

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Mestrado em Engenharia Agronómica



**“Influência da dotação de rega na produção de
sorgo sacarino”**

Dissertação de mestrado elaborada por:

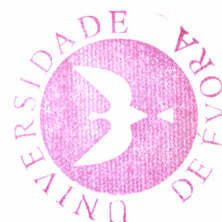
Bruno Miguel Oliveira Soares

Orientadora:

Prof. Maria Ermelinda Vaz Lourenço

Co-orientadora:

Prof. Maria Isabel Nunes Januário



286 182

ÉVORA
2010

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Mestrado em Engenharia Agronómica



**“Influência da dotação de rega na produção de
sorgo sacarino”**

Dissertação de mestrado elaborada por:

Bruno Miguel Oliveira Soares

Orientadora:

Prof. Maria Ermelinda Vaz Lourenço

Co-orientadora:

Prof. Maria Isabel Nunes Januário

ÉVORA
2010

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projecto INTERREG III B – Culturas energéticas no espaço Atlântico: oportunidades de implementação em larga escala (2004 – 2007).

À minha família

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à Professora Doutora Maria Ermelinda Vaz Lourenço, pela permanente disponibilidade demonstrada ao longo de todo este trabalho e por todos os preciosos conselhos que me deu.

Um agradecimento muito especial à Professora Doutora Isabel Nunes Januário, sem a qual não teria sido possível realizar este trabalho, por todo o apoio e dedicação demonstrados.

Quero agradecer aos meus pais, pois sem a sua ajuda e o seu apoio não teria sido possível concluir a minha licenciatura e este mestrado.

Agradeço aos meus avós por todo o apoio e força que me transmitiram ao longo de todos estes anos.

Quero agradecer aos meus colegas de estágio, João Lourinho e João Ângelo, pelo companheirismo e capacidade de trabalhar em equipa que sempre demonstraram.

Um muito obrigado ao meu colega de estudo Paulo Vicente, com o qual gostei imenso de trabalhar.

Índice

Resumo.....	VII
Abstract.....	VIII
1.Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	4
2.1. Importância dos biocombustíveis.....	5
2.2. O bioetanol.....	12
2.3. Generalidades sobre a cultura.....	16
2.3.1. Classificação taxonómica.....	16
2.3.2. Origem e difusão geográfica.....	17
2.3.3. Exigências ecológicas e ecofisiologia.....	19
2.3.4. Desenvolvimento da cultura.....	21
2.4. Tecnologia de produção.....	24
2.4.1. Preparação do solo.....	24
2.4.2. Sementeira.....	29
2.4.3. Fertilização.....	31
2.4.4. Necessidades hídricas.....	34
2.4.5. Controlo de infestantes.....	36
2.4.6. Pragas e doenças.....	38
2.4.7. Colheita.....	40
2.5. Produção de matéria seca.....	41
2.6. Produção de açúcares.....	43
2.7. Concentração de açúcares no caule.....	45
2.8. Produção de etanol.....	47
3. Metodologia de campo.....	49
4. Metodologia laboratorial.....	53
4.1. Material.....	54
4.2. Métodos.....	55
4.2.1. Preparação do material vegetal para análise.....	55
4.2.2. Extracção do sumo e separação da fibra.....	55
4.2.3. Determinação do teor de sumo, de sólidos solúveis e de fibra.....	57

4.2.4. Preparação do sumo extraído para injeção no aparelho de HPLC.....	58
4.2.5. Determinação dos açúcares do sumo por HPLC.....	58
4.2.5.1. Obtenção da curva de calibração dos açúcares em análise.....	61
4.2.5.2. Quantificação dos açúcares nas amostras.....	62
4.2.6. Tratamento estatístico dos resultados.....	63
5. Apresentação e discussão de resultados.....	64
5.1. Análise de variância.....	65
5.2. Produção de matéria verde e seca em caules.....	67
5.3. Concentração de açúcares.....	69
5.3.1. Brix e concentração de açúcares totais.....	69
5.3.2. Concentração de sacarose.....	71
5.3.3. Concentração de glucose.....	73
5.3.4. Concentração de frutose.....	74
5.4. Produção de açúcares.....	75
5.4.1. Produção total de açúcares.....	75
5.4.2. Produção de sacarose.....	77
5.4.3. Produção de glucose.....	78
5.4.4. Produção de frutose.....	79
5.5. Produção potencial de etanol.....	80
6. Conclusões.....	83
7. Bibliografia.....	86
8. Anexos.....	92

Resumo

Esta dissertação foi elaborada com base em resultados de um ensaio realizado no Centro de Estudos e Experimentação da Mitra, da Universidade de Évora.

A experimentação teve por objectivo avaliar a influência da dotação de rega na produção de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*), tendo-se utilizado a variedade “Índia”. As modalidades de rega ensaiadas foram as seguintes: 1500, 2500, 3500 e 4500 m³/ha.

Para avaliar o desempenho das plantas, sujeitas às diferentes dotações, foram determinados os seguintes parâmetros: produção de matéria verde e seca em caules; concentração de sólidos solúveis; produção de sumo; concentração de sacarose, frutose e glucose nos caules; e produção total de açúcares.

Em termos de concentração de açúcares totais os valores oscilaram à medida que a dotação aumentou, não se tendo verificado um decréscimo gradual. No que diz respeito à produção total de açúcares, verificou-se que o valor mais elevado (5,1 t/ha) foi obtido a partir da dotação de 4500 m³/ha.

“Influence of the amount of irrigation water in the production of sweet sorghum”

Abstract

The present dissertation was elaborated from the results of an essay that took place at Mitra Experimental Research Station of the University of Évora.

The research was carried out with the objective of evaluating the influence of the amount of irrigation water in the production of a variety (Índia) of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*). The amounts of water tested were: 1500, 2500, 3500 and 4500 m³/ha.

In order to evaluate plant response to the different amounts of water applied the following parameters were evaluated: fresh and dry matter production of the stalks; concentration of soluble solids; production of juice; concentration of sucrose, fructose, and glucose in the stalks; and total amount of sugars produced.

With respect to sugars concentration the values oscillated as the amount of water provided increased and no gradual decrease was observed. In what concerns the total sugar production, there was a tendency for the best results (5,1t/ha) to be obtained when 4500m³ of water per hectare were provided.

1. Introdução

1. Introdução

As alterações climáticas, a poluição do ar, os preços do petróleo são razões mais do que suficientes para procurarmos alternativas aos combustíveis fósseis, principalmente quanto aos combustíveis utilizados nos transportes.

O sector dos transportes, do ponto de vista energético, tem merecido elevadas preocupações. Os principais problemas energéticos associados a esse sector prendem-se com as elevadas necessidades energéticas, a inexistência de soluções alternativas eficazes, o aumento da procura e a redução da oferta face à procura crescente (menos reservas disponíveis). Esses problemas geram outros, de forma indirecta, tais como conflitos geopolíticos, escassez e correspondente subida do preço dos combustíveis líquidos e ainda, dependência directa de certos países relativamente ao petróleo, como é o caso dos EUA.

Muito tem sido feito nos últimos anos no sentido de desenvolver alternativas aos combustíveis fósseis, sendo de referir o bioetanol na área dos biocombustíveis, mas também o biodiesel, o gás metano, a utilização directa de óleo ou os novos combustíveis de síntese produzidos a partir de materiais lenhocelulósicos.

De todos estes biocombustíveis, aquele que vai ter maior expressão nos próximos anos em Portugal é sem dúvida o biodiesel, uma vez que já existem algumas empresas com projectos em funcionamento ou em pré – funcionamento para a sua produção. Para a produção de bioetanol não existem ainda unidades de produção no nosso país.

Os biocombustíveis podem ser definidos como os combustíveis produzidos a partir de biomassas agrícolas, sendo por isso renováveis. Estes podem substituir os combustíveis fósseis e reduzir a emissão de gases de efeito estufa, porque são menos poluentes e em função da absorção do CO₂ atmosférico que ocorre na produção da biomassa.

O aumento da utilização de energias renováveis é imprescindível, não só por questões de natureza ambiental mas também, de natureza económica.

A chegada dos biocombustíveis aos depósitos dos nossos automóveis está a originar uma corrida à produção de cereais e oleaginosas. Os projectos inovadores sucedem-se e deste modo pode dizer-se que os biocombustíveis estão a relançar gradualmente a agricultura portuguesa.

A agricultura em Portugal tem vivido momentos difíceis. Tal situação é verificada pelo abandono das zonas rurais e conseqüente fixação dessa população nas grandes cidades. A Superfície Agrícola Usada tem sofrido um decréscimo nos últimos anos de cerca de 0,9 %/ano (taxa calculada entre 1999 e 2003) (Mateus, s/ data). Caso o Governo Português adopte uma estratégia de produção sustentável de biocombustíveis líquidos, certamente será possível rectificar a presente fragilidade do sector agrícola nacional.

Os empresários portugueses, mesmo descapitalizados, sobretaxados e em desvantagem em relação à concorrência externa, estão dispostos a investir em Portugal e a trabalhar para o bem dos portugueses e do País. Bastará que quem governe não coloque entraves ao desenvolvimento, à criação de postos de trabalho, à diminuição da importação de petróleo e com isso à melhoria da nossa balança de pagamentos para que a solução racional e sustentável apareça.

Neste contexto, têm sido desenvolvidos em Portugal alguns ensaios, com determinadas culturas, de forma a verificar a sua adaptação e produção nas nossas condições edafoclimáticas. Culturas como o cardo, a colza, o sorgo sacarino e a cana-de-açúcar têm sido objecto de estudo nos últimos anos.

Este trabalho foi realizado com base num ensaio conduzido na Herdade Experimental da Mitra, pertencente à Universidade de Évora, no qual a variedade “Índia” de sorgo sacarino foi sujeita a quatro dotações de rega: 1500 m³, 2500 m³, 3500 m³ e 4500 m³ por hectare.

O objectivo deste ensaio foi comparar as produções de matéria seca, a concentração dos vários açúcares no colmo e a potencial produção de bioetanol da variedade em estudo quando sujeita a diferentes dotações de rega.

2. Revisão Bibliográfica

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Importância dos biocombustíveis

A excessiva dependência em termos energéticos das sociedades actuais e a preocupação crescente com as potenciais alterações climáticas associadas, motivam a necessidade de implementação de sistemas energéticos, com base em recursos de origem renovável, promovendo sistemas económicos mais sustentáveis.

As alterações climáticas são actualmente consideradas, uma das mais sérias ameaças ambientais a nível global, com fortes impactos nos ecossistemas, na qualidade da água, na saúde humana e nas actividades económicas.

Desde 1861 que se observa um aumento significativo na temperatura média global (de cerca de 0,6 °C) e durante o século XX o nível dos mares subiu, em média, entre 10 e 20 cm. Além disso, a década de 90 foi a mais quente do milénio passado, com o ano de 1998 a ser registado como o mais quente desde que há registos ou seja, desde 1861 (Programa Nacional para as Alterações Climáticas, 2001).

Embora haja incerteza acerca de quanto destes aumentos da temperatura pode ser imputado aos gases com efeito de estufa (GEE), existe evidência de que as actividades humanas estão a causar um agravamento no efeito de estufa ou aquecimento global. A queima de combustíveis fósseis, originando emissões de CO₂, é a principal causa do efeito de estufa. Outras actividades contribuem para este problema como a agricultura intensiva e as alterações no uso do solo (incluindo a desflorestação).

A redução dos níveis de emissão de gases com efeito de estufa (GEE) é um objectivo de longo prazo e integra-se, prioritariamente, na estratégia dos países que assinaram o Protocolo de Quioto. Portugal, enquanto país signatário do Protocolo e Estado-Membro da UE, assume este objectivo como estratégico e uma oportunidade para promover, no actual quadro da economia portuguesa, o desenvolvimento económico e social, a par da

promoção da qualidade ambiental para as gerações vindouras (Programa Nacional para as alterações climáticas, 2001).

O protocolo de Quioto foi discutido e negociado em Quioto, no Japão, em 1997 e entrou oficialmente em vigor em 16 de Fevereiro de 2005 (Wikipédia, 2007). Ao assinar o Protocolo de Quioto, a Europa assumiu o compromisso de reduzir as suas emissões de Gases com Efeito de Estufa em 8%, relativamente a 1990, durante o período de 2008 a 2012 (EDP – Energias de Portugal, 2006).

Como a situação geográfica e económico-social dos diversos Estados Membros é diversa, foi celebrado um acordo de objectivo comum e partilha de responsabilidades entre os diferentes Estados. Desta forma, o esforço que é pedido a Portugal não é o mesmo que é pedido à Alemanha ou ao Reino Unido.

Ao abrigo do acordo de "partilha de responsabilidades", Portugal acordou em não ultrapassar o aumento das emissões de GEE em 27% nesse período (Fig. 1). Mesmo assim, o objectivo está longe de ser alcançado. Em 2003, por exemplo, as emissões nacionais excederam em cerca de 9% o valor acordado no Protocolo de Quioto. Torna-se portanto fundamental que haja um esforço, à escala nacional, para reduzir as emissões de GEE, a fim de cumprir a meta estabelecida.

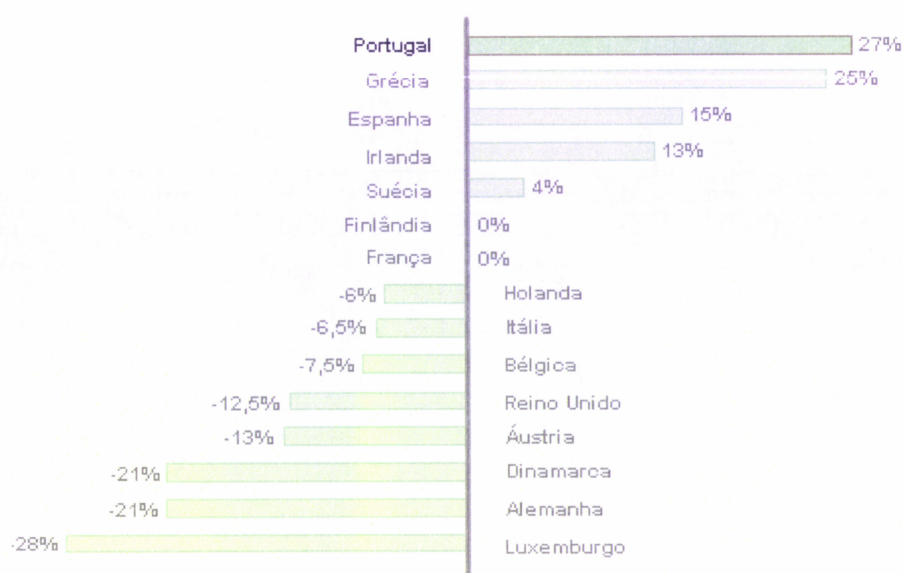


Fig. 1. Compromissos de Quioto para os países da E15, em 2010 face a 1990. (Adaptado de EDP – Energias de Portugal, 2006).

