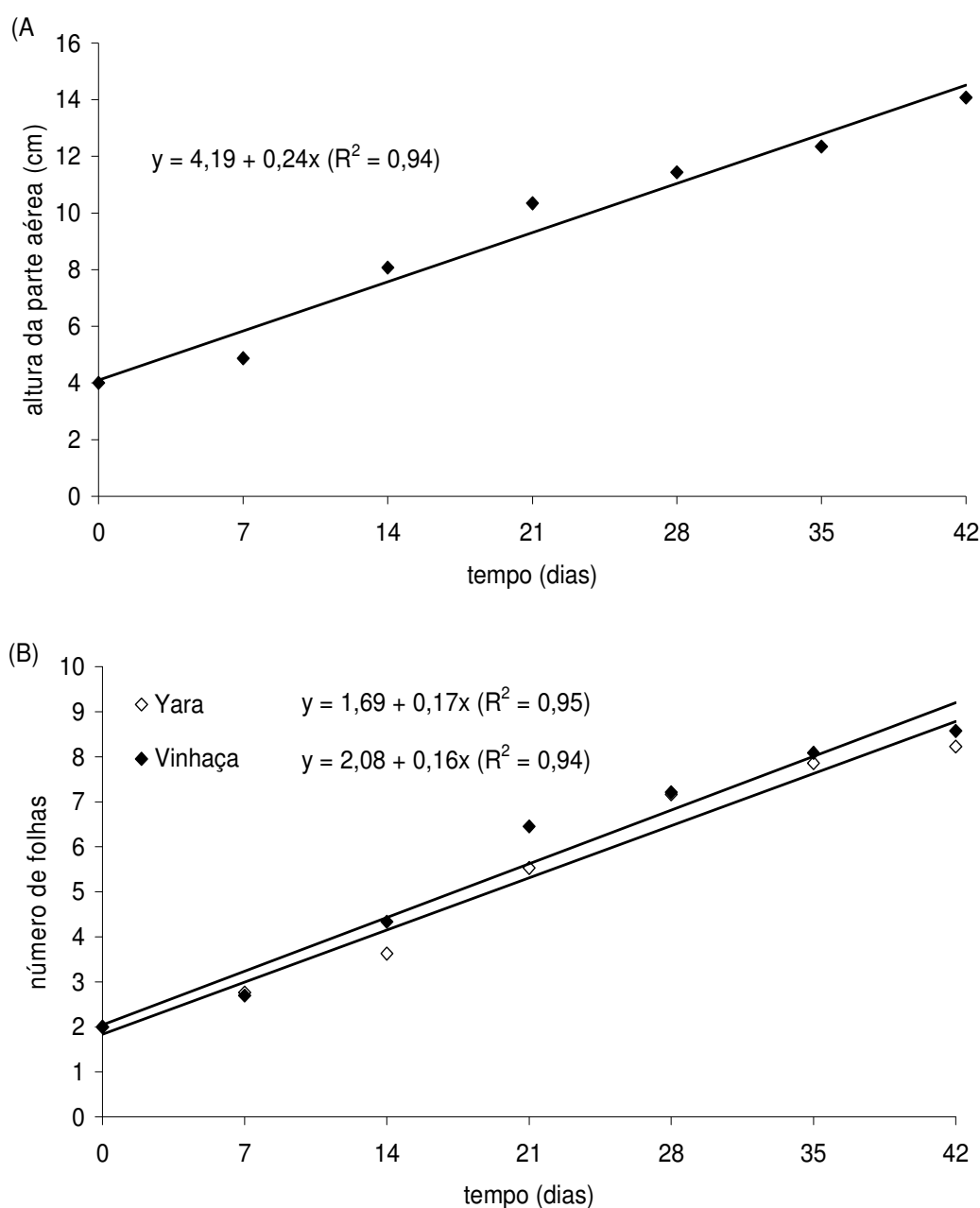


Figura 20 A e B - Variáveis observadas durante o cultivo hidropônico da alface cv. Vanda, durante os meses de maio a junho de 2009, (A) Altura da parte aérea das plantas e (B) Número de folhas das plantas aos 42 dias de cultivo hidropônico nas soluções comercial e a base de vinhaça.

O número médio de folhas obtido nesse experimento foram em média de 8,4 por planta para 20 dias sendo inferior aos obtidos na cultivar Deisy (tipo crespa) que variou de 16 a 24 folhas por planta para 45 dias de cultivo por (Backes et al. 2004). Entre tanto há vários outros fatores podem influenciar no cultivo hidropônico tais como: Fator genético da cultivar, tipo de solução nutritiva, e condições ambientais.

Com relação à altura da parte aérea ou cabeça da alface, os resultados obtidos pela solução a base de vinhaça foi de 13,9 cm comparada com 14,2 cm da solução comercial, essas variações podem ter sido causados pela diferença na condutividade elétrica dessas soluções. Entretanto, esse fato está descartado, afinal a solução a base de vinhaça apresentava uma condutividade inicial de $1,81 \text{ mS cm}^{-1}$, menor do que a obtida na solução comercial, $1,83 \text{ mS cm}^{-1}$. Assim, parece que diferenças na condutividade elétrica não são suficientes para influenciar esse caráter, como observado na cultivar Ryder (tipo crespa), em que as condutividades elétricas ($1,46$; $2,46$ e $4,21 \text{ mS cm}^{-1}$) não influenciaram essa variável (Costa, et al. 2001). O teor de nitrato obtido nas folhas de alface cultivada na solução comercial foi $73,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$ de massa seca e na solução a base de vinhaça foi $22,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$ de massa seca nas folhas das alfaces. O baixo teor do nitrato nas folhas de alface cultivada na solução a base de vinhaça pode estar associado à quantidade de MoO_4 adicionada a solução a base de vinhaça, que foi $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo que a disponibilidade do molibdênio influencia a atividade da nitrato redutase, enzima responsável pela redução do nitrato em amônia no interior da planta (Marschner, 1986). A solução comercial teve a sua condutividade elétrica ligeiramente em declínio no decorrer do período, explicado pelo consumo da cultura no decorrer do ciclo, por outro lado a solução a base de vinhaça obteve uma variação grande no início das atividades, em seguida acompanhou o leve declínio da solução comercial, o que necessariamente não significa que não alterou a quantidade dos nutrientes, se ajustando sem interferência de novos nutrientes na solução (Figura 21).