O Protocolo de Quioto prevê a aplicação de mecanismos flexíveis assentes no mercado, baseados na transacção comercial de direitos de emissão entre países, pois foi considerado que o compromisso de redução seria mais efectivo e realista se se tornasse economicamente vantajoso, por via de medidas com uma boa relação de custo – eficácia.

A directiva do comércio de emissões prevê atribuir às empresas uma determinada quota de licenças de emissões, com valor comercial. As empresas que consigam reduzir as suas emissões através da utilização de combustíveis mais limpos ou através de medidas de eficiência energética terão licenças em excesso que poderão comercializar e as que aumentarem as suas emissões terão que recorrer ao mercado para adquirir licenças (CTCV, 2007).

O Protocolo de Quioto encoraja o comércio de emissões como um meio dos países industrializados honrarem as suas metas de compromisso com a redução de emissões (DNV, 2007).

O objectivo no Comércio de Emissões é criar uma situação de escassez que permita o desenvolvimento de um mercado eficiente e concorrencial, garantindo que as medidas menos dispendiosas para a redução das emissões sejam as primeiras a ser adoptadas. Para funcionar, o mercado tem de abranger vários sectores de actividade para que os custos marginais associados à redução de emissões sejam diferenciados e, conseqüentemente, exista um incentivo à oferta e à procura. Para o mercado ser concorrencial as unidades implicadas têm de ter uma dimensão mínima (Esquerda, 2006).

Em suma, o grave problema do aquecimento global, o aumento do preço e do consumo do petróleo, a dependência dos países industrializados de reservas petrolíferas fora das suas fronteiras, os interesses do agro-negócio sempre ávido de aumentar os seus lucros, os padrões de vida “ocidentais” altamente consumidores de combustíveis – especialmente no que toca aos transportes (Fig. 2) – conformam os alicerces do surgimento dos biocombustíveis como alternativa de substituição dos combustíveis de origem fóssil (Boletim WRM, 2006).

Actualmente, os biocombustíveis estão a ser promovidos como meio de tornar mais ecológico o sector dos transportes. Contudo, o impacte sobre o desenvolvimento de energias renováveis e a intensidade da utilização de terrenos agrícolas devem ser tidos em conta aquando da avaliação dos benefícios ambientais globais.

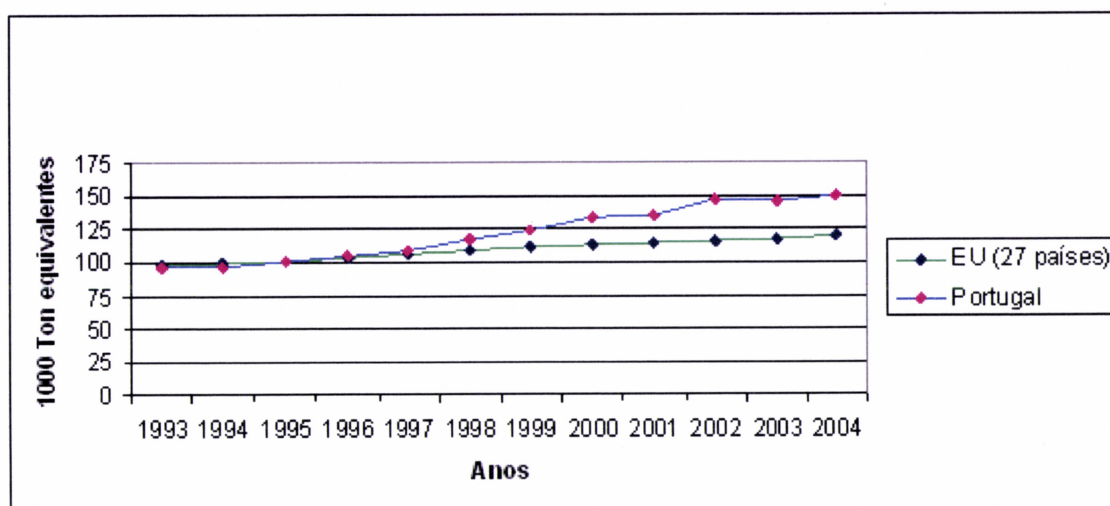


Fig. 2. Evolução do total de energia consumida no sector dos transportes. Fonte: Eurostat.

A produção e utilização de biocombustíveis derivados de fontes renováveis surgiu na década de 1970, na sequência dos dois primeiros choques petrolíferos e associada à tomada de consciência da necessidade de diversificar as fontes energéticas e de diminuir a dependência relativamente ao petróleo. Esse interesse diminuiu, na década seguinte, devido à forte diminuição dos preços do petróleo e ao facto do sector energético continuar a ser fortemente baseado em combustíveis de origem fóssil.

Na Europa, a colocação em pousio obrigatório de vastas áreas de terra arável por imposição da Política Agrícola Comum (PAC), associada a motivações de ordem ambiental, conduziram à introdução de uma fileira de produção e utilização de biocombustíveis em diversos países da União Europeia, a partir de 1992. No entanto, Portugal não acompanhou esse movimento, apesar de o País importar quase 85% da energia que consome, com forte predominância da componente petrolífera (mais de 60%) e em que cerca de 38% do petróleo importado se destina às necessidades de produção de combustíveis para utilização no sector do transporte rodoviário (Rosa, 2005).

Recentemente, tem-se verificado uma nova escalada dos preços do petróleo, com valores do barril até há pouco tempo inimagináveis que são originados pela conjuntura internacional e pela instabilidade nas principais regiões produtoras e, essencialmente, pelo aumento exponencial da procura por países anteriormente pouco consumidores, como a China e a Índia.

Por outro lado, Portugal encontra-se vinculado a compromissos internacionais e directivas europeias de que se destacam o Protocolo de Quioto com a imposição de uma redução global de 5,2% das emissões de dióxido de carbono, relativamente às emissões de 1990 até 2010 e a Directiva 2003/30/UE de 8 de Maio, que preconiza a substituição de combustíveis de origem fóssil por combustíveis alternativos, de acordo com a calendarização apresentada no Quadro 1 (Rosa, 2005).

Quadro 1. Quotas de substituição de combustíveis fósseis.

Ano	Biocombustível (%)	Gás Natural (%)	Hidrogénio (%)	Total (%)
2005	2	-	-	2
2010	5,75	2	-	7,75
2015	7	5	2	14
2020	8	10	5	23

Fonte: Rosa, 2005.

Neste contexto, é urgente que Portugal altere rapidamente o perfil das fontes energéticas que utiliza, nomeadamente no sector dos transportes rodoviários, através do uso de combustíveis alternativos, preferencialmente recorrendo a recursos endógenos.

A Directiva aponta para que o processo de substituição se inicie com os biocombustíveis, atendendo a que a sua produção é hoje um processo tecnologicamente conhecido e industrialmente implantado em diversos estados membros, estando portanto ao dispor dos governos para a sua introdução imediata. Acresce que, as proporções que a Directiva preconiza para os biocombustíveis não implicam a criação de infra-estruturas de distribuição, podendo ser utilizada a rede de distribuição dos combustíveis tradicionais.

Em Portugal, verificou-se inicialmente um total desinteresse por parte dos principais actores da fileira de produção de biocombustíveis. Os agricultores não utilizaram para fins energéticos as terras de pousio obrigatório, os industriais não mostraram interesse em apostar nesta nova vertente, nem mesmo os industriais ligados ao sector das oleaginosas e, a nível político, não surgiu qualquer medida ou estratégia que conduzisse ao desenvolvimento da produção de biocombustíveis. Apenas se verificaram experiências pontuais de utilização de biodiesel em mistura com o gasóleo, em autocarros da Carris em Lisboa e dos STCP no Porto, em veículos de recolha de lixo da Câmara Municipal de Lisboa e em veículos das frotas das Câmaras Municipais de Lisboa e de Évora. Estas experiências tiveram por objectivo principal, estudar o comportamento e o rendimento dos motores e avaliar as vantagens ambientais através da determinação das emissões de gases, partículas e hidrocarbonetos resultantes do uso das misturas testadas (Rosa, 2005). As unidades industriais existentes ou em final de construção são referidas no Quadro 2.

Quadro 2. Unidades de produção de biodiesel em Portugal.

Unidade industrial	Local	Produção	Observações
A UTILIZAR SEMENTES OU ÓLEOS VEGETAIS IMPORTADOS			
IBEROL	Alhandra	20 000 t/ano	A funcionar
IBEROL	Alhandra	100 000 t/ano	Em final de construção
FÁBRICA TORREJANA DE BIOCOMBUSTÍVEIS	Riachos	40 000 t/ano	Em início de produção
A UTILIZAR ÓLEOS USADOS DE FRITURAS			
DIESELBASE	Setúbal	3 000 l/dia	A funcionar
SPACE	V.N. de Famalção	3 000 t/ano	A funcionar
SOCIPOLE	Porto	15-30 t/ano	A funcionar
ASSOCIAÇÃO DE MUNICÍPIOS ALENTEJANOS	Alentejo	500 l/dia	Em projecto

Fonte: Adaptado de Rosa, 2005.

Dada a escassez de matéria-prima nacional tradicionalmente utilizada na obtenção de biodiesel (colza, girassol e soja) ou de bioetanol (cereais, beterraba, sorgo e outros) e os fracos rendimentos de algumas culturas, devem ser considerados três cenários para que a utilização de biocombustíveis em Portugal possa efectivar-se: (i) importação directa de biodiesel e/ou bioetanol; (ii) produção de biocombustíveis a partir de matérias primas importadas; e (iii) produção a partir de matérias primas nacionais.

Todos os cenários permitem cumprir a directiva UE 30/2003 e contribuem para as melhorias ambientais associadas ao uso de biocombustíveis. Contudo, os dois primeiros não permitem a diminuição local de emissões de dióxido de carbono, em virtude da matéria-prima ter sido cultivada noutra região. O primeiro cenário corresponde a substituir uma importação por outra, sem vantagens económicas e sociais. O segundo contribui para o desenvolvimento de novas indústrias e para a criação de alguns postos de trabalho. O terceiro abre novos mercados à agricultura, cria alternativas às culturas de regadio com problemas de sustentabilidade económica pelas novas medidas da PAC, permite desenvolver novas indústrias e origina o aparecimento de novos empregos na agricultura e na indústria.

De facto, a nova reforma da PAC, iniciada em 2003, com a introdução do processo de desligamento da produção, está a condicionar fortemente a continuação de diversas culturas de regadio, nomeadamente tabaco, milho e beterraba.

Esse facto pode constituir uma janela de oportunidade para as culturas energéticas com vista à produção de bioetanol e biodiesel. A procura de matéria prima pelos produtores nacionais de biocombustíveis pode assim vir a ser satisfeita, pelo menos em parte, pela agricultura nacional, minimizando o risco do abandono da produção agrícola nos regadios e permitindo uma utilização economicamente competitiva destas áreas em Portugal.

Se este cenário for considerado politicamente estratégico, as taxas de isenção fiscal para os biocombustíveis deverão ser diferenciadas, dando um incentivo claro à produção nacional.

2.2. O bioetanol

O bioetanol é um álcool de origem biológica, não petrolífero. É usado frequentemente misturado com a gasolina, ou usado directamente como combustível, pela sua combustão mais limpa e alta octanagem. É um álcool, produzido a partir de biomassa, como milho, cana-de-açúcar, sorgo sacarino ou beterraba sacarina, por fermentação, utilizando leveduras como agente biológico de transformação (Bionauta, 2007).

O etanol líquido, ou o álcool etílico, pode ser usado como combustível quando misturado com a gasolina ou no seu estado original. Pode também ser usado como matéria-prima em vários processos industriais. O bioetanol é produzido por fermentação de qualquer biomassa glucídica (nomeadamente, com amido ou sacarose).

O processo de produção de etanol difere drasticamente de outras fermentações industriais. Existem duas particularidades no que se refere a esse tipo de fermentação. A primeira refere-se ao substrato; o mosto a ser fermentado não sofre nenhum tratamento no sentido de eliminar a fauna microbiana existente no caldo. A outra particularidade diz respeito ao número de ciclos da fermentação. No início realiza-se uma propagação da levedura a qual se pretende manter no processo. Essa levedura passa a ser reutilizada, utilizando-se para tal máquinas centrífugas, que separam as células de leveduras do caldo fermentado retornando-as para o processo depois de um tratamento ácido. A manutenção do número de células no processo, assim como a vitalidade das mesmas, é feita de forma natural. As leveduras reproduzem-se dentro das tinas em fermentação substituindo as que morrem dentro do processo. A levedura morta sofre uma lise celular, sendo esse material substrato proteico para as leveduras activas (Andrietta *et al.*, 2006).

Hoje tem-se conhecimento que a levedura propagada no início do processo é rapidamente substituída por uma levedura nativa, isto é, que habita o ambiente da cultura utilizada e é introduzida no processo. Essa substituição não é perceptível. Apenas depois do advento da biologia molecular é que essa substituição foi registada.

Saccharomyces é o género de levedura largamente utilizada na indústria produtora de fermentados que tem como produto final o álcool, seja para usar como combustível ou para obtenção de bebidas alcoólicas. As características que consagram esse microrganismo como o mais indicado para esse fim resultam do facto dessa levedura reunir os atributos desejados para a condução do processo industrial de produção de álcool, que são os seguintes: capacidade de rapidamente transformar açúcares em etanol, alta tolerância ao produto formado, osmotolerância, tolerância a grandes variações de temperatura e actividade celular em ambiente ácido. Estes são os principais atributos desejáveis para uma levedura de uso industrial (Andrietta *et al.*, 2006).

O uso de bioetanol como combustível desenvolveu-se a partir dos anos 70 no Brasil. O bioetanol pode ser usado desnaturado e adicionado à gasolina, ou 100% puro nos veículos preparados para o efeito, como se verifica em países como o Brasil e a Suécia. Quando utilizado como um componente da gasolina, melhora a combustão e reduz as emissões de monóxido de carbono.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana (33,9%), açúcar (18,5%) e etanol (36,4%); e também o maior exportador de açúcar e etanol (Macedo, 2007).

Actualmente tem-se verificado um aumento na produção de bioetanol, e embora o bioetanol puro seja considerado economicamente desvantajoso quando comparado com os combustíveis fósseis, os últimos avanços tecnológicos conseguiram baixar os custos de produção consideravelmente.

Acredita-se que maiores avanços na produção e colheita diminuirão os custos de fabricação e o uso de bioetanol aumentará, pois apresenta as vantagens de ser biodegradável, renovável, ter elevado desempenho e emissões mais baixas de monóxido de carbono.

Para os países industrializados comprometidos com as metas do Protocolo de Quioto, o uso de biocombustíveis representa uma das formas mais efectivas de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa associadas ao consumo energético no sector dos transportes. No entanto, os desenvolvimentos nos últimos anos mostram claramente uma diferença muito grande na eficiência energética do processo de produção de

bioetanol consoante a matéria-prima utilizada, indicando grande vantagem para o etanol produzido a partir de cana e de sorgo sacarino, como mostra o Quadro 3 (Macedo, 2007).

Quadro 3. Balanço de energia na produção de etanol, com diversas matérias-primas.

Matérias-Primas	Energia Renovável/Energia Fóssil usada
Etanol de Milho (USA)	1,3
Etanol de Cana (Brasil)	8,9
Etanol de Beterraba (Alemanha)	2,0
Etanol de Sorgo Sacarino (África)	4,0
Etanol de Trigo (Europa)	2,0
Etanol de Mandioca	1,0

Fonte: Macedo, 2007.

A produção e o uso de bioetanol, aumenta a actividade económica, cria emprego, e ajuda os países a tornarem-se independentes do petróleo importado, melhorando a produção interna.

O bioetanol tem vantagens e desvantagens em relação aos combustíveis fósseis. Por exemplo, pode funcionar a maior compressão sem aditivos de octano-propulsão, é mais “limpo” o que faz com que haja um melhor arrefecimento do motor, mas é corrosivo e o seu índice de energia é somente 75% do da gasolina. Na sua forma pura é um líquido limpo e incolor com odor característico suave; ferve a 78 °C e congela a -112°C. O seu peso molecular é 46,07 e não tem propriedades ácidas ou básicas. É solúvel na maioria dos solventes orgânicos. Quando arde produz uma chama azul sem resíduo e energia considerável (Bionauta, 2007).

O bioetanol é produzido através da fermentação de quase toda a matéria orgânica rica em amido ou sacarose. Culturas como o milho, a batata, a beterraba sacarina, a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino (sobre o qual incide este estudo), devido aos seus elevados teores em açúcares, apresentam grande aptidão para a produção de bioetanol.

A produção de etanol a partir de sorgo sacarino é desde logo vantajosa na medida em que não compete com a vertente alimentar, uma vez que o grão pode ser colhido e aproveitado para a alimentação sem comprometer a produção de bioetanol, que é proveniente dos caules da planta.

Culturas como o milho, a beterraba sacarina, o trigo e a batata, por exemplo, são utilizadas desde há muito tempo para alimentação humana e animal. No entanto, podem também ser usadas para produção de etanol. O problema destas culturas é o facto de não serem de dupla aptidão porque ou são utilizadas para alimentação ou para produção de etanol.

Actualmente tem-se verificado um grande aumento no preço dos cereais como consequência do aumento da procura destas matérias-primas para a produção de bioetanol.

O sorgo sacarino é uma cultura de dupla vocação e, como tal, pensa-se que terá uma grande expansão a nível mundial, uma vez que não irá competir com a alimentação humana e animal, ao contrário de muitas outras culturas.

2.3. Generalidades sobre a cultura

2.3.1. Classificação Taxonómica

Reino: Plantae

Sub-Reino: Tracheobionta

Super-Divisão: Spermatophyta

Divisão: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Sub-Classe: Commelinidae

Ordem: Cyperales

Família: Poaceae

Sub-Família: Panicoidae

Tribo: Andropogoneae

Género: *Sorghum* Moench

Espécie: *Sorghum bicolor* (L.) Moench

Subespécie: *Saccharatum*

2.3.2. Origem e difusão geográfica

A maior diversidade de sorgo cultivado e selvagem encontra-se no continente africano, mais precisamente no Nordeste de África. O sorgo selvagem provavelmente crescia como infestante nos campos de cereais antes da sua domesticação, há 6 mil anos atrás, numa zona que actualmente é conhecida como Etiópia, na faixa de savana subsahariana que vai desde o lago Chad até ao este do Sudão (Chavarría, 2000) (Fig. 3).

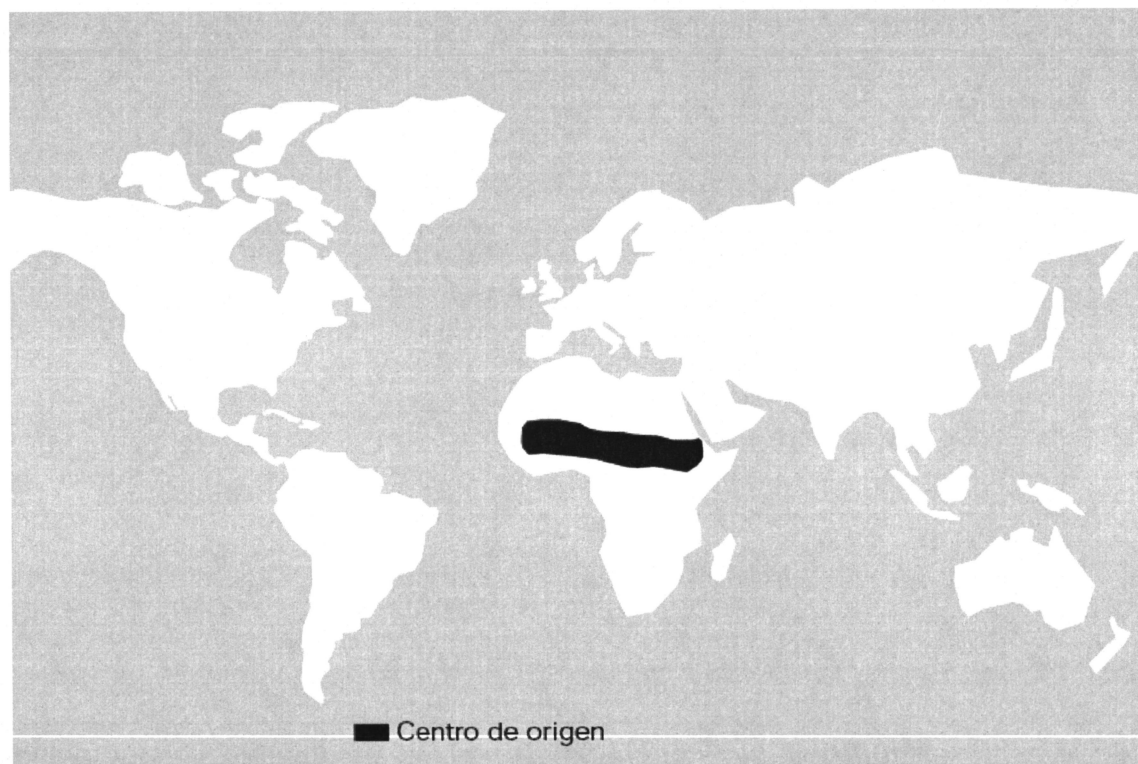


Fig. 3. Centros de diversidade do sorgo: a espécie domesticou-se na zona das savanas na região subsahariana do Continente Africano. Fonte: Chavarría, 2000.

Pensa-se que tenha chegado à Índia no ano mil D. C., provavelmente através das embarcações que percorriam regularmente o trajecto marítimo entre África e Índia naquela época. Pouco tempo depois, chegou à China (Chavarría, 2000).

O sorgo como cultura doméstica chegou à Europa aproximadamente no ano 60 D. C., no entanto, nunca se estendeu muito neste continente. Não se sabe ao certo quando se introduziu pela primeira vez esta planta no Continente Americano, no entanto pensa-se

que foi através de barcos que transportavam escravos de África. Nos Estados Unidos o seu cultivo comercial começou a partir do ano de 1876 (Martinik, 2005).

2.3.3. Exigências ecológicas e ecofisiologia

O sorgo é uma planta C₄, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas. Tolerância melhor o déficit hídrico e o excesso de humidade no solo, do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivado numa ampla gama de condições de solo (Magalhães *et al.*, 2006).

As exigências em calor do sorgo são mais elevadas do que as do milho. Para germinar necessita de uma temperatura mínima de 12 a 13 °C, pelo que a sua sementeira deve fazer-se 3 a 4 semanas depois do milho. O crescimento da planta não é verdadeiramente activo até que se ultrapassem os 15 °C, situando-se o óptimo acima dos 32°C (Magalhães *et al.*, 2006).

No início do seu desenvolvimento, o sorgo suporta as baixas temperaturas de forma parecida ao milho, a sua sensibilidade também é comparável. As descidas de temperatura no momento da floração podem reduzir o rendimento em grão (Magalhães *et al.*, 2006).

Por outro lado, o sorgo apresenta maior resistência à seca do que o milho. Tal facto deve-se sobretudo à presença de sílica na endoderme, ao alto índice de lenhificação do periciclo e ao grande volume de pêlos absorventes (Magalhães *et al.*, 2006).

Se o solo é suficientemente fresco não se observa perda de flores devido aos fortes calores.

O sorgo pode obter o mesmo rendimento que outras culturas, utilizando menor quantidade de água. O grande número de raízes fibrosas faz com que a planta absorva eficazmente a água.

O crescimento das raízes do sorgo está relacionado com a temperatura do ar e é limitado pela falta de humidade no solo e disponibilidade de fotoassimilados oriundos das folhas. Um dos factores mais importantes que afectam o uso de água e a tolerância à seca é um sistema radicular eficiente (Magalhães *et al.*, 2006).

Os tipos de raízes encontrados no sorgo são primárias, secundárias e adventícias. As primárias podem ser uma ou várias, são pouco ramificadas e morrem após o desenvolvimento das raízes secundárias. As secundárias desenvolvem-se no primeiro nó, são bastante ramificadas e formam o sistema radicular principal. Já as adventícias podem aparecer nos nós acima do solo. Geralmente aparecem como sinal de falta de adaptação. São ineficientes na absorção de água e nutrientes, a sua função é mais de suporte (Magalhães *et al.*, 2006).

Se fizermos uma comparação entre raízes primárias de milho e sorgo será verificado que ambas as culturas apresentam basicamente a mesma quantidade de massa radicular, porém, as raízes secundárias do sorgo são no mínimo o dobro daquelas encontradas no milho. Além do mais, o sistema radicular do sorgo é mais extenso, fibroso e com maior número de pêlos absorventes (Magalhães *et al.*, 2006).

A profundidade do sistema radicular pode chegar até 1,5 m (sendo 80% até 30 cm de profundidade no solo), em extensão lateral pode alcançar 2,0 m. O crescimento das raízes termina, em geral, antes da floração, pois nessa fase a planta passa a dar prioridade às partes reprodutivas (panículas) as quais apresentam grande procura por fotoassimilados (Magalhães *et al.*, 2006).

À medida que murcham, as folhas enrolam-se, diminuindo deste modo a superfície exposta à transpiração e este mecanismo permite à planta suportar os momentos de seca.

O sorgo desenvolve-se bem em áreas secas e quentes, onde o milho não se conseguiria desenvolver. Este facto deve-se em parte à sua capacidade de entrar em dormência durante a seca, o que lhe permite voltar a crescer mais tarde quando as condições se tornam mais favoráveis.

2.3.4. Desenvolvimento da cultura

O ciclo de vida de uma planta de sorgo pode ser dividido em vários estádios de desenvolvimento. Em seguida apresenta-se uma sucinta descrição dos factos mais importantes ocorridos em cada estágio do ciclo de vida da planta, assim com também as recomendações básicas de manejo da cultura que devem ser tomadas em consideração pelo agricultor.

Da emergência até aos 30 dias (fase vegetativa)

A planta de sorgo é muito frágil da emergência até os 20 dias de idade. A semente do sorgo tem poucas reservas para promover o arranque inicial da plântula, que é lento até que o sistema radicular esteja bem desenvolvido e a jovem planta passe a alimentar-se dos nutrientes do solo.

Para se obter uma rápida e uniforme emergência, é importante que a semente seja depositada numa profundidade adequada e uniforme. De um modo geral, recomenda-se semear o sorgo entre 3 a 5 cm de profundidade, e depositar o fertilizante a cerca de 8 a 10 cm de profundidade. O produtor de sorgo deve ficar atento às mudanças do tempo durante o decorrer da sementeira, especialmente quando se semeia sorgo em extensas áreas. Com bom nível de humidade no solo, a sementeira poderá ser mais superficial. Se a humidade decrescer ao longo dos dias, a profundidade de sementeira deverá aumentar (Ribas, 2006).

Nesse primeiro terço da vida da planta o produtor deve tratar do campo com cuidado e observar atentamente o ataque de insectos subterrâneos e de superfície, que atacam a planta. O controle inicial de infestantes deve estar entre as preocupações do produtor neste estágio do desenvolvimento do sorgo. O produtor que se decidiu por um herbicida de pós-emergência, deverá fazer a aplicação quando as plantas atingirem o estágio de três folhas. Finalmente, este é o estágio em que o produtor deve tomar a decisão de resemear a cultura se a população existente por hectare não for satisfatória.

Dos 20 aos 30 dias de vida, as plantas iniciam o período de rápido crescimento e a taxa de absorção dos nutrientes do solo é acelerada. Em torno dos 30 dias após a emergência, para a maioria das cultivares comerciais, é o tempo de se fazer a adubação azotada e potássica de cobertura. É o momento, também, para completar o processo de controle de infestantes, através do uso de herbicidas ou por ação mecânica. O controle mecânico não deve ser feito após os 30 dias, ou após o início da diferenciação floral.

Dos 30 aos 70 dias (fase reprodutiva)

Este é um estágio de rápido desenvolvimento da planta de sorgo e acumulação de matéria seca e nutrientes. É também o estágio em que se dá a diferenciação floral: entre os 30 e os 40 dias, para a maioria das cultivares comerciais. A planta deixa de produzir partes vegetativas, colmo e folhas, e inicia a formação da parte reprodutiva, a panícula. A partir desse ponto, o rápido alongamento do colmo e da panícula leva a planta ao estágio a que chamamos de emborrachamento e que se completa aos 50-55 dias aproximadamente. A panícula emerge no final desse período e a floração dá-se entre 60 a 70 dias após a emergência da planta para a maioria das cultivares comerciais. Toda e qualquer agressão às plantas nesse estágio, como a aplicação indevida de pesticidas, ou um evento climático desfavorável, como a falta de humidade no solo, afectará a emergência da panícula e comprometerá a produtividade final da cultura.

Da floração à maturação fisiológica (período de enchimento do grão)

Neste estágio inicia-se uma rápida transferência de nutrientes acumulados nas folhas e nos colmos para as panículas. Portanto, os cuidados para que a planta esteja bem nutrida e preparada para essa fase devem ser tomados nos estágios anteriores. Neste estágio a planta continua a depender de um bom nível de água no solo para um bom enchimento dos grãos. Nesse período os grãos passam do estágio de grão leitoso para o estágio de grão pastoso. Este é o estágio ideal para se fazer a colheita caso a cultura se destine à produção de bioetanol.