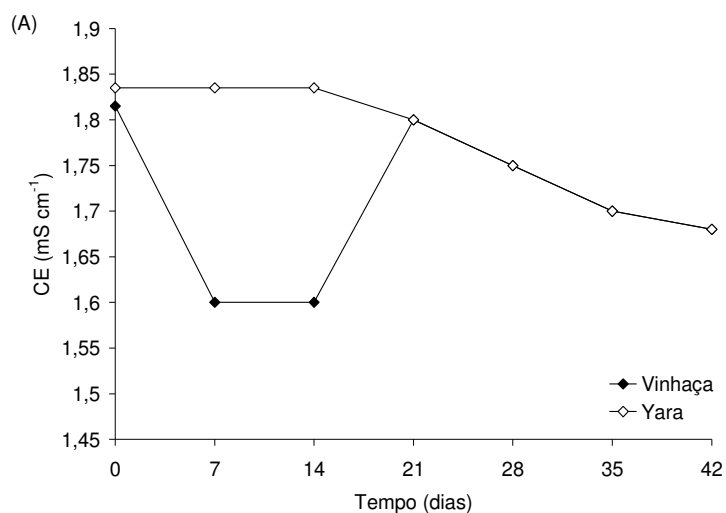


Figura 21 - Valores semanais da condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas, considerando a solução a base de vinhaça e a solução comercial na cultura, Alface cv. Vanda,

Mesmo após os tratamentos de decantação e filtragem da vinhaça, pequenas porções de partículas sólidas, possivelmente resíduos de matéria orgânica permaneceram na solução, e estas partículas podem ter solubilizado outros nutrientes, o que resultou aumento na condutividade elétrica da solução a base de vinhaça. Outro fato observado durante as culturas foi que a solução comercial apresenta um efeito tamponante maior do que da solução a base de vinhaça (Figura 22).

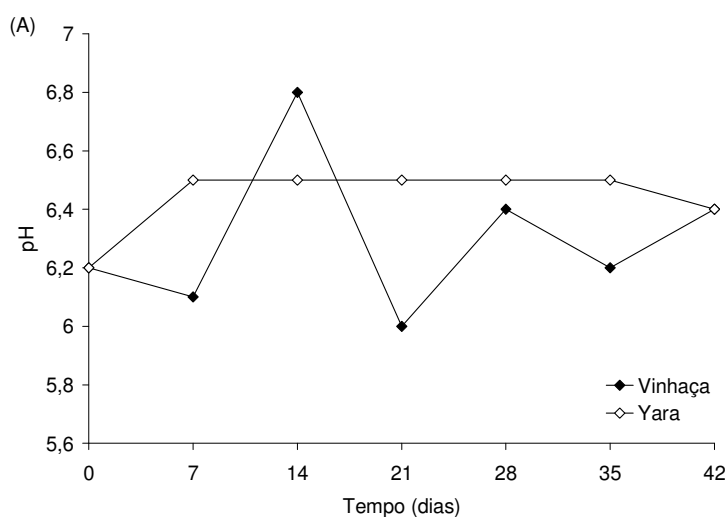


Figura 22 - Valores semanais do pH das soluções nutritivas, considerando a solução a vinhaça e a solução comercial na cultura, Alface cv. Vanda

Este fato, possivelmente também está associado à solubilização de partículas sólidas presentes na vinhaça.

O crescimento da alface durante os meses de setembro e outubro avaliado aos 20 dias de cultivo hidropônico apresentou diferenças significativas apenas para a massa fresca das raízes, comprimento e volume das raízes, sendo a solução comercial superior a solução a base vinhaça (Tabela 09). No final do ciclo, aos 42 dias de cultivo hidropônico foi verificada diferenças significativas nas variáveis, massa fresca total, das raízes, da parte aérea, na altura da parte aérea, no número de folhas e comprimento e volumes das raízes, todas essas variáveis foram superiores na solução comercial, com exceção do número de folhas que foi favorecido na solução a base de vinhaça.

No segundo cultivo da alface cv. Vanda aos 42 dias, a massa seca total variou de 4,3 à 4,5 g, resultados diferentes foram observados na cv. Deyse, em que a massa seca total variou de 12,3 à 21,2 (Backes, et al. 2004). Resultados diferentes também foram encontrados com relação à altura da parte aérea e da massa seca da parte aérea da cv. Deyse cultivada em três diferentes condutividades elétrica, 11,6 à 13,6 cm e 8,1 à 24,5 g, respectivamente (Costa, et al., 2001). Entretanto, essas diferenças podem estar relacionadas com as diferentes condições de cultivo e com as características genéticas das cultivares. Resultados concordantes foram encontrados na cultivar de alface Verônica (tipo crespa) que apresentou 13,3 no número de folhas por planta aos 56 dias de cultivo hidropônico, comparado a 13,6 do número médio de folhas por planta observada nesse trabalho, contudo, foram discordantes para a massa fresca total das plantas, alcançando 183,4 g por planta comparada a 103,8 g observado na cv Vanda (Vaz & Junqueira, 1998).

Tabela 10 - Características obtidas no segundo cultivo de Alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Vanda aos 20 e 42 dias de cultivo hidropônico durante o mês de setembro e outubro de 2009.

Características aos 20 dias	Soluções nutritivas		
	comercial	vinhaça	CV (%)
Massa seca total (g)	0,54 a ¹	0,55 a	3,1
Massa seca das raízes (g)	0,045 a	0,049 a	6,5
Massa seca da parte aérea (g)	0,50 a	0,51 a	2,3
Massa fresca total (g)	11,0 a	10,5 a	4,8
Massa fresca das raízes (g)	0,94 a	0,88 b	2,2
Massa fresca da parte aérea (g)	10,0 a	9,6 a	5,2
Altura da parte aérea (cm)	18,4 a	17,5 a	2,8

Número de folhas	7,9 a	7,9 a	3,8
Comprimento das raízes (cm)	515,6 a	467,8b	5,1
Volume das raízes (cm ³)	1,3 a	1,2 b	5,0
Soluções nutritivas			
Características aos 42 dias	Comercial	Vinhaça	CV (%)
Massa seca total (g)	4,5 a ¹	4,3 a	12,1
Massa seca das raízes (g)	2,3 a	2,3 a	21,1
Massa seca da parte aérea (g)	2,2 a	2,1 a	17,3
Massa fresca total (g)	115,0 a	92,6 b	8,1
Massa fresca das raízes (g)	22,8 a	19,5 b	5,5
Massa fresca da parte aérea (g)	92,2 a	73,0 b	9,1
Altura da parte aérea (cm)	28,8 a	27,2 b	1,2
Número de folhas	12,8 b	14,4 a	2,6
Comprimento das raízes (cm)	2579,3 a	2213,4 b	5,4
Volume das raízes (cm ³)	10,8 a	8,1 b	4,4

¹ Médias dos tratamentos seguidos pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A altura da parte aérea e o número de folhas do primeiro cultivo da alface realizado nos meses de maio e junho foram de 13,9 à 14,2 cm e 8,2 e 8,5, respectivamente, diferentes dos obtidos no segundo cultivo da alface, que foi realizado nos meses de setembro e outubro, que apresentaram 27,2 e 28,8 cm de altura da parte aérea e 12,8 à 14,4 para o número de folhas. Esses resultados se devem as diferentes condições meteorológicas dos diferentes períodos de cultivo. Resultados semelhantes foram observados por respectivamente (Duarte, et al. 1992) na cv. Verônica (tipo crespo) cultivada no período seco e chuvoso, onde a massa fresca das plantas foi 175 e 214g, respectivamente.