Maturação fisiológica

Próximo dos 90 dias após a emergência a planta está fisiologicamente madura. No período que antecede o ponto de maturação fisiológica ocorre uma rápida translocação de nutrientes acumulados no colmo e folhas para os grãos. Quando a planta está mal nutrida e/ou é submetida a um stress hídrico, pode ocorrer um acamamento severo e a produtividade pode ficar comprometida.

O ponto de maturação fisiológica pode ser facilmente visualizado pelo produtor pois é só observar a formação de uma camada preta no ponto de inserção do grão na gluma ou palha que o envolve. O aparecimento da camada preta nos grãos de sorgo dá-se da ponta para a base da panícula, acompanhando a marcha da maturação que é no mesmo sentido. Na maturação fisiológica o grão de sorgo estará com 25 até 40 % de humidade. Após atingir a maturação fisiológica não há mais acumulação de matéria seca no grão (Ribas, 2006).

2.4. Tecnologia de produção

2.4.1. Preparação do solo

Para o cultivo do sorgo, assim como para qualquer outra cultura inserida num sistema de rotação, é necessário proporcionar as condições mínimas de solo para que a cultura se estabeleça e se desenvolva normalmente.

Num sistema convencional, há necessidade de mobilizar o solo durante a época de sementeira de forma a criar à superfície uma camada de terra solta com agregados finamente divididos, de modo a que haja um contacto íntimo do solo com a semente, permitindo assim a entrada de água para o interior desta (embebição). A mobilização da camada superficial do solo tem por objectivo básico otimizar as condições de germinação, emergência e o estabelecimento das plântulas.

A mobilização também tem como objectivo o controlo de infestantes. Caso as infestantes sejam perenes a forma mais eficaz de as controlar é através da lavoura ou através da aplicação de herbicidas.

O estado friável é o estado óptimo para se intervir no solo pois os agregados separam-se pelos seus planos naturais de clivagem, não havendo um efeito negativo sobre a estrutura do solo. Com a redução do tamanho dos agregados consegue-se obter mais macroporosidade e há menor afectação da estrutura do solo.

No caso do sorgo, é frequente que a recomendação técnica explicita a necessidade de destorroar bem o solo para a sementeira, devido ao menor tamanho da semente. Em alguns casos verificam-se excessos de mobilização que provocam a pulverização do solo e conseqüentemente surgem problemas de compactação e erosão (Alvarenga *et al.*, 2006).

Após a germinação das sementes, é vantajosa a existência de agregados e canais (macroporosidade) ao longo do perfil do solo. Esta rede de macroporos permite a circulação do ar, da água e a penetração das raízes. Estes canais contínuos desde a

superfície até às camadas mais profundas do perfil do solo são criados por processos naturais através do fendilhamento do solo pelos planos de fractura que se desenvolvem durante a secagem do solo, caso este possua minerais de argila expansíveis (montmorilonite e vermiculite) e através da acção das raízes de culturas precedentes e da macrofauna do solo.

No entanto, a mobilização é uma operação cultural dispendiosa, com riscos ambientais e que promove um aumento da taxa de mineralização. Deste modo deve ser gradualmente substituída pela aplicação de herbicidas e pela utilização de semeadores de sementeira directa.

O sistema de sementeira directa (SSD) apresenta vantagens comparativas aos métodos tradicionais de mobilização do solo, devido ao ganho de tempo que se consegue na implantação da cultura, com menor consumo de energia, e à maior infiltração da água, que associado à menor perda por evaporação resulta numa maior conservação da humidade (Alvarenga *et al.*, 2006).

Estando a área agrícola adequadamente condicionada ao SSD, o ponto mais crítico do sistema passa a ser o estabelecimento de uma camada de cobertura do solo, com resíduos vegetais, que seja persistente ao longo do tempo e que cubra a maior parte da superfície do solo.

A cobertura morta actua como protecção contra o impacto das gotas da chuva e da acção de ventos, reduzindo a erosão, protegendo o solo contra o efeito dos raios solares, reduzindo a evaporação, a temperatura do solo e a amplitude térmica e hídrica, incorporando matéria orgânica ao solo, necessária a uma actividade microbiana intensa e permitindo maior reciclagem de nutrientes.

Neste aspecto, a relação C:N da espécie utilizada para cobertura do solo é de grande importância, pois reflecte a velocidade com que a decomposição do material se pode processar. Neste caso particular a cultura do sorgo ocupa posição de destaque pois a sua palha possui uma relação C:N elevada o que concorre para a sua persistência na superfície do solo (Alvarenga *et al.*, 2006).



Soma-se a isto, ainda, a possibilidade de adopção de menores espaçamentos para o sorgo o que é decisivo na taxa de cobertura do solo com plantas em crescimento, conferindo-lhe maior protecção contra a erosão e, também, com um sistema radicular melhor distribuído possibilitando explorar intensamente um maior volume de solo, reciclando mais nutrientes e, depois, formando uma rede de canaliculos por toda a extensão da camada superficial do solo.

São reconhecidas duas fases distintas no processo de adopção ao SSD em relação à formação de resíduos sobre o solo. A primeira delas, de estabelecimento, dura até que se consiga uma quantidade adequada de resíduos sobre a superfície do solo. A duração desta fase é variável conforme a região e, normalmente é conseguida depois de alguns anos de adopção do sistema. Espécies como o sorgo devem ser incluídas nesta fase uma vez que a sua palha é mais persistente. A outra fase é a de manutenção do sistema após ter-se estabelecido uma cobertura do solo com resíduos.

O sistema somente se estabilizará quando estiver instalado um esquema de rotação de culturas. A combinação de espécies com diferentes exigências nutricionais, produção de matéria verde e sistema radicular, torna o sistema mais eficiente, além de facilitar o controlo integrado de pragas, doenças e infestantes.

O sorgo é uma cultura que apresenta algumas vantagens comparativas especialmente em regiões onde a distribuição das chuvas é errática. Ele apresenta um sistema radicular profundo que além da reciclagem de nutrientes confere maior tolerância ao défice hídrico possibilitando ainda, quando da sua ocorrência, uma rápida recuperação do crescimento. Adicionalmente ele apresenta a capacidade de voltar a crescer após o corte que, de entre outros usos, poderá contribuir para o fornecimento de material vegetal com vista à formação de resíduos (Alvarenga *et al.*, 2006).

A capacidade das plantas em explorar o solo, em busca de factores de crescimento, depende grandemente da distribuição de raízes no perfil do solo, que por sua vez, são dependentes das condições físicas e químicas, as quais são passíveis de alterações em função do manejo aplicado. Uma destas alterações de maior impacto é a compactação.

Em situações onde a compactação ainda não é muito intensa, é possível contornar o problema modificando o sistema de manejo de solo e de rotação de culturas, incluindo plantas de sistema radicular mais vigoroso, capaz de penetrar em solos que ofereçam maior resistência à penetração. Neste aspecto o sorgo apresenta grande potencial como cultura recuperadora de solo, pois possui um sistema radicular abundante com capacidade de crescer em profundidade, especialmente devido às raízes de menor diâmetro (Alvarenga *et al.*, 2006).

As raízes mais delgadas como as do sorgo certamente encontram menor resistência ao aprofundamento no solo em relação àquelas de maior diâmetro. Este facto é de importância fundamental pois os canaliculos deixados após a sua decomposição passam a funcionar como verdadeiras galerias para a penetração de raízes mais grossas, o que de certa forma facilita a diversificação de espécies, aumentando as possibilidades para a rotação de culturas.

Caso a compactação seja mais intensa, o rompimento da camada deve ser feito através da utilização de alfaias que alcancem a profundidade imediatamente abaixo da zona compactada.

Para se saber se existem ou não camadas compactadas, basta abrir-se um perfil ao longo do solo e verificar a direcção em que as raízes crescem. Caso seja na horizontal e muito ramificadas a este nível, indicam a presença de uma camada compacta abaixo das raízes. Se por sua vez, o crescimento se der na vertical, não estamos em presença de uma camada compacta, não havendo por isso necessidade de descompactar.

No entanto, para que os maiores benefícios advindos do manejo adequado do solo sejam alcançados é necessário que haja um planeamento prévio. Os equipamentos e as máquinas disponíveis devem ser tidas em consideração para a tomada de decisão de como fazer a preparação do solo, os tratamentos culturais, a colheita e de como utilizar os resíduos da cultura.

Somente com a tomada de consciência de que todas estas etapas são igualmente importantes e que o produto final, a produtividade, vai reflectir aquela etapa que foi executada com pior qualidade, é que se conseguirá eficiência no manejo do solo. Por

outras palavras, em nada adiantará alta eficiência nas actividades se, em apenas uma delas, houver descuido. Esta falha vai nivelar por baixo a produtividade, com graves prejuízos no produtor. Daqui se conclui que o manejo do solo deve contemplar, de maneira harmoniosa, actividades relativas ao solo, às plantas e aos seus resíduos visando a maximização da produtividade sem perder de vista os seus efeitos na conservação do solo e da água.

2.4.2. Sementeira

O sorgo pode ser semeado por dois processos básicos: convencional e sementeira directa (SD). No processo convencional o solo é mobilizado ficando deste modo destorroado e nivelado, enquanto que no processo de sementeira directa o solo é mobilizado apenas na região de deposição do fertilizante e semente.

Qualquer que seja o processo de sementeira a utilizar, alguns cuidados devem ser tomados em relação à correcção do pH, bem como com o controlo de infestantes e pragas do solo.

No processo convencional, o solo depois de mobilizado deve possuir pequenas quantidades de resíduos à superfície de modo a que não se verifique o empapamento dos órgãos do semeador. Por outro lado, a superfície do solo deve apresentar-se regular. Ambas as exigências têm como finalidade melhorar a acção do semeador de modo a que a sementeira seja realizada com pleno sucesso.

Uma boa semente deve ter no mínimo 75% de poder germinativo. No entanto, as marcas mais conceituadas já distribuem sementes de sorgo com padrão mínimo de 80%.

Para uma boa regulação do equipamento de sementeira, o agricultor deve procurar saber qual o padrão de qualidade da semente que está a adquirir e exigir o boletim de análise do fabricante ou distribuidor. Para iniciar o procedimento de regulação do semeador, além dessa informação, o agricultor deve procurar saber se o distribuidor da semente indica um disco pré-perfurado que se adapte à sua semente e ao equipamento de que o agricultor dispõe. Caso contrário, o agricultor deve seguir as instruções do fabricante da máquina, que normalmente indicam o número de furos e o seu diâmetro para semear sorgo (Ribas, 2006).

Outro importante componente do sistema de produção é a densidade de sementeira, a qual é função da cultivar, da disponibilidade hídrica e de nutrientes. Assim, qualquer factor que afecte a disponibilidade de água e nutrientes para o sorgo também afectará a escolha da densidade de sementeira.

Em relação à cultivar, a densidade poderá variar em função do porte, da arquitectura da planta, da resistência à acama e da finalidade a que se destina a cultura. Normalmente, cultivares mais precoces, de menor porte e folhas mais erectas, permitem o uso de densidades mais elevadas e espaçamentos mais estreitos. Quanto à disponibilidade de nutrientes e hídrica, a relação com a densidade de sementeira é directa, isto é, quanto maior a disponibilidade destes factores maior será a densidade recomendada (Karam *et al.*, 2002).

Visando o aumento da produtividade, existe uma tendência de reduzir o espaçamento entre plantas. Entre as vantagens potenciais da utilização de espaçamentos menores (50 cm de entre-linha), podem ser citados o aumento na eficiência de utilização de luz solar, água, nutrientes e controlo de infestantes. Devido a uma melhor distribuição espacial das plantas na área, há um fechamento mais rápido dos espaços disponíveis, diminuindo a duração do período crítico de competição das infestantes e a erosão, em consequência do efeito da cobertura antecipada da superfície do solo (Karam *et al.*, 2002).

2.4.3. Fertilização

A fertilidade dos solos, a nutrição e a adubação são componentes essenciais para a construção de um sistema de produção eficiente. A disponibilidade de nutrientes deve estar sincronizada com a necessidade da cultura em termos de quantidade, forma e tempo. Um programa racional de adubação envolve as seguintes considerações:

- a) Análise da fertilidade do solo;
- b) Necessidades nutricionais do sorgo de acordo com a finalidade de exploração: grãos, forragem ou biomassa para etanol;
- c) Padrões de absorção e acumulação dos nutrientes, principalmente N, P e K;
- d) Fontes de nutrientes;
- e) Maneio da adubação.

Para que o objectivo do maneio racional da fertilidade do solo seja atingido, é imprescindível a utilização de uma série de instrumentos de análise de possíveis problemas nutricionais que, uma vez corrigidos, aumentarão as probabilidades de sucesso da cultura.

É importante realçar que nos últimos anos a agricultura portuguesa, de um modo geral, vem passando por importantes mudanças tecnológicas resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. De entre essas tecnologias destaca-se a consciencialização dos agricultores da necessidade da melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos geralmente está relacionada a um maneio adequado o qual inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, a sementeira directa, a correcção do pH dos solos e a adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos (estrumes, adubação verde, etc.).

As necessidades nutricionais do sorgo variam directamente com o potencial de produção. Os dados apresentados no Quadro 4 dão uma ideia da extracção de nutrientes pelo sorgo. Observa-se que as extracções de azoto, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumentam linearmente com o aumento da produtividade, e que a maior exigência do

sorgo refere-se ao azoto e ao potássio, seguindo-se o cálcio, o magnésio e o fósforo (Coelho *et al.*, 2002).

Devido ao facto de culturas com maiores rendimentos extraírem e exportarem maiores quantidades de nutrientes e, portanto, necessitarem de doses diferentes de fertilizantes, nas recomendações oficiais de adubação para a cultura do sorgo as doses dos nutrientes são segmentadas conforme a produtividade esperada. Isso aplica-se mais apropriadamente a nutrientes como o azoto e o potássio, extraídos em grandes quantidades pelas plantas, mas também é válido para o fósforo e, de certo modo, para o enxofre. O conceito é menos importante para o cálcio e o magnésio, cujos teores nos solos, com o pH adequadamente corrigido, devem ser suficientes para culturas de sorgo com altas produtividades (Coelho *et al.*, 2002).

Quadro 4. Extracção média de nutrientes pela cultura do sorgo em diferentes níveis de produtividade.

Matéria Seca Total	Grãos	Nutrientes Extraídos				
		N	P	K	Ca	Mg
Kg/ha	%	Kg/ha				
7820	37	93	13	99	22	8
9950	18	137	21	113	27	28
12540	16	214	26	140	34	26
16580	18	198	43	227	50	47

Para converter P em P₂O₅, K em K₂O, Ca em CaO e Mg em MgO, multiplicar por 2,29, 1,20, 1,39 e 1,66, respectivamente.

Fonte: Pitta *et al.*, 2001 e Fribourg *et al.*, 1976, citados por Coelho *et al.*, 2002.