Os resultados da análise de variância indicaram para o cultivo da alface houve diferenças significativas com relação às soluções nutritivas usadas, tanto para a altura da parte aérea ($P < 0,05$), quanto para o número de folhas ($P < 0,01$) (Tabela 9). A solução nutritiva comercial foi superior com relação à altura da parte aérea, atingindo 14,2 cm comparado a 13,9 cm de altura da parte aérea obtido pela solução a base de vinhaça. Entretanto, para o variável número de folhas, a solução comercial foi inferior à solução a base de vinhaça, sendo 8,3 folhas por planta comparada a 8,5 folhas por planta,

respectivamente. As pequenas diferenças apresentadas pelas médias das variáveis observadas no cultivo da alface não foram significativa pois se deve ao erro experimental reduzido, o que permitiu que a análise de variância pudesse considerar essas pequenas diferenças significativas. Os coeficientes de variação obtidos foram muito inferiores aos obtidos por (Backes, et al., 2004), o que demonstra uma ótima qualidade no controle experimental. Para o número de folhas, o CV(%) (coeficiente de variação foi 3,2, muito inferior aos encontrados com as cultivares Regina e Deisy, que variaram de 9,5 a 27% por (e para a altura da parte aérea o CV(%) foi 1,1, também inferior ao obtido por (Costa, et al. 2001) em experimento com a cultivar Ryder CV(%)=15,2 para essa mesma variável apresentada por.

A análise de variância também foi significativa para o fator tempo de cultivo ($P < 0,01$), para ambas as variáveis observadas na alface (Tabela 11). Com relação à interação entre os fatores, solução nutritiva e tempo de cultivo, apenas a variável número de folhas foram significativas, (Tabela 11).

Tabela 11 - Resumo da análise de variância da alface cultivar Vanda em diferentes soluções nutritivas em hidroponia. Altura da parte aérea (AP cm) e número de folhas (NF). Fator A (solução comercial e solução a base de vinhaça) e fator B (0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias).

F.V.	G.L.	Alface	
		AP cm	NF
		Quadrado médio do erro	
Sol. nutritiva (A)	1	0,46**	0,0516*
Tempo (dias) (B)	5	64,92*	1,4798*
A x B	5	0,16 ^{ns}	0,01149*
Resíduo	24	0,10	0,00062
CV(%)		3,2	1,1

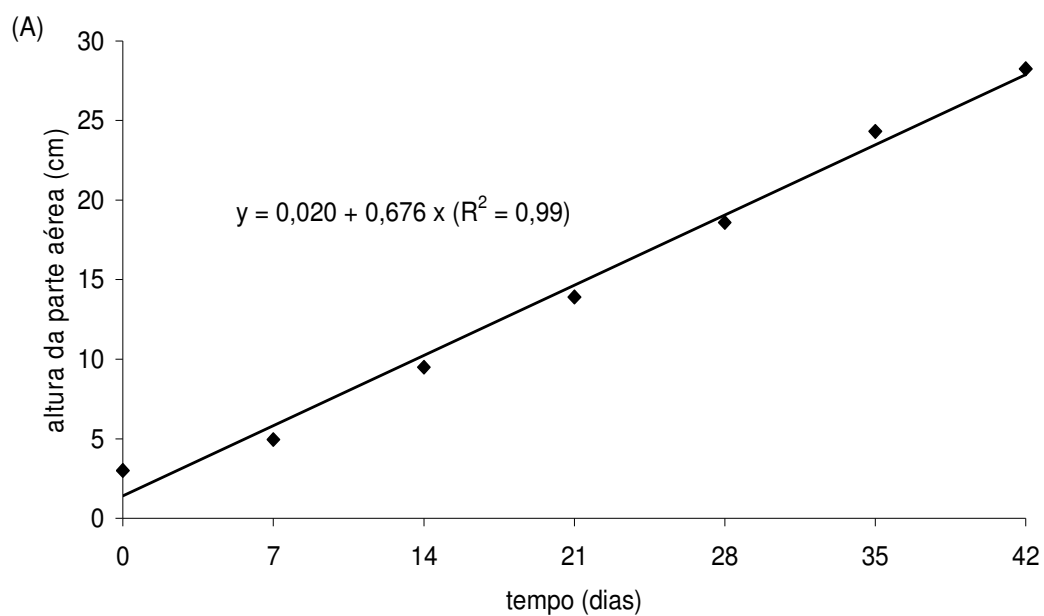
* Significativo ao nível de 1% pelo teste F, ** Significativo ao nível de 5% pelo teste F e ^{ns} Não significativo.



Figura 23 - Alface cultivar Vanda

8.3.2. Cultivo do Agrião

O aumento da altura da parte aérea do agrião seguiu um efeito linear positivo em função do período de cultivo (Figura 24). O aumento do número de folhas por planta também seguiu um efeito linear positivo em função do período de cultivo (Figura 25 B). Como para essas variáveis não houve interação entre os fatores, foi ajustada apenas uma equação para ambas as soluções nutritivas.