No que se refere à exportação dos nutrientes, o fósforo e o azoto são quase na sua totalidade translocados para os grãos, seguindo-se o magnésio, o potássio e o cálcio. Isso implica que a incorporação de resíduos culturais do sorgo devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente potássio, cálcio e magnésio, contidos na palha. Entretanto, mesmo com a manutenção da palha na área de produção, e em decorrência das grandes quantidades que são exportadas pelos grãos, é necessária a reposição desses nutrientes nas culturas seguintes.

O sorgo destinado à produção de forragem e de bioetanol tem recomendações especiais porque todo o material vegetal é cortado e removido do campo antes que a cultura complete o seu ciclo. Com isso, a remoção de nutrientes é muito maior do que aquela que ocorre quando a cultura se destina à produção de grão.

Definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura do sorgo, o passo seguinte, e de grande importância para o sucesso da adubação, visando a máxima eficiência, é o conhecimento da absorção e acumulação de nutrientes, nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas em que os elementos são exigidos em maiores quantidades. Esta informação, associada ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos, é um factor importante a considerar na aplicação escalonada de fertilizantes, principalmente azotados e potássicos.

O sorgo apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro a ocorrer durante a fase de desenvolvimento vegetativo, quando o número potencial de grãos está a ser definido, e o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação dos grãos, quando o potencial produtivo é atingido. Até à época de floração a planta absorve 65%, 60% e 80% das suas necessidades em N, P e K, respectivamente (Coelho *et al.*, 2002).

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação à do azoto e à de fósforo, com a máxima absorção a ocorrer no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acumulação nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, apresentando uma taxa de absorção superior à de azoto e fósforo, sugerindo assim maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de “arranque” (Coelho *et al.*, 2002).

Para o azoto e o fósforo, o sorgo apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação dos grãos, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão da panícula e o início da formação dos grãos (Coelho *et al.*, 2002).

2.4.4. Necessidades hídricas

O crescimento e o desenvolvimento das plantas é influenciado por vários factores que se interrelacionam e determinam o rendimento da cultura. A água constitui um factor decisivo para o sucesso de qualquer cultura.

A água é extraordinariamente importante no metabolismo das plantas, sendo juntamente com o CO₂ uma das “pedras” de construção de todos os constituintes das plantas (Correia, 1980). As duas principais funções da água são a de transportador e a de refrigeração.

Percentagens muito elevadas de água no solo prejudicam ou impedem o desenvolvimento da grande maioria das plantas, principalmente por corresponderem a arejamento deficiente. Por outro lado, percentagens mais ou menos baixas limitam ou impedem o desenvolvimento vegetativo por deficiência de absorção radicular (Costa, 1999).

O teor do solo em água conveniente para o desenvolvimento das plantas é o que corresponde à combinação mais favorável quanto à facilidade de absorção de água e condições de arejamento. Depende de características específicas da planta, do solo, das condições climáticas e ainda de outras circunstâncias (Costa, 1999).

O sorgo quando comparado com outros cereais necessita de menores quantidades de água para se desenvolver, sendo a floração o período mais crítico em relação à falta de água. Esta cultura necessita de 330 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca. Já o milho, por sua vez, necessita de 370 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca, enquanto que o trigo necessita de 500 kg de água (Magalhães *et al.*, 2006).

Quando comparado com o milho, o sorgo produz mais sob condições de stress hídrico (a raiz explora melhor o perfil do solo), murcha menos e é capaz de recuperar após prolongados períodos de murchidão.

A resistência à seca é uma característica complexa pois envolve simultaneamente aspectos de morfologia, fisiologia e bioquímica. O sorgo possui um sistema radicular profundo e ramificado o qual é extremamente eficiente na extração de água do solo. A planta do sorgo quando sujeita a condições de stress hídrico diminui o seu metabolismo, murcha (entra em dormência) e tem um poder extraordinário de recuperação quando o stress é interrompido.

Quando o déficit hídrico ocorre na fase vegetativa, provoca menos danos à planta do que se ocorresse na fase reprodutiva. Na fase reprodutiva a escassez de água vai resultar na redução das taxas de crescimento da panícula e das folhas e no número de sementes por panícula. Esses efeitos são devidos provavelmente a uma redução na área foliar, resistência estomática aumentada, fotossíntese diminuída e a uma desorganização do estado hormonal da panícula em diferenciação. Quando a falta de água acontece na fase de enchimento do grão, o resultado é a senescência rápida das folhas inferiores, com consequente redução no rendimento de grãos.

Para que o sorgo apresente uma boa produção requer cerca de 25 mm de água após a sementeira, 250 mm durante a fase de crescimento e 25 a 50 mm durante a fase de enchimento do grão (3000 – 3250 m³/ha) (Magalhães *et al.*, 2006). No entanto, segundo os dados apresentados pelo ICRISAT (2006) a quantidade ideal de água que esta cultura requer para ter um desenvolvimento adequado e deste modo, se obtenha uma produção elevada é de 4000 m³/ha.

Segundo Fernandez (1999), o sorgo necessita de cerca de 6000 m³ de água por hectare para apresentar um desenvolvimento apropriado e como tal, uma alta produção. Este autor tem desenvolvido uma série de estudos sobre o sorgo sacarino em Espanha, nomeadamente em Badajoz, Madrid, Málaga e Soria.

2.4.5. Controlo de infestantes

Um dos principais problemas na cultura do sorgo é o controle de infestantes, que prejudicam a cultura não só pela competição por luz, água, como também pelos nutrientes, principalmente pelo azoto.

Não havendo controlo das infestantes nas quatro primeiras semanas após a emergência do sorgo, pode ocorrer uma redução de grãos da ordem dos 35%, sendo que, em caso onde não tenha sido utilizado nenhum método de controle, esta redução possa chegar a 70% (Silva *et al.*, 1986, citado por Coelho *et al.*, 2006).

O controlo mecânico é um método comum de controlo de infestantes na cultura do sorgo. Apresenta a desvantagem de provocar o corte das raízes mais superficiais da cultura e de não eliminar as infestantes muito próximas da linha do sorgo. Por outro lado, este método é incompatível com o sistema de sementeira directa, ficando deste modo restrito às sementeiras realizadas em sistema convencional.

Quando se pensa em controlo químico no sorgo, várias considerações devem ser feitas, sendo necessário conhecer a selectividade do herbicida para a cultura e, principalmente, a sua eficiência no controle das principais espécies daninhas existentes na área cultivada. O uso de herbicidas por ser uma operação de maior custo inicial, é indicado para áreas médias e grandes com alto nível tecnológico, onde a expectativa é de uma alta produtividade.

Não existindo em Portugal herbicidas homologados para a cultura do sorgo há, por vezes, a necessidade do agricultor recorrer a herbicidas utilizados para o milho que regra geral são compatíveis com o sorgo devido à proximidade genética existente entre as culturas.

No Brasil, país no qual esta cultura se encontra largamente disseminada, existem uma série de herbicidas homologados para o combate de infestantes no sorgo. São os casos da atrazina, do 2,4-D, do linurão, da simazina e do paraquato (aplicação de pós-emergência dirigida) (Ribas *et al.*, 2006).

A aplicação de herbicidas representa uma solução viável para o controle de infestantes, no período em que elas mais competem com o sorgo. O seu uso está vinculado aos cuidados normais recomendados nos rótulos pelos fabricantes e à assistência de um técnico ou do distribuidor.

De acordo com a estrutura química e as condições edafoclimáticas, os herbicidas podem ser totalmente degradados ou podem deixar resíduos no solo que podem prejudicar o crescimento e o desenvolvimento das culturas em sucessão, como é o caso da cultura do sorgo. Há possibilidade de acumulação de resíduos de herbicidas aos quais o sorgo é susceptível, como é o caso das 2,6 – dinitroanilinas (pendimetalina e trifluralina). Resíduos de trifluralina acumulados ao longo de várias aplicações podem reduzir o sistema radicular do sorgo e, conseqüentemente, a sua produtividade.

Existem ainda uma série de práticas culturais por vezes utilizadas pelos agricultores que têm como objectivo controlar as infestantes favorecendo a capacidade competitiva da cultura ou mesmo diminuindo a presença das mesmas. O ajustamento do espaçamento entre linhas, da densidade, da época de sementeira, a utilização de variedades adaptadas à região e de adubações adequadas são práticas que permitem à cultura ser mais competitiva com as infestantes, participando deste modo no seu controlo.

2.4.6. Pragas e doenças

Um dos aspectos do cultivo do sorgo para o qual o agricultor deve estar atento é o aparecimento de pragas. Desde a sementeira até à colheita, várias espécies de insectos podem estar associadas à cultura. No entanto, apenas algumas são fitófagas e somente algumas podem causar danos económicos. Deste modo, é importante visitar regularmente a cultura para identificar as espécies que são nocivas e adoptar medidas de controlo quando a situação assim o exigir.

Factores como o vigor da planta, a susceptibilidade da cultivar, o estágio de desenvolvimento, a humidade do solo e a abundância de predadores e parasitóides são igualmente importantes. Em Portugal, são as brocas e os alfinetes os insectos que maiores prejuízos causam na cultura do sorgo. Deste modo, é sobre eles que irá incidir a descrição que se apresenta em seguida.

Alfinete

Espécie: *Agriotis* spp.

Os alfinetes atacam sobretudo as jovens plântulas ao nível do colo e da parte radicular. Os sintomas dos seus ataques são orifícios existentes no colo provocados pelas larvas provocando a murchidão e a morte das plantas. Os alfinetes são coleópteros com um ciclo de vida que pode atingir 5 anos. Num solo infestado podem, por isso, encontrar-se diferentes estádios de desenvolvimento da praga. As larvas são cilíndricas, amarelo-brilhante e com 2 a 25 mm de comprimento.

De modo a evitar o aparecimento desta praga devem-se utilizar sementes tratadas com um insecticida homologado, assim como também utilizar um insecticida granulado ou efectuar uma pulverização ao solo na altura da sementeira. Para o combate a esta praga existem actualmente uma série de substâncias activas homologadas das quais se destacam o carbofurão, o diazinão, o etoprofos, a teflutrina entre outros.

É de recomendar a rotação de culturas evitando no entanto plantar batata dada a sua susceptibilidade a esta praga (Bayer CropScience, 2003).

Brocas

Espécies: *Pyrausta nubilalis* / *Sesamia nonagrioides*

Famílias: Pyralyidae/Noctuidae

Ordem: Lepidoptera

Os danos aparecem em manchas nas searas. Nas plantas atacadas as folhas murcham e as plantas acabam por quebrar devido às galerias escavadas pelas larvas no interior do colmo. As panículas podem também ser atacadas causando a destruição quantitativa e qualitativa das produções. As posturas são efectuadas na bainha das folhas. Após a eclosão, as larvas penetram para o interior do colmo escavando uma galeria. As larvas de pirale têm 20 mm de comprimento e têm uma cor acinzentada. As larvas de *Sesamia* são de cor branco-rosadas, podem atingir 40 mm de comprimento e apresentam umas pontuações negras, nos flancos, ao longo do corpo.

No combate a estas pragas recomenda-se a destruição das plantas atacadas e a aplicação de um insecticida homologado, quando a planta apresenta cerca de 50 cm de altura (no estado fenológico de sorgo Joelheiro). Em Portugal encontram-se homologadas para o combate a esta praga as seguintes substâncias activas: carbaril, endossulfão, lindano e triclofão (Bayer CropScience, 2003).

No que diz respeito a doenças, estas não são significativas para a cultura do sorgo nas nossas condições, não se observando estragos provocados por fungos. Este facto pode dever-se em parte à pouca disseminação desta cultura em Portugal.

2.4.7. Colheita

O ponto ideal para colheita depende do tipo e da finalidade da cultivar de sorgo que está a ser utilizada.

Rendimentos altos em biomassa verde e elevados teores de açúcares nos colmos são obtidos quando a planta atinge o estágio de maturidade fisiológica. Os teores de açúcares totais e de sacarose na planta aumentam, continuamente, desde a época de emergência das inflorescências até atingir o estágio de maturidade fisiológica, ao contrário do nível de açúcares redutores (Teixeira *et al.*, 1999). Para se obter um mosto de alta qualidade e elevados rendimentos, a maioria das variedades devem ser colhidas quando a semente está no início da fase de grão pastoso (Morris, 1991).

A panícula e o pedúnculo (entre a base da panícula e o nó superior) devem ser removidos antes da colheita dos colmos. A panícula pode ser seca e debulhada para que as sementes possam ser usadas no próximo ano. Um teste de germinação deve ser feito antes da sementeira.

Mosto de excelente qualidade pode ser feito sem remover as folhas. No entanto, os colmos não devem ser esmagados enquanto as folhas apresentarem humidade, devendo atrasar-se o processo 3 a 5 dias. Este atraso permitirá que as folhas sequem, que os colmos percam alguma água e que as enzimas naturais dos colmos invertam alguma sacarose (Morris, 1991).

2.5. Produção de matéria seca

A produção de matéria seca é o reflexo de uma série de factores que se relacionam entre si e que dessa maneira influenciam a produção final obtida.

Ao longo da pesquisa efectuada, foram encontradas várias produções, obtidas por diferentes autores. Analisando os valores encontrados é possível verificar-se que existe uma certa discrepância entre eles.

Na Turquia, Turgut *et al.* (2005) realizaram uma série de estudos com o intuito de avaliar o comportamento do sorgo sacarino quando submetido a diferentes níveis de azoto. Foram obtidas produções médias de 22,4 e 23 t de matéria seca em caules por hectare para aplicações de 100 e 150 kg de azoto.

Em Espanha, Fernandez (1999) conduziu uma série de ensaios em diferentes regiões, nos quais obteve produções médias de matéria seca em caules que variam entre 18 e 20 t/ha. Nestes ensaios foram utilizadas 3 variedades diferentes (Keller, Wray e Korall) sujeitas a uma dotação de rega de 6000 m³/ha e à aplicação de 120 kg de azoto /ha. Produções semelhantes (20 t/ha) foram alcançadas por Cobill *et al.* (2006) nos E.U.A, utilizando as variedades M81E, Theis e Topper.

Também Grassi *et al.* (2004) apresentaram produções médias entre as 15 e as 19 t/ha obtidas em ensaios realizados na Alemanha, E.U.A e China. Estes autores escolheram o híbrido Rio & Soave para a realização destes estudos, nos quais foram aplicados às plantas 5000 m³ de água/ha e 120 kg de azoto /ha.