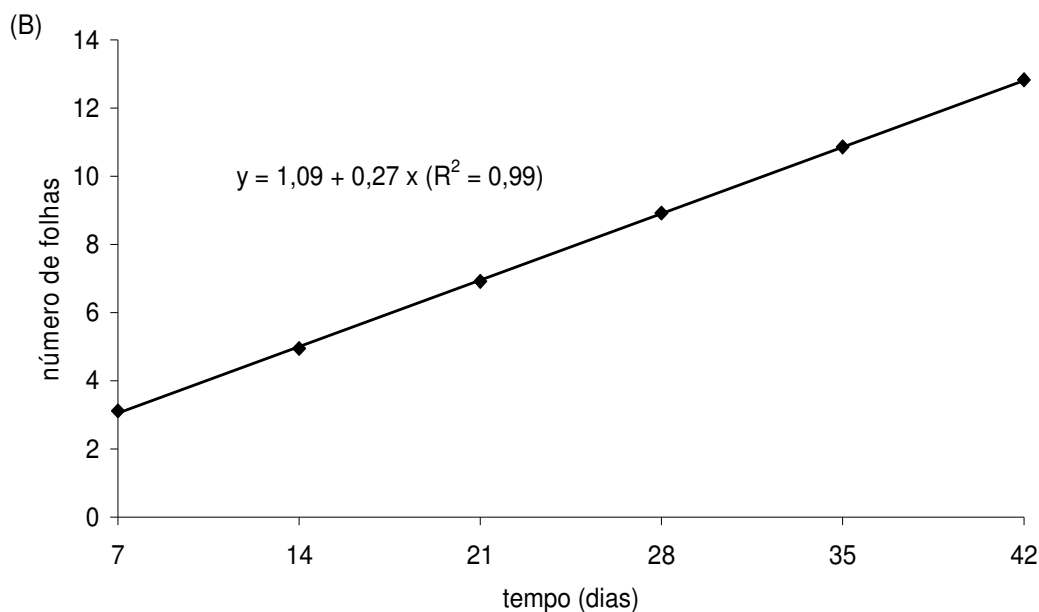


Figura 24 - Variáveis observadas durante o cultivo hidropônico do agrião cv. Gigante Redondo, durante os meses de setembro e outubro de 2008, (A) Altura da parte aérea das plantas e (B) Número de folhas das plantas aos 42 dias de cultivo hidropônico nas soluções comercial a base de vinhaça.

A solução comercial teve a sua condutividade elétrica em declínio no decorrer do período da cultura, por outro lado a solução a base de vinhaça teve variação, num primeiro períodos do cultivo baixou, depois se elevou, o que necessariamente não significa que houve liberação de elementos que ainda estavam dispostos na vinhaça, sendo necessário controle (Figura 25).

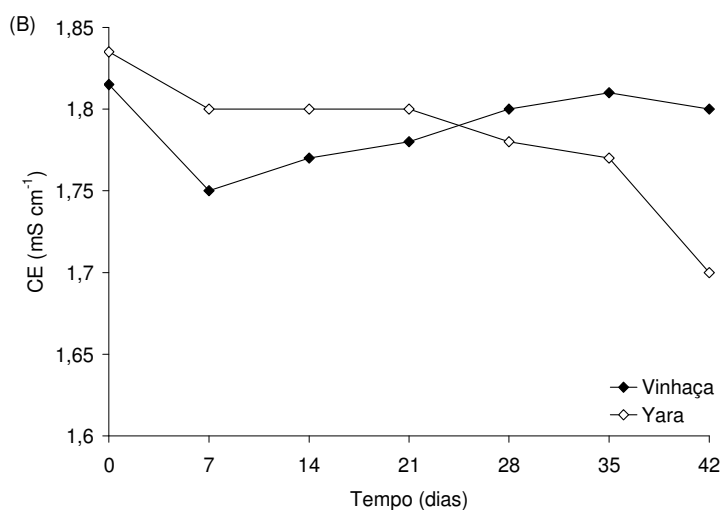


Figura 25 - Valores semanais da condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas, considerando a solução a base de vinhaça e a solução comercial na cultura, Agrião cv. Gigante Redondo

O pH da solução a base de vinhaça sofreu grandes oscilações até os 21 dias devido a oxidação da matéria prima que restante na vinhaça e depois deste período estabilizou, diferentemente do pH da solução nutritiva comercial que se manteve em 6,1 a 6,2 (Figura 26).

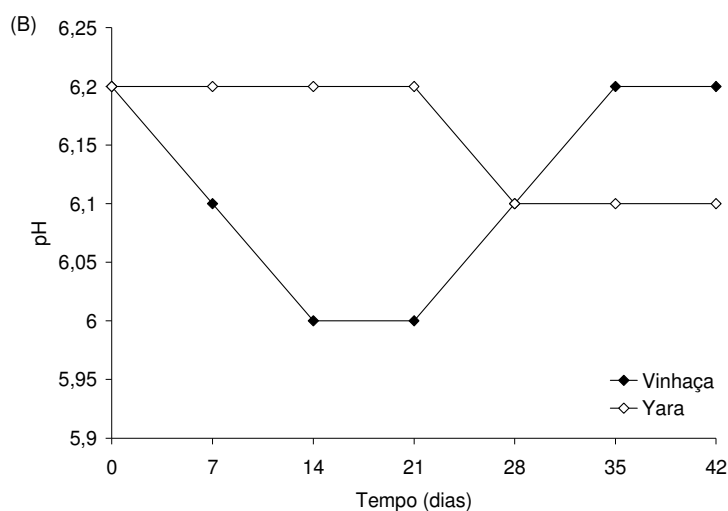


Figura 26 B - Valores semanais do pH das soluções nutritivas, considerando a solução a vinhaça e a solução comercial nas culturas, Agrião Gigante Redondo

Os resultados da análise de variância indicaram para o cultivo do agrião, diferenças significativas com relação às soluções nutritivas usadas, tanto para a altura da parte aérea ($P < 0,01$), quanto para o número de folhas ($P < 0,05$) (Tabela 12). A solução com vinhaça foi superior com relação a altura da parte aérea, atingindo 28,9 cm comparado a 27,6 cm de altura da parte aérea obtido pela solução comercial. Entretanto, para a variável, número de folhas, a solução com vinhaça foi inferior a solução comercial, sendo 12,7 folhas por planta comparada a 13 folhas por planta, respectivamente. A análise de variância também foi significativa para o fator tempo de cultivo ($P < 0,01$), para ambas as variáveis observadas no agrião. Não houve interação significativa para os fatores, solução nutritiva e período de cultivo (Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância da hortaliça cultivada em diferentes soluções nutritivas em hidroponia. Altura da parte aérea (AP cm) e número de folhas (NF). Fator A (solução comercial e solução a base de vinhaça) e fator B (0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias).

F.V.	G. L.	Agrião	
		AP cm	NF
		Quadrado médio do erro	
Sol. nutritiva (A)	1	3,087*	0,00211**
Tempo (dias) (B)	5	471,308*	2,76901*
A x B	5	0,363 ^{ns}	0,00062 ^{ns}
Resíduo	24	0,091	0,00042
CV(%)			0,7

* Significativo ao nível de 1% pelo teste F, ** Significativo ao nível de 5% pelo teste F e ^{ns} Não significativo.

8.3.3. Cultivo da Rúcula

Na cultura da Rúcula a relação a interação entre os fatores, solução nutritiva e tempo de cultivo, apenas a variável altura da parte aérea foi significativa ($P < 0,01$). O aumento da altura da parte aérea da rúcula seguiu um efeito linear positivo em função do período de cultivo (Figura 27).