Na Argentina, Romero *et al.* (2001) conduziram alguns ensaios com o objectivo de avaliarem o efeito da densidade de sementeira sobre a produção de matéria seca da variedade Super Sile 20. Ao longo destes estudos obtiveram-se produções médias que rondam as 21,3 t/ha utilizando uma entrelinha de 0,70 m. Como este valor se refere à totalidade da planta foi necessário utilizar um factor de correcção que permitisse converter a produção total em produção de caules. Estes autores utilizaram um factor de correcção de 72,6 %, tendo assim obtido uma produção média em caules de cerca de

15,5 t/ha. No nosso ensaio, os caules representaram em média 65 % da matéria seca total.

A partir de uma parceria entre as Universidades de Wisconsin e Minnesota, Undersander *et al.* (1990) alcançaram produções médias de cerca 25t de matéria seca/ha. Nestes ensaios utilizaram-se as variedades Keller, Dale e M81E às quais foram aplicados 100 kg de azoto /ha.

A produção mais elevada (30 t/ha) foi no entanto obtida por Matei (2000) que realizou uma série de ensaios na Roménia.

Analisando os valores encontrados é possível verificar que a produção de matéria seca referida para o sorgo sacarino, assume um intervalo de valores compreendidos entre 15 e 30 toneladas por hectare.

É necessário compreender que esta discrepância entre valores é provocada em parte pela diferença existente entre os vários climas onde decorreram estes estudos, pela utilização de cultivares com aptidões diferentes, por solos com características diferentes, enfim, uma série de factores que originam uma melhor ou pior performance da planta tornando cada estudo num caso único.

2.6. Produção de açúcares

A produção de açúcar é um parâmetro chave de todo este estudo, uma vez que permite avaliar o desempenho da cultura. Deste modo, é extremamente importante conhecer quais os factores que a influenciam. Este parâmetro está directamente relacionado com a produção de etanol.

Na pesquisa bibliográfica efectuada foram encontradas quatro produções de açúcar obtidas por diferentes autores nos ensaios desenvolvidos. Como seria de esperar os valores encontrados apresentam alguma variação.

A produção de açúcar mais baixa (4 t/ha) foi obtida por Tsuchihashi *et al.* (2004) nos vários ensaios desenvolvidos na Indonésia. Estes autores utilizaram as variedades Wray, Keller e Rio.

Fernandez (1999), autor já referenciado anteriormente, obteve produções médias de cerca de 12 t/ha, o valor mais elevado encontrado na pesquisa realizada. As condições como decorreram os ensaios encontram-se descritas no capítulo anterior.

Nos EUA, mais precisamente no Louisiana, Cobill *et al.* (2006) alcançaram produções de açúcar bastante satisfatórias, com cerca de 9,6 t/ha. Foram utilizadas as variedades M81E, Theis e Topper, todas elas apresentando grande aptidão para a produção de açúcar.

Nos vários ensaios realizados por Grassi *et al.* (2004) obtiveram-se produções médias, utilizando o híbrido Rio & Soave, que oscilaram entre as 6 e as 8 t/ha. A dotação de rega adoptada foi de 5000 m³/ha e a adubação azotada foi de 120 kg de azoto /ha.

Analisando os valores encontrados é possível verificar que estes variaram entre 4 e 12 toneladas de açúcar por hectare.

As diferentes condições edafo-climáticas existentes entre os vários locais onde se desenvolveram estes estudos e a utilização de distintas variedades com diferentes

aptidões são razões que justificam em parte a discrepância observada entre os valores referidos.

2.7. Concentração de açúcares no caule

As concentrações dos diferentes açúcares no caule divergem em função da variação de inúmeros factores. Este parâmetro é fortemente influenciado pela dotação de rega aplicada, pela variedade usada e pela data de sementeira escolhida. No entanto, muitos outros factores exercem influência sobre ele.

Na pesquisa efectuada, apenas quatro autores facultaram informações acerca deste parâmetro.

Gianella (2007) conduziu alguns ensaios com o intuito de estudar o comportamento do sorgo sacarino. Estes ensaios foram desenvolvidos no Peru, local onde é possível obter-se quatro produções anuais desta cultura, com híbridos de 90 dias de ciclo. Foram usados os híbridos Sacarino Penta 5911, Arroyito, Ceres e Morteros sujeitos a uma dotação de 1750 m³/ha. Em termos anuais são consumidos 7000 m³ de água por hectare se a cultura for realizada quatro vezes. Os colmos produzidos nestes ensaios apresentaram uma concentração total de açúcares de 13,9%, sendo 12% referentes à sacarose e 1,9% referentes aos açúcares redutores (glucose e frutose).

Na Índia, Ratnavathi *et al.* (2003) realizaram uma série de ensaios com a finalidade de avaliarem a aptidão de 15 novos híbridos para a produção de bioetanol. Os híbridos usados foram desenvolvidos na Índia e pertenciam aos seguintes grupos: RSSV, NSS, NARISS, SSV e AKSS. As plantas estiveram quatro meses no campo e foram submetidas a uma dotação de 4000 m³/ha. Obtiveram-se concentrações totais de açúcares médias de cerca de 13,4% (11,6 % de sacarose e 1,8 % de açúcares redutores).

Nos ensaios que Raveendran (s/ data) conduziu na Índia utilizando híbridos pertencentes o grupo SSV foram encontradas concentrações totais nos caules colhidos que oscilaram entre 10,9 e 15,7% (sacarose: 9,6 a 13,6 %; açúcares redutores: 1,3 a 2,1%).

Grassi (2001) obteve nos vários ensaios que realizou sobre esta cultura, concentrações totais médias de cerca de 9,91%. A sacarose, a glucose e a frutose apresentaram concentrações de 7,13; 1,74 e 1,04%, respectivamente.

Como se pode verificar, estes estudos foram efectuados em países diferentes e como tal, as plantas estiveram sujeitas a climas e a solos diferentes daí se justificar em parte a variação existente nos valores encontrados. Também a utilização de cultivares diferentes e com aptidões diferentes contribui para esta variação.

2.8. Produção de etanol

Este é sem dúvida o parâmetro mais importante em termos gerais, uma vez que permite obter uma visão global da capacidade produtiva da cultura para esta finalidade.

Os valores encontrados ao longo da pesquisa realizada apresentam grandes diferenças entre si, uma vez que os vários ensaios decorreram em condições totalmente diferentes.

Fernandez (1999) obteve em Espanha produções de etanol bastante elevadas, a rondar os 6050 l/ha. Igual rendimento (6000 l/ha) é apresentado por León (s/ data), que também realizou uma série de ensaios em Espanha, com o objectivo de avaliar a aptidão do sorgo sacarino como cultura bioenergética.

Nos EUA, mais precisamente no Estado do Texas, Rooney (2006) desenvolveu alguns ensaios onde foram testadas as variedades Della e Rio. As produções médias obtidas rondam os 3742 l/ha.

Na Colômbia, Loke (2007) obteve produções de cerca de 6000 l de etanol/ha, no entanto esta produção é referente a dois cortes. Jaramillo (2006), que também realizou os seus ensaios na Colômbia, alcançou produções mais baixas, a rondar os 2200 l/ha.

Raveendran (s/ data) desenvolveu ensaios sobre sorgo sacarino em vários países. Como seria de esperar as produções obtidas apresentaram alguma variação de país para país. Segundo este autor as produções mais elevadas foram obtidas na China, com valores a rondar os 7000 l/ha. Na Índia e nos EUA, o autor obteve produções relativamente próximas (4500 e 4790 l/ha respectivamente). As produções mais baixas foram, no entanto, obtidas nos ensaios conduzidos no Brasil e na África do Sul com produções de cerca de 2639 e 3000 l/ha, respectivamente.

A FAO refere também produções de 7000 l de etanol/ha, obtidas na China, o que provocou uma grande expansão da cultura neste país devido ao grande potencial produtivo mostrado.

No estado do Louisiana, nos EUA, Cobill *et al.* (2006) testaram também a aptidão das variedades M81E, Theis e Topper para a produção de bioetanol. Neste estudo obtiveram-se produções médias de cerca de 4682,6 l/ha.

Panaka *et al.* (2007) referem produções entre os 5500 e os 6000 l de etanol/ha, no entanto estes valores são referentes a dois cortes.

Verifica-se que as produções de etanol encontradas apresentam grande variação entre elas. É possível observar-se que as produções mais elevadas foram obtidas na China com valores a rondar os 7000 litros de etanol por hectare. Por outro lado, também se verifica que foi na Colômbia que se obtiveram as produções mais baixas, a rondar os 2200 litros de etanol por hectare.

Outro aspecto a realçar é o facto de dois autores que realizaram alguns ensaios em Espanha terem obtido produções muito aceitáveis, a rondar os 6000 l/ha, de onde podemos concluir que o sorgo sacarino é uma espécie que se adapta relativamente bem às nossas condições edafoclimáticas e deste modo, pode representar uma alternativa viável para produção de bioetanol em Portugal.

3. Metodologia de campo

3. Metodologia de Campo

O estudo foi realizado no Centro de Estudos e Experimentação da Mitra, da Universidade de Évora, em 2006. Utilizou-se um solo mediterrâneo (Pmg) cujos valores da análise sumária foram os seguintes: 468 mg kg⁻¹ de P₂O₅, 320 mg kg⁻¹ de K₂O, 7,48 de pH (H₂O), 19 mg kg⁻¹ de nitratos e textura média. Com base nestes resultados apenas foram aplicados 100 kg/ha de azoto, repartidos em duas adubações de 50 kg/ha, à sementeira e quando as plantas tinham cerca de 30 cm.

Foi utilizada uma variedade proveniente da Índia, que foi submetida a quatro modalidades de rega: 1500, 2500, 3500 e 4500 m³/ha. Utilizaram-se talhões com 24 m² (8m x 3m) de área e com quatro linhas distanciadas de 75 cm (Figura 4).

Conforme mostra a Figura 4, o delineamento experimental utilizado neste trabalho foi em blocos completamente casualizados (1 factor em estudo com 4 níveis).

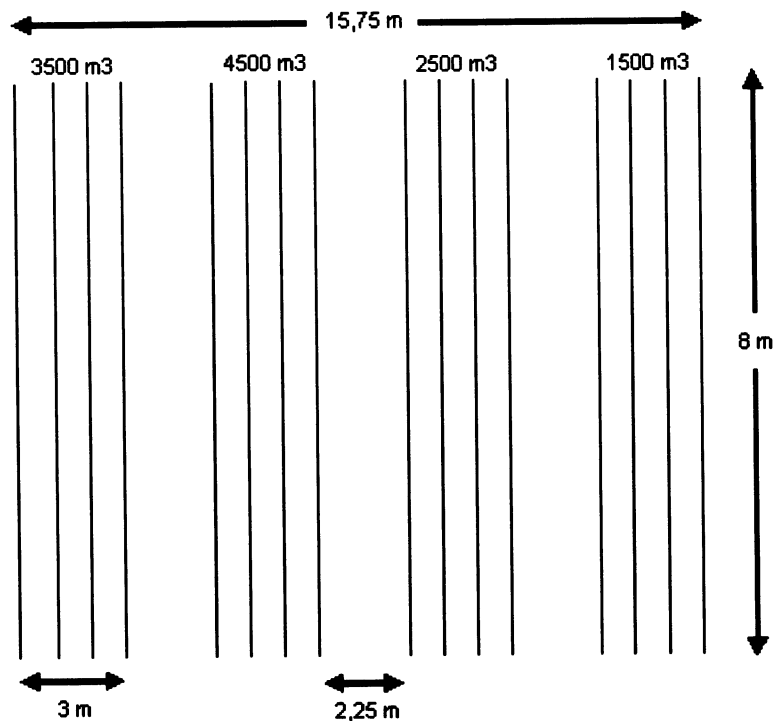


Fig. 4. Esquema representativo da disposição dos talhões no campo

A sementeira foi efectuada, manualmente, no dia 17 de Maio, em covachos distanciados de 13,3 cm, para assegurar o povoamento de 10 plantas/m², o que correspondeu a uma densidade de sementeira de 4 kg/ha aproximadamente.

Utilizou-se a rega gota-a-gota, cujos tratamentos foram impostos a partir da data de sementeira, e aplicados diariamente com dotações de 1,3; 2,2; 3,0 e 3,9 litros/m², respectivamente, para as modalidades de 1500, 2500, 3500 e 4500 m³/ha, assumindo que a cultura estaria no terreno cerca de 115 dias.

Os valores de temperatura e precipitação que se registaram durante os meses em que decorreu o ensaio e os ocorridos no período de 1951-1980 (INMG, 1991) são apresentados na Figura 5.

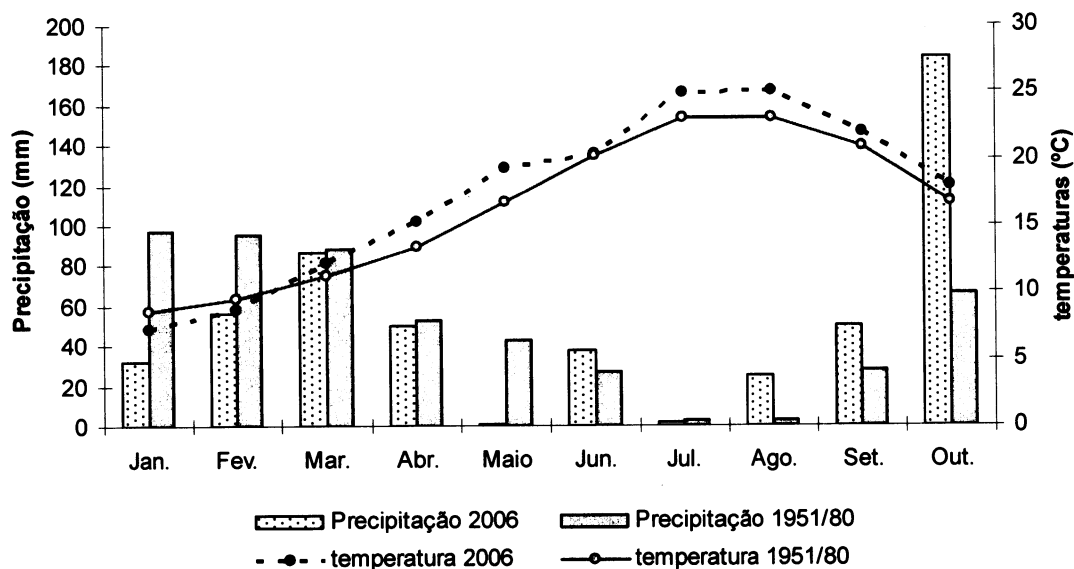


Fig. 5. Valores das temperaturas médias e da precipitação mensais para o período de ensaio e o trinténio de 1951/80.

Conforme se pode observar, durante o período experimental as temperaturas foram mais elevadas do que as médias do trinténio considerado. Quanto à precipitação, em 2006 choveu menos em Maio, mas a precipitação foi maior em quase todos os meses nos quais decorreu o ensaio, particularmente em Agosto, Setembro e Outubro.