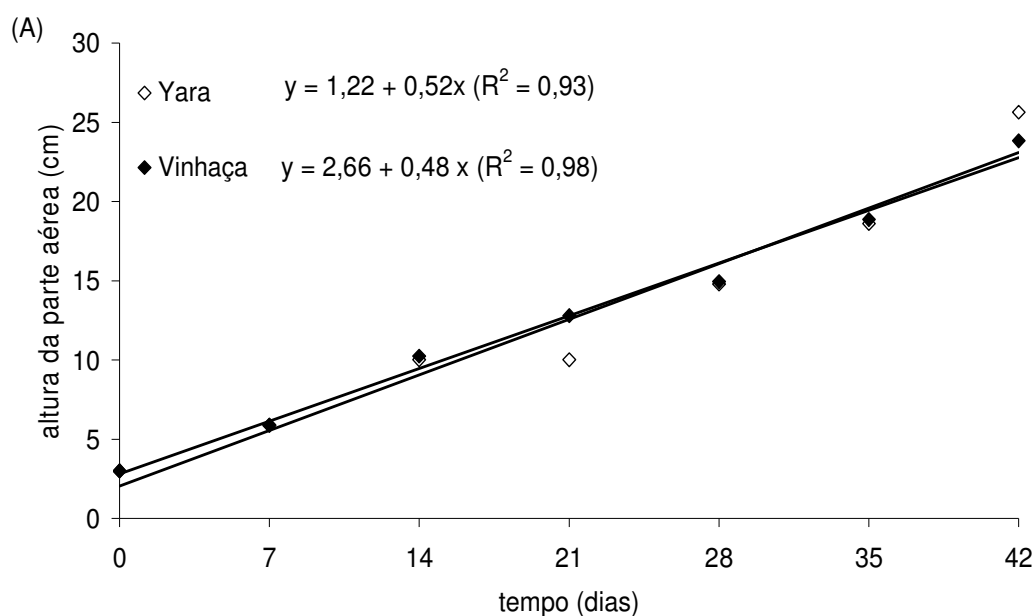


Figura 27 - Variáveis observadas durante o cultivo hidropônico da rúcula cv. Apreciatta, durante os meses de setembro e outubro de 2008, (A) Altura da parte aérea das plantas e (B) Número de folhas das plantas aos 42 dias de cultivo hidropônico nas soluções comercial e solução a base de vinhaça.

Entretanto, devido à interação entre os fatores, duas equações foram ajustadas. O aumento do número de folhas por planta também seguiu um efeito linear positivo em função do período de cultivo, como a interação entre os fatores não foi significativa, apenas uma equação foi ajustada (Figura 28).

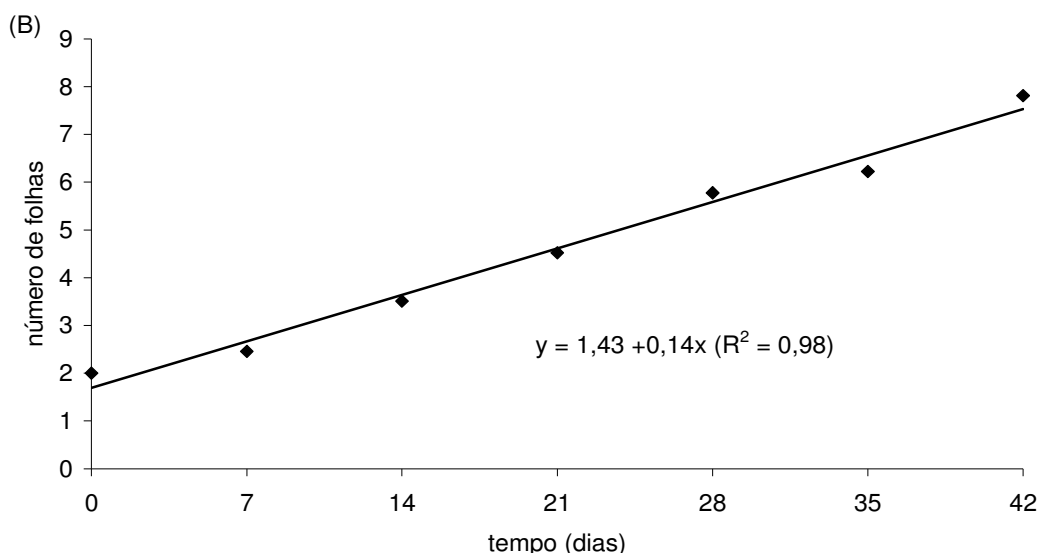


Figura 28 - Variáveis observadas durante o cultivo hidropônico da rúcula cv. Apreciatta, durante os meses de setembro e outubro de 2008, (A) Altura da parte aérea das plantas e (B) Número de folhas das plantas aos 42 dias de cultivo hidropônico nas soluções comercial e solução a base de vinhaça.

No cultivo da rúcula a solução comercial teve a sua condutividade elétrica diminuída no decorrer do período dentro do esperado, de forma diferente a solução a base de vinhaça obteve pequenas variações, e em alguns períodos da cultura demonstrou aumento, o que neste caso não significa que a quantidade dos nutrientes aumentou (Figura 29).

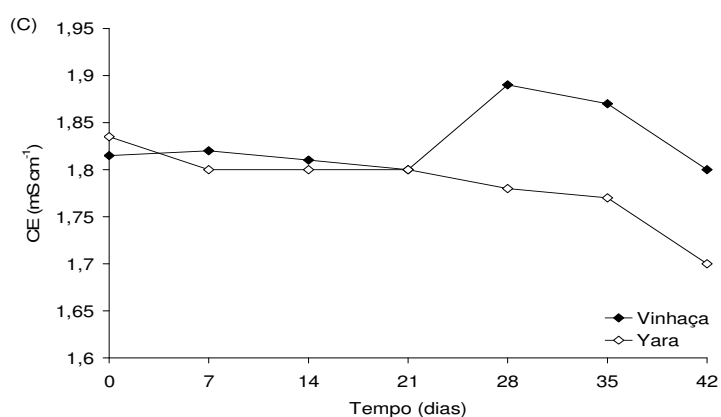


Figura 29 - Valores semanais da condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas, considerando a solução a base de vinhaça e a solução comercial na cultura, (Rúcula cv. Apreciatta).

O pH da solução a base de vinhaça manteve-se em 6,2 até os 21 dias depois oscilou pela oxidação da matéria orgânica restante na vinhaça necessitando de controle periódico, já solução nutritiva comercial que se manteve em 6,2 (Figura 30).

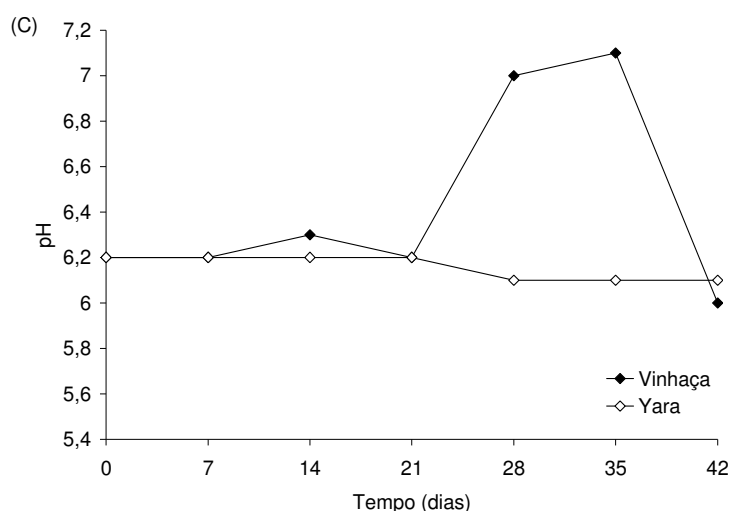


Figura 30 C - Valores semanais do pH das soluções nutritivas, considerando a solução a vinhaça e a solução comercial na cultura, Rúcula *Apreciatta*.

Os resultados da análise de variância não indicaram para o cultivo da rúcula, diferenças significativas com relação às soluções nutritivas usadas, tanto para a altura da parte aérea, quanto para o número de folhas (Tabela 13). A solução com vinhaça e a solução comercial apresentaram médias de 23,8 cm e 25,6 cm da altura da parte aérea, respectivamente. O número de folhas obtidas foi de 7,8 folhas por planta para ambas as soluções. Resultados discordantes foram encontrados por (Cavarianni, et al. 2008) nas cultivares, Folha Larga, Cultivada e Selvática, variando de 6,5 à 16,6 cm de parte aérea, e de 8,8 à 11,4 no número de folhas, contudo, o período de cultivo após o transplante foi de apenas 26 dias e as mudas tiveram o mesmo número de dias após a semeadura das mudas usadas no trabalho.

O fator tempo de cultivo ($P < 0,01$) foi significativo, para ambas as variáveis observadas na rúcula (Tabela 13).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância das hortaliças cultivadas em diferentes soluções nutritivas em hidroponia. Altura da parte aérea (AP cm) e número de folhas (NF). Fator A (solução comercial e solução a base de vinhaça) e fator B (0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias).

F.V.	G.L.	Rúcula	
		AP cm	NF
		Quadrado médio do erro	
Sol. nutritiva (A)	1	0,65 ^{ns}	0,00002 ^{ns}
Tempo (dias) (B)	5	270,46*	1,19199*
A x B	5	3,20*	0,00026 ^{ns}
Resíduo	24	0,25	0,00029
CV(%)		3,5	0,7

* Significativo ao nível de 1% pelo teste F, ** Significativo ao nível de 5% pelo teste F e ^{ns} Não significativo.



Figura 31 – Rúcula apreciatta

9. CONCLUSÕES

O sistema hidropônico *Nutrient Film Technique* (NFT) foi eficiente atendendo os objetivos esperados, os canais com espaçamento de 25 cm e inclinação de 10% são recomendados para as culturas da alface, agrião e rúcula. A solução nutritiva a base de vinhaça mostrou-se capaz de produzir culturas com qualidade igual ou até superior à solução comercial comparada, além de ser 60 a 70% mais barato.

Tabela 14 - Custos da solução vinhaça x comercial 09/2010

Reagentes	Meio Com. (g/1000L)	Quant. Com. (Kg)	Valor (Total)	Custo (Sol. Com.)	Meio Vin. (g/1000L)	Custo (Sol. Vinh.)
Kristalon	800	60	140,00	3,97	0,98	0,39
Nitr. de cálcio	800	40	90,00	1,80	800	1,80
Hidro ferro	0,30	1	23,00	0,69	---	---
Vinhaça	10%	50L	---	---	---	---
Custo total do meio de cultura (R\$)				6,46		2,19

Redução do Custo aproximadamente 66%

Foi desconsiderado o custo para tratamento, decantação e transporte da vinhaça.

Valores fornecidos pela CDA, 2010

As culturas de alface agrião e rúcula demonstraram capacidade de absorver os nutrientes nas doses estimadas na solução a base de vinhaça, além disso, diminuiu em aproximadamente 20 a 30% o nitrato nas folhas de alface em comparação com a produzida com solução nutritiva comercial. Para o cultivo da alface a solução nutritiva a base de vinhaça demonstrou-se viável em todas as épocas do ano, o agrião e a rúcula mostraram maior desenvolvimento nos meses mais quentes do ano, que corresponderam de agosto a maio.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A solução a base de vinhaça é 66% mais econômica;
- Meio ambiente, pode ser usada como fertilizante tanto na hidroponia como no solo;
- Ainda é necessário estudos para desenvolver maior aproveitamento da vinhaça na solução.
- Produtividade semelhante à solução nutritiva comercial conforme demonstrado na (Tabela 15).

Tabela 15 – Demonstração da produtividade das culturas da Alface, Agrião e Rúcula sob cultivo das soluções nutritiva comercial e vinhaça.

Dados do cultivo	Alface	Agrião	Rúcula
	Vinhaça/ Comercial	Vinhaça/ Comercial	Vinhaça/ Comercial
Altura p. aérea	28,9 cm. / 27,6 cm.	28,9 cm. / 27,6 cm.	23,8 cm. / 25,6 cm.
Número de folhas	13 folhas /13 folhas	13 folha /13 folhas	8 folhas /8 folhas
Massa fresca P.A.	10,0g. /9,6g.	86,5g. / 85,9g.	34,1g. /36,2g.

Tabela 13 – Comparativo entre culturas, altura, número de folhas e peso, com solução nutritiva a base de vinhaça e solução nutritiva comercial

11. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Uso da solução a base de vinhaça como substrato para microrganismos fixadores de nitrogênio;
- Aplicação da solução a base de vinhaça para aumentar as propriedades anti-oxidante e outros metabólitos secundários em plantas medicinais;
- Uso da vinhaça como fertilizante para silvicultura;
- Aproveitamento da vinhaça para culturas envolvidas na produção de biodiesel;
- Aproveitamento da matéria orgânica retirado da vinhaça para as indústrias cerâmicas, porcelana, cimento etc.

12. OUTRAS PERSPECTIVAS

Otimizar soluções hidropônicas a base de vinhaça para as principais culturas de interesse econômico. Transferência da nossa tecnologia, hoje protegida por lei de patentes brasileira (Socol et al. 2009), gerar perspectivas de lucros para a Universidade, desenvolvimento sustentável para a vinhaça reduzindo a quantidade de resíduos no meio ambiente, diminuir os custos de produção para os alimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas Resíduos sólidos: Classificação**, NBR 10.004. Rio de Janeiro: 1987.

ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p.391-470, 2005.

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT an hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, n. 361, p. 254-257, 1994.

ALBERONI, R. B. Hidroponia. **Como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo - Alface, Rabanete, Rúcula, Almeirão, Chicória, Agrião**. São Paulo: Nobel, p. 102, 1998.