Quando se verificou que as plantas estavam no estágio de grão leitoso – pastoso, procedeu-se à colheita de quatro amostras por talhão, de 53,2 cm cada, nas duas linhas centrais, para avaliar a produção de matéria verde e matéria seca total por hectare. Fez-se uma segunda amostragem do mesmo tipo para a determinação da composição percentual em folhas, caules e inflorescências. Colheram-se ainda quatro caules por talhão para determinação da percentagem de sumo e da concentração de açúcares no sumo, nas diferentes dotações.

A colheita realizou-se a 7 de Setembro para as dotações de 4500 e 3500 m³/ha, a 11 de Setembro para a dotação de 2500 m³/ha e no dia 14 de Setembro para a dotação de 1500 m³/ha.

4. Metodologia laboratorial

4. Metodologia laboratorial

4.1. Material

Imediatamente após a colheita, os caules do sorgo sacarino da variedade “Índia” foram congelados. Cinco meses mais tarde teve início o seu tratamento, que tinha como objectivo principal determinar a concentração dos vários açúcares existentes nos caules do sorgo. Todo este processo decorreu no Instituto Superior de Agronomia, mais precisamente nos laboratórios de Agronomia Tropical do Departamento de Agro – Indústrias e Agronomia Tropical.

No campo, foram analisadas quatro dotações de rega, no entanto, como a dotação mais pequena (1500 m³/ha) apresentou produções muitíssimo baixas, os seus caules não foram analisados laboratorialmente. Deste modo, os seus teores em açúcar não foram determinados, sendo apenas conhecidas as suas produções em matéria seca e verde.

Em termos laboratoriais este estudo incidiu, assim, apenas sobre três dotações de rega, a que foram atribuídos os códigos: RA, RB e RC, todas elas com quatro repetições, o que contabilizou um total de 12 amostras, conforme o apresentado no Quadro 5.

Quadro 5. Códigos das amostras analisadas.

Regas	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
2500 m ³ /ha	RA 1	RA 2	RA 3	RA 4
3500 m ³ /ha	RB 1	RB 2	RB 3	RB 4
4500 m ³ /ha	RC 1	RC 2	RC 3	RC 4

4.2. Métodos

4.2.1. Preparação do material vegetal para análise

O processo de preparação dos caules para análise foi realizado em várias etapas. Como a distribuição dos açúcares ao longo dos caules não é homogénea, optou-se por recolher vários fragmentos de caule (Fig. 6), de forma a perfazer 100 g de amostra, o que permitiu trabalhar com amostras representativas em termos de teores médios de açúcares no caule. No entanto, existiam caules com um peso total inferior a 100 g, tendo-se optado por recolher nestes casos 60 g de amostra.



Fig. 6. Exemplificação da amostragem do caule.
(A branco estão representados as porções recolhidas).

Posteriormente, os vários fragmentos de caule recolhidos foram cortados em pedaços mais pequenos de forma a facilitar o processo de trituração, realizado por intermédio de um triturador.

4.2.2. Extração do sumo e separação da fibra

Depois de preparadas e pesadas, as amostras foram colocadas no interior do copo do agitador (pesado previamente – P1), juntamente com água destilada na proporção de 1 para 5, ou seja, 1 parte de amostra para 5 partes de água (Fig. 7). Antes de se iniciar a trituração, o conjunto copo do triturador + água + amostra foi também pesado (P2), tendo sido registados os valores das pesagens.

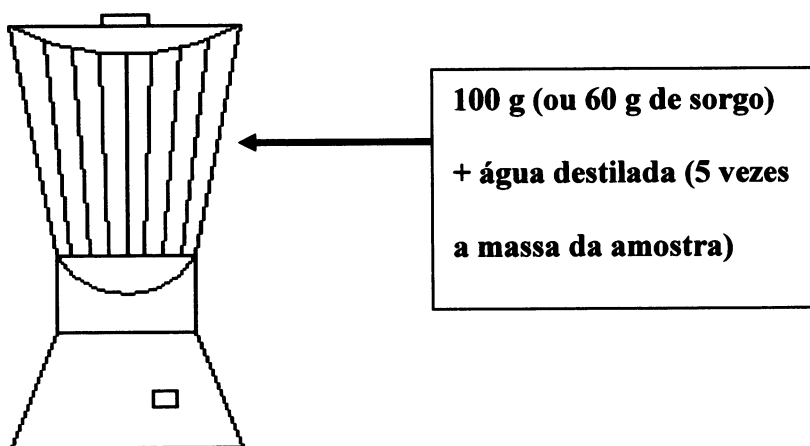


Fig. 7. Triturador usado na extracção do sumo dos caules.

Após a trituração (com a duração de 10 min.), todo o conteúdo no interior do copo do triturador foi filtrado, através de um saco de pano, para o interior de um copo graduado (Fig. 8).

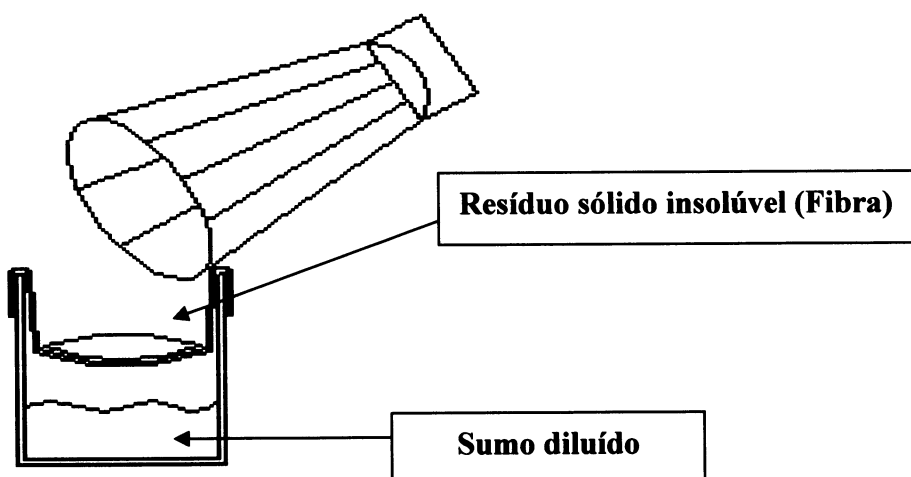


Fig. 8. Processo de separação do sumo e da fibra.

Depois de finalizado este procedimento, o saco de pano, que continha a parte sólida no seu interior, foi espremido, de forma a libertar o líquido retido para dentro do copo graduado. De seguida, o saco e o seu conteúdo foram lavados em água corrente, à torneira, e espremidos repetidamente. O objectivo deste processo é a remoção do sumo (e seus sólidos solúveis) retidos na fibra.

4.2.3. Determinação do teor de sumo, de sólidos solúveis e de fibra

Após serem lavados em água corrente, os sacos e todo o seu conteúdo sólido, foram para a estufa, onde ficaram sujeitos a uma temperatura de aproximadamente 90 °C, durante cerca de 16 horas, tempo suficiente para que a massa fique constante. De forma a poder apurar-se o peso da fibra, os sacos foram pesados antes e depois de irem à estufa.

O teor em sólidos solúveis (°Brix) do sumo diluído foi determinado por intermédio de um refractómetro “Abbe” (Bellingham & Stanley). Este valor foi mais tarde corrigido, através de tabelas, em função da temperatura, que foi também medida e registada no momento da determinação do Brix.

A densidade do sumo foi determinada com um densímetro e mais tarde foi também corrigida de acordo com a temperatura do líquido e reportada ao sumo não diluído (sumo puro) (tabelas de AOAC, 1984).

A massa de sumo da amostra é calculada através da diferença entre a massa inicial da amostra e a massa de fibra determinada.

Extracto = P2 – P1 = peso do sumo diluído + fibra

Sumo contido na amostra = sumo diluído – fibra – água adicionada

% Sumo no sorgo (p/p) = [massa sumo (g) / massa amostra (g)] x 100

% Fibra no sorgo (p/p) = [massa fibra seca (g) / massa amostra (g)] x 100

Através das densidades do sumo puro conseguiu-se determinar a percentagem de sumo (v/p) nos caules.

Todos os resultados das determinações auxiliares estão representados em anexo (A3).

4.2.4. Preparação do sumo extraído para injeção no aparelho de HPLC

De forma a poder ser injectado no aparelho de HPLC, o sumo extraído foi submetido a um processo de filtração através de um aparelho de filtração em vácuo, com utilização de uma bomba de vácuo “Büchi B-171” (German Weber, S. A.) e membranas filtrantes com poro de 0,45 μm (Millipore).

Depois de passar por todo este processo, o sumo foi novamente filtrado através de um pequeno filtro “Sep_Pak C18, Waters” colocado na extremidade de uma seringa e inserido em eppendorfs, para posterior análise por HPLC.

4.2.5. Determinação dos açúcares do sumo por HPLC

A abreviatura H.P.L.C. deriva da designação inglesa “High Performance Liquid Chromatography” – Cromatografia Líquida de Elevada Eficiência. Nesta técnica o eluente é introduzido no sistema através de uma (ou mais) bomba(s), que assegura(m) a passagem de um caudal controlado do eluente ao longo dos diversos componentes do sistema cromatográfico (Fig. 9) (Universidade Técnica de Lisboa, 2005).

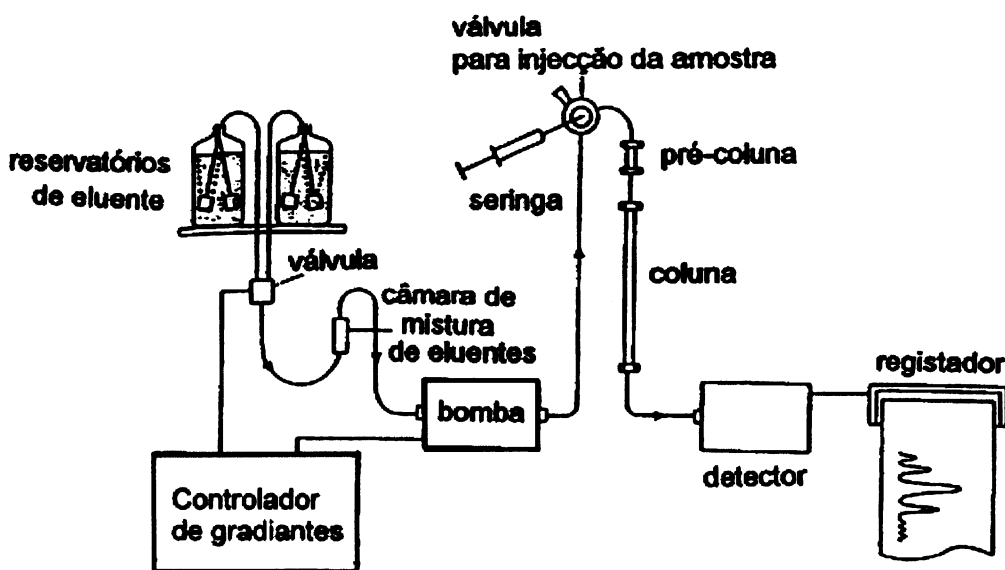


Fig. 9. Representação esquemática de um cromatógrafo líquido para HPLC.

A amostra é colocada no “loop” da válvula de injeção através de uma seringa (Fig. 10), quando esta se encontra em posição de carga (posição: load). Rodando o manípulo da válvula para a posição de injeção (posição: “inject”), dá-se uma alteração no trajecto do eluente no interior desta e a amostra é então arrastada para a coluna (Fig. 11). O eluente, que é continuamente bombeado para a coluna, vai arrastar os componentes da amostra (compostos a determinar) ao longo da coluna (Universidade Técnica de Lisboa, 2005).

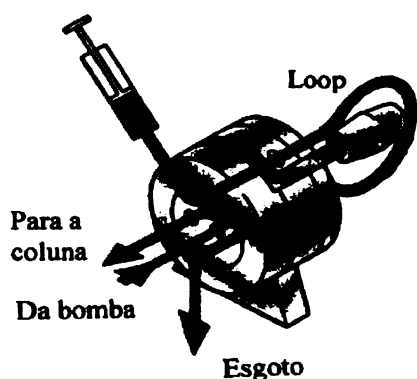


Fig. 10. Introdução da amostra no loop

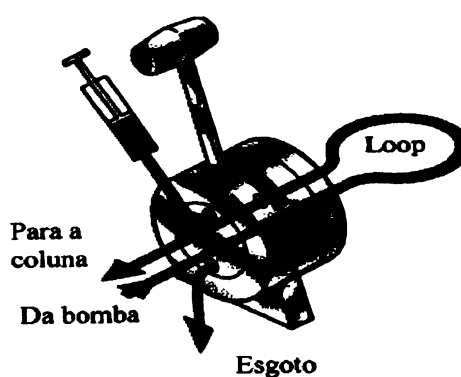


Fig. 11. Injeção da amostra na coluna

Se os compostos da amostra tiverem alguma afinidade com a fase estacionária da coluna, ao longo desta vão-se estabelecer sucessivos equilíbrios de distribuição destes solutos entre a fase móvel (o eluente) e a fase estacionária (enchimento da coluna). Se as constantes de distribuição para os diversos solutos forem suficientemente diferentes na coluna em causa, estes irão deslocar-se ao longo da coluna a velocidades diferentes, saindo da coluna separados uns dos outros (isto é, com diferentes tempos de retenção - t_R) (Universidade Técnica de Lisboa, 2005).

Neste estudo, pretendia-se identificar e determinar a concentração dos diferentes açúcares existentes no sumo da variedade sacarina “Índia”, quando sujeita a 3 dotações de rega diferentes.

Atendendo às suas produções demasiado baixas, optou-se por não analisar a dotação de 1500 m³/ha, uma vez que se trata de uma dotação pouco produtiva, com caules pouco desenvolvidos.

Nesta determinação, cada amostra foi injectada duas vezes no aparelho de H.P.L.C (marca: Waters), de modo a trabalharmos com valores médios.

Os açúcares encontrados nas amostras preparadas e analisadas em ensaios preliminares foram a sacarose, a glucose e a frutose. Estes componentes saíram da coluna seleccionada para a determinação, a diferentes velocidades, logo separados uns dos outros, e como tal apresentando diferentes t_R .

Os componentes da amostra passam por um detector, que no aparelho em causa foi um detector de índice de refração modelo “R401”. Um registador, que está ligado ao detector, permite obter automaticamente o sinal enviado por este, o qual, numa primeira aproximação, é proporcional à concentração do componente na solução que passa nesse instante através da célula do detector.

A representação gráfica dos diferentes sinais enviados pelo detector em função do tempo que decorreu desde a injeção da amostra na coluna, constitui o que se designa por cromatograma (Universidade Técnica de Lisboa, 2005).

Um exemplo de cromatograma da solução mistura de açúcares em análise pode ser observado na Figura 12, com as respectivas áreas assinaladas no topo dos picos.