ALMEIDA, JR.; RANZANI, G.; VALSECCHI, O. LA VINASSI DANS L'AGRICULTURE **Boletim do Instituto Zimonecnico**. Piracicaba, n. 3, p. 1 - 9, 1950.

ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça em São Paulo. Piracicaba: Instituto Zimotécnico da ESALQ, p. 24, (**Boletim - IZ-ESALQ**, 3), 1952.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Editora da UFSM, p. 142, 1999.

AYERS, R. S & WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de GHEYI, H. R., MEDEIROS, F. F. e DAMASCENO, F. A. V. **Avaliação da Qualidade da Água**. Campina Grande, UFPB, Cap. 01, p. 1-15, 1991.

BACKES, F. A. A. L.; SANTOS, O. S. dos; PILAU, F. G.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; FAGAN, E. B. Reposição de nutrientes em solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1407-1414, 2004.

BARBOSA, R. Z.; ARAÚJO, H. M.; BONFANTE, J. W.; VILLELA JUNIOR, L. V. E. Avaliação de quatro cultivares de agrião cultivados hidroponicamente em Garça (SP). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 7, n. 15, 2009.

BERNARDES, L. J. L. **Hidroponia**. Alface Uma História de Sucesso. Charqueadas: Estação Experimental de Hidroponia “Alface e Cia”, p. 120, 1997.

CARON, B. O.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; SCHMIDT, D.; POMMER, S. F.; BIANCHI, C. Influência da temperatura do ar e radiação solar no acúmulo de

fitomassa da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 275-283, 2003.

CARVALHO, S. M. SILVA. Desenvolvimento de bioprocesso para produção de etanol em meio melão-vinhoto empregando leveduras imobilizadas. Manaus: UFAM, p. 217, 2006.

CASTELLANE, P. D. **Cultivo sem solo - Hidroponia**. 2ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 43 p. 1995.

CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. de. **Cultivo sem solo - Hidroponia**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 43p. 1995.

CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CAVARIANNI, R. L.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CAZETTA, J. O.; MAY, A.; CORRADIS, M. M. Nutrient contents and production of rocket as affected by nitrogen concentrations in the nutritive solution. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 652-658, 2008.

CETESB, São Paulo. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo, 1988.

CETESB, São Paulo. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2ª ed. São Paulo:CETESB/GTZ. 389p. 2001.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATOM, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. **APHA: Washington**, 1220 p. 1998.

COSTA, P. C; DIDONE, E. B.; SESSO, P. M.; CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n.3, p. 595-597, 2001.

CORAZZA, R. I. Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação. **Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. Fortaleza, 23 à 27 de Julho de 2006.

CRUZ, C. D. **Programa Genes, versão windows: Aplicativo Computacional em Genética e Estatística**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 648p. 2001.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, v.19, n.8, p.155-165, 1981.

DOUGLAS, J. S. **Hidroponia. Cultura sem terra** - São Paulo, 6ª ed, 144p. 1972.

DOUGLAS, J. S. **Hidroponia. Cultura sem terra** - São Paulo: Nobel, 1997.

DUARTE, R. L. R.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q.; SETUBAL, J. W. Avaliação de cultivares de alface nos períodos chuvoso e seco em Teresina, PI. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 10, p. 106-108, 1992.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. UFLA. Lavras, MG, 1996.

FERREIRA, E. S & MONTEIRO, A. O. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas do solo. **Boletim Técnico da COPERSUCAR**, Piracicaba, n. 37, p. 3-7, 1987.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de açúcar**. Guaíra: Livraria e Editora Agropecuária, 2000.

FURLANI, P. R. **Cultivo da alface pela técnica de hidroponia - NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 18 p. 1995.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIM, V. **Boletim Técnico 180: Cultivo Hidropônico de Plantas**. Instituto Agrônomo, Campinas – SP, 1999.

GEMTOS, T. A.; CHOULIARAS, N.; MARAKIS, S. Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop. **Journal of Agriculture and Engineering Research**, v. 73, n. 3, p. 283-296, 1999.

GLÓRIA, N. A. **Emprego da vinhaça para fertilização**. Piracicaba: s.l., CODISTIL, s.n.p., 1976.

GLÓRIA, N. A. & MAGRO, J. A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: **SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGRO-INDÚSTRIA AÇUCAREIRA**, Águas de Lindóia, 1976.

GLÓRIA, N. A. & ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça como fertilizante. **Boletim Técnico do Planalsucar**, Araras, v.5, p.5-38, 1983.

GLORIA, N. A. & ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça: resumo e discussões sobre o que foi pesquisado**. Álcool e Açúcar, v.4, n.15, p. 22-31, 1984.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça da cana-de-açúcar no Aquífero Bauru**. Tese de Mestrado. Instituto de Geociência-USP. São Paulo, 1989.

JENSEN, M. H. Hydroponics. **Hortscience**, v.32, n.3, p. 1018-1021, 1997.

JOUBERT, T. G. G.; COERTZE, A. F. The cultivation of lettuce. Pretoria: **Horticultural Research Institute**, Pretoria, 1982.

LEAL, J. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; ROSSIELO, R. O. P. Potencial redox e pH: variação em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.7, n.4, p.257-261, 1983.

LYRA, C. C. R. M. **Avaliação da qualidade de água de lençol freático em uma área fertirrigada com vinhaça**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 14 à 19 de Setembro de 2003.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. da. Toposeqüência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p. 525-532, 2003.

LOPES, M. C.; FREIER, M.; MATTE, J. D.; GÄRTNER, M.; FRANZENER, G.; CASIMIRO, E. L. N.; SEVIGNANI, A. Absorção de nutrientes por diferentes cultivares de alface em cultivo hidropônico no período de inverno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, supl. 2, 2002.

LÓPEZ-GALVEZ, J.; PEIL, R. M. N. La modernidad del sistema de producción hortícola en el sudeste español. **Plasticulture**. Almeria, 2000.

LORENZO, P. M. El sombreado móvil exterior : efecto sobre el clima del invernadero , la producción y la eficiencia en el uso del agua y la radiación. In: MILAGROS, F.F.; PILAR, L.M.; CUADRADO GÓMEZ, I. (Eds.) **Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos**. Almeria: F.I.A.P.A, 2003.

MACEDO, I. C. Biomass as a Source of Energy. Unpublished paper commissioned for the InterAcademy Council study report, **Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future**. IAC, Amsterdam, 2005.

MALAVOLTA, E.; F. PIMENTEL-GOMES; J. C. ALCARDE. Adubos e adubações – São Paulo: Nobel, 2002.

MALAVOLTA, E.; GODOFREDO C. V.; OLIVEIRA, S. A de. Avaliação do Estado Nutricionais das Plantas. 2ª ed., E atualização - Piracicaba: **POTAFOS**, 1997.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, n. 6, p. 369-375, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academy Press, 1986.

MARTINEZ, H. E. P. O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. 3ª ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 61 (**Cadernos didáticos, 1**), 2002.

MARTINEZ, H. E. P.; SILVA FILHO, J. B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. Viçosa: UFV, 52p, 1997.

MEDEIROS, S. L. P.; FAGAN, E. B. Reposição de nutrientes em solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p.1407-1414, 2004.

MONTEZANO, E. M.; PEIL, R. M.; FERREIRA, A. A. F.; FERNANDES, H. S. Concentração salina da solução nutritiva para a cultura da alface em hidroponia NFT. Parte I : consumo hídrico e eficiência no uso da água. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, supl. 2, 2002.

OHSE, S.; DOURADO-NETO, D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia Agricola**, v. 58, n.1, p.181-185, 2001.

MONTEIRO, O. M. **Avaliação Físico-Químico do Material Solo Vinhaça Concentrada, e sua utilização para fins de fabricação de tijolos**. Campinas S.P. (s.n.), 1996.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil**. Piracicaba. IAA/PLANALSUCAR, 1983.

PENATTI, C. P.; ZOTARELLI, E. M. M. ; BENEDINE, M. S. ; CHALITA, R. ; FERREIRA, E. S. Recomendações de adubação para a cultura de cana-de-açúcar. In: **Seminário de Tecnologia Agrônômica**. Anais... Piracicaba: ESALQ/USP, 1988.

PRIETO, M. & EMILIA H. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. 3^a ed. Rev - Viçosa : Ed. UFV, 2006.

RAZANI, G. **Conseqüência da Aplicação do Restilo ao Solo**. Anais da ESALQ/USP, Piracicaba, n. 12, p. 56-68, 1956.

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; Mota, J. H.; SOUZA, R. J. de.; FREITAS, S. A. C. de.; RODRIGUES Jr., J. C. Efeitos de tipos de bandejas e idade de transplântio de mudas sobre o desenvolvimento e produtividade da alface americana. **Horticultura Brasileira**, 2003.

RESH, H. M. **Hydroponic food production**. Woodbridge: Press Publishing Company, 1985.

RIMSKI-KHORSKOV, H.; RUBIO, G.; LAVADO, R. S. Potential nitrate losses under different agricultural practices in Pampas regions, Argentina. **Agriculture Water Management**, v.65, n.2, p.83-94, 2004.

RODELLA, A. A. & FERRARI, S. E. A Composição da Vinhaça e Efeitos da sua Aplicação com Fertilizantes na Cana-de-açúcar, **Brasil açucareiro**, Rio de Janeiro v. 90, n. 1, p. 380-389, 1977.

RODELLA, A. A.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Effects of vinasse added to soil on pH and exchangeable aluminium content. In: **XVIII Proceedings of Congress of International Society of Sugar Cane Technologists**, La Habana, v.1, n.1, p.189-214, 1983.

ROLIM, M. FREIRE, W.J. **Solo- Vinhaça Concentrada: Aplicação na Fabricação de Tijolos**. In *Workshop Reciclagem e Re-utilização de Resíduos como Materiais de*

Construção Civil. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído, Anais, p.118-123,1996.

ROSSETO, A. J. **Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira**. In: Paranhos, S. B. (ed.). *Cana-de-açúcar: cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, v. 2, p. 435-504, 1987.

SANCHES, C. A. Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. *Journal. American Society of Horticultural Science*, v. 114, n. 6, p. 884-890, 1989.

SHARPLEY, A. N.; MENZEL R. G.; SMITH, S. J.; RHOADES, E. D.; OLNES, A. E. The sorption of soluble phosphorus by soil material during transport in runoff from cropped and grassed watersheds. *J. Environ.* n.10: p.211- 215, 1981.

SILVA, M. A. S.; Griebeler, N. P.; Borges, L. C. 2007. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108–114.

SCHMIDT, D.; SANTOS, O. S.; BONNECARRERE, R. A. G.; MARIANI, O. A.; MANFRON, P. A. Desempenho de soluções nutritivas e cultivares de alface em hidropônia. *Horticultura brasileira*, v. 19, n.2, jul. 2001.

SIMEPAR – Instituto Tecnológico ligado a Secretária de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado do Paraná, 2009.

SILVA, G. N. & ORLANDO FILHO, J. – Concentração da Composição Química dos Diferentes Tipos de Vinhaça do Brasil. *Boletim Técnico PLANALSUCAR* – Piracicaba, n. 8 p. 5-22, 1981.

SOCCOL, C. R.; SANTOS, J. D.; SCHEIDT G. H. – Desenvolvimento de solução nutritiva a base de vinhaça. *Revista INPI*, 2009.

SOARES, G. R.; GONCALVES, R. F.; ALVAREZ, C. E. de.; PERTEL, M.; GRECCO, L. B. Diagnóstico sobre el consumo de agua en la Estación Antártica Comandante Ferraz - BRASIL, 2007.

STEVENSON, F. J. Cycles of sil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrientes. In: Tan, K.H. (Ed.). *Principles of soil chemistry*. 2^a ed. New York: Marcell Dekker, 362 p. 1986.

TEIXEIRA, N. T. Hidroponia: **Uma alternativa para pequenas áreas**. Guaíba: Agropecuária, p. 86, 1996.

TIBAU, A. U. **Matéria orgânica e fertilizante do solo**. 1^a ed., São Paulo: Livraria Nobel S/A, p.78, 1978.

UEDA, S. **Hidroponia: guia prático**. São Paulo: Agrocasa-de-Vegetação, p. 50, 1990.

VAZ, R. M. R.; JUNQUEIRA, A. M. R. Desempenho de três cultivares de alface sob cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 178-180, 1998.

VON OS. E. Closed soilless growing systems; Sustainable solution for dutch greenhouse horticulture. **Water Science and Technology**, Colchester, v 39, n.5: 105-112, 1999.

www.editoravalete.com.br/site.../ed.../ed_77a.htm - Acesso dezembro 2010.

www.agencia.cnptia.embrapa.br/.../CONTAG01_39_711200516717.html - Acesso dezembro 2010.

www.apta.sp.gov.br/cana/.../position_paper_sessao2_veronez.pdf - Acesso dezembro 2010.

www.apta.sp.gov.br/cana/.../workshop_vinhaca_sessao5_clarita.pdf - Acesso dezembro 2010.

www.hydor.eng.br - Acesso dezembro 2010.

www.mpz.com.br/geomembrana.html - Acesso dezembro 2010.

www.portalsaofrancisco.com.br/.../hidroponia/hidroponia-6.php - Acesso dezembro 2010.