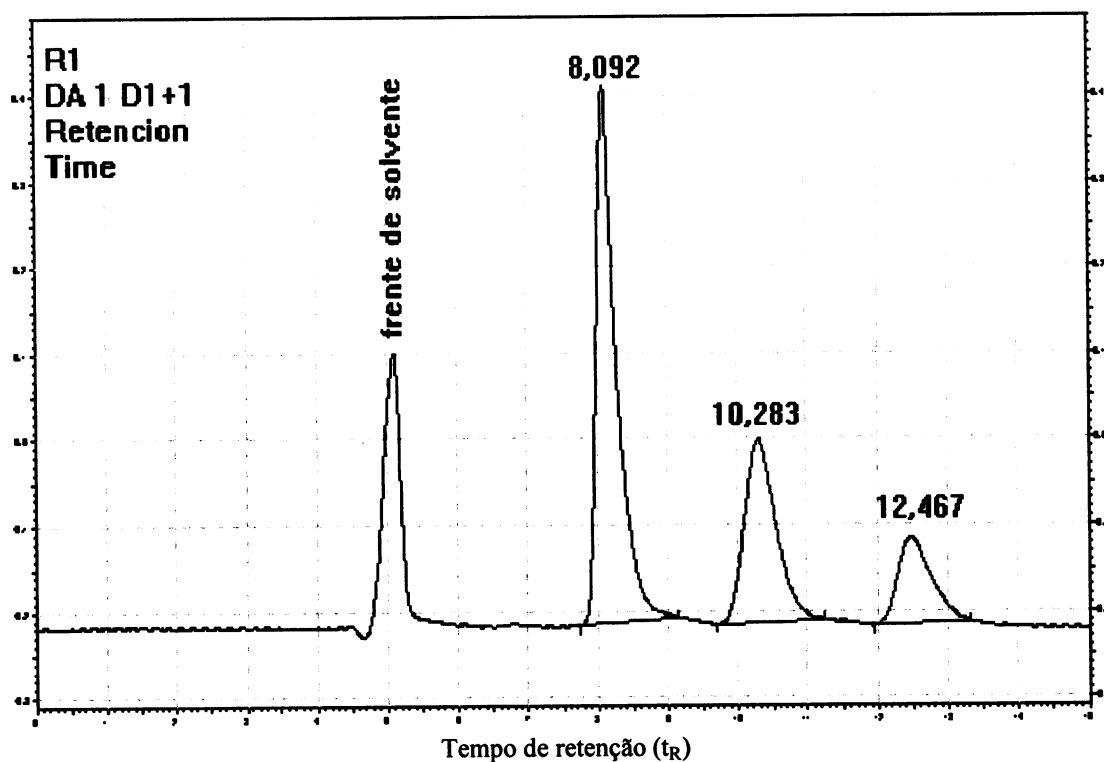


Fig. 12. Cromatograma como representação gráfica do sinal registado pelo detector à passagem dos solutos (e proporcional à sua concentração) em função do tempo.

Regra geral, o primeiro pico que se observa não se refere a nenhum componente e é designado vulgarmente por “frente do solvente”. O segundo pico (o mais elevado) refere-se à sacarose, o terceiro à glucose e o quarto à frutose. Os diferentes tempos de retenção (t_R) destes açúcares permitem a sua separação e identificação, efectuada pelo método de Ivie (1982). Existem inúmeras tabelas que referem o tempo de retenção destes componentes nas diferentes colunas cromatográficas. Esse tipo de informação vem normalmente associado à coluna que se está a usar (Ivie, 1982).

A coluna de enchimento utilizada neste método foi uma “Sugar-Pak I (300 mm × 6,5 mm, 5 μ m, Waters)”.

Os solventes utilizados em HPLC têm de ser muito puros e não podem conter resíduos sólidos. Devem também ser desgaseificados antes da sua utilização, pois a introdução ou formação de bolhas de gás no sistema cromatográfico pode causar variações de pressão no interior do sistema e/ou perturbações mais ou menos graves no sinal do detector (Universidade Técnica de Lisboa, 2005).

No método seguido, a água ultra pura com EDTA-Ca (0,05 g L⁻¹), foi o solvente utilizado, com um fluxo de 0,5 mL/min. e uma temperatura de 90 °C. A água ultra pura foi obtida pelo sistema Milli-Q (Millipore), desgaseificada em banho de ultra-sons.

4.2.5.1. Obtenção da curva de calibração dos açúcares em análise

Os picos dos açúcares representados nos cromatogramas foram integrados de forma a serem determinadas e registadas as respectivas áreas. O software usado neste estudo foi o “32 Karat versão 7.0 Build 1048”. É através destas áreas, e por comparação com soluções padrão de açúcares com concentrações conhecidas, que se consegue determinar a concentração dos diferentes açúcares na amostra injectada (μ g/20 μ l) e depois reportá-la em percentagem (p/p ou p/v) ao material em estudo (sorgo).

Só depois de se obterem as equações da recta para as soluções padrão é possível determinar a concentração dos açúcares nas amostras injectadas.

Neste estudo, as concentrações em cada açúcar das soluções padrão SGF utilizadas (soluções mistura de sacarose, glucose e frutose) foram as seguintes: 0,02%; 0,05%; 0,1%; 0,5% e 1,0%. Os picos dos cromatogramas das soluções padrão foram integrados de forma a se obterem as respectivas áreas. As áreas registadas e as concentrações ($\mu\text{g}/20\mu\text{l}$) dos padrões permitem determinar uma equação de recta para cada açúcar em análise.

As concentrações das soluções padrão (SGF) injectadas para calcular as equações das rectas padrão para cada açúcar foram determinadas em função das proporções (áreas) destes compostos na matéria-prima, observadas nos primeiros cromatogramas obtidos (análises preliminares).

4.2.5.2. Quantificação dos açúcares nas amostras

Através das equações da recta padrão é possível determinar as concentrações dos compostos em estudo nas diferentes amostras, conforme a seguir se exemplifica.

A equação da recta obtida para a sacarose foi:

$X = (y + 179362) / 124870$, com $y =$ área do pico de sacarose para cada amostra e X a concentração em $\mu\text{g}/20\mu\text{l}$.

Para a dotação de $4500 \text{ m}^3/\text{ha}$, repetição 1, (RC 1) temos:

Área = 20710789, então:

$$X = (20710789 + 179362) / 124870 \rightarrow X = 167,30 \mu\text{g}/20\mu\text{l}$$

Os valores de concentração foram depois corrigidos de acordo com um factor de correcção de diluição de extracção e também por um factor de correcção de diluição de injeção, no caso da amostra ter sido diluída 1:1 ou 1:2, para que os picos não saíssem incompletos, i.e., para que fosse possível a sua correcta integração.

Os dados e cromatogramas relativos aos padrões de açúcar, assim como todos os outros resultados intermédios são apresentados em anexo (A4, A5, A6, A7, A8).

4.2.6. Tratamento estatístico dos resultados

Os valores obtidos para os parâmetros em determinação foram analisados estatisticamente segundo blocos casualizados completos com quatro repetições utilizando o programa informático PLABSTAT.

5. Apresentação e discussão **de resultados**

5. Apresentação e discussão de resultados

5.1. Análise de variância

Os resultados da análise de variância dos parâmetros analisados para as várias dotações de rega encontram-se descritos nos Quadros 6, 7, 8 e 9.

Quadro 6. Quadrados médios, nível de significância e erro da análise de variância para a produção de matéria verde em caules, percentagem de sumo e volume de sumo extraído.

Origem da variação	G. L.	PMVC	% Sumo	Vol. Sumo
Repetições	3	1098059745,23 **	15,17 **	839217037,83 **
Dotações de rega	3	6814320,73 ns	1,53 ns	6060897,17 ns
Erro	9	26754381,45	0,56	20046533,56
Total	15			

ns – não significativo; ** - significativo $p \leq 0,01$; * - significativo $p \leq 0,05$

Quadro 7. Quadrados médios, nível de significância e erro da análise de variância para o Brix, concentração de açúcares totais e produção total de açúcar.

Origem da variação	G. L.	Brix	% Açúcares totais	Prod. total açúcar
Repetições	3	40,15 **	13,58 *	1,69 ns
Dotações de rega	2	1,43 ns	0,11 ns	0,10 ns
Erro	6	1,47	2,43	1,22
Total	11			

ns – não significativo; ** - significativo $p \leq 0,01$; * - significativo $p \leq 0,05$

Quadro 8. Quadrados médios, nível de significância e erro da análise de variância para a concentração (p/v) e produção de sacarose, glucose e frutose.

Origem da variação	G. L.	% Sac. (p/v)	Prod. sac.	% Glu. (p/v)	Prod. glu.	% Fru. (p/v)	Prod. fru.
Repetições	3	52,33 **	2773024,33 ^{ns}	1,06 **	416722,58 **	0,37 **	177154,33 **
Dotações de rega	2	1,28 ^{ns}	15976,53 ^{ns}	0,16 ^{ns}	61866,89 ^{ns}	0,02 ^{ns}	12476,67 ^{ns}
Erro	6	3,58	915946,78	0,06	33540,14	0,02	8264,33
Total	11						

ns – não significativo; ** - significativo $p \leq 0,01$; * - significativo $p \leq 0,05$

Quadro 9. Quadrados médios, nível de significância e erro da análise de variância para a concentração (p/p) e produção de sacarose, glucose e frutose.

Origem da variação	G. L.	% Sac. (p/p)	Prod. sac.	% Glu. (p/p)	Prod. glu.	% Fru. (p/p)	Prod. fru.
Repetições	3	25,19 **	2308061,58 ^{ns}	0,78 **	390695,58 **	0,27 **	164844,33 **
Dotações de rega	2	0,57 ^{ns}	12929,64 ^{ns}	0,12 *	55957,86 ^{ns}	0,02 ^{ns}	11483,22 ^{ns}
Erro	6	2,17	817719,81	0,22	28974,36	0,01	7071,56
Total	11						

ns – não significativo; ** - significativo $p \leq 0,01$; * - significativo $p \leq 0,05$

5.2. Produção de matéria verde e seca em caules

Como seria de esperar, a produção de matéria verde e seca em caules aumentou com a dotação de rega, conforme se pode constatar pela Figura 13. Pela análise dos resultados, é possível verificar que as maiores produções quer de matéria verde (61 t/ha) quer de matéria seca (16,8 t/ha) foram obtidas com a dotação de 4500 m³/ha.

A dotação mais baixa, ou seja a de 1500 m³/ha, apresentou produções muitíssimo baixas, o que pode inviabilizar totalmente a cultura, em termos económicos.

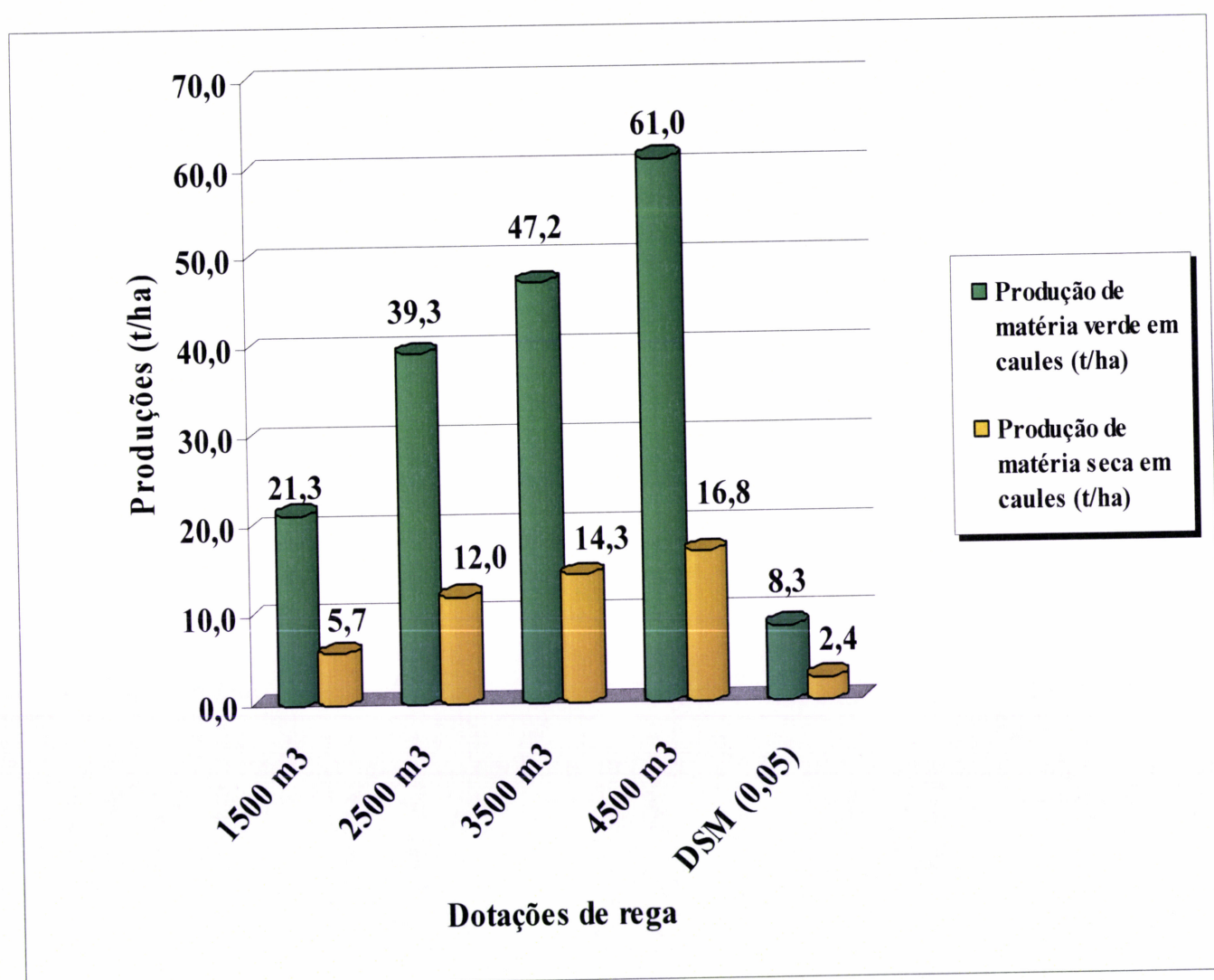


Fig. 13. Produção de matéria verde e seca obtida a partir de caules por dotação de rega

Verificaram-se diferenças significativas entre as várias dotações de rega, excepto entre as dotações de 2500 e 3500 m³/ha. Isto verificou-se relativamente aos dois parâmetros em análise.

Na pesquisa bibliográfica efectuada, foram encontrados valores de matéria seca relativamente mais elevados do que os obtidos neste ensaio.

Com a dotação de 4500 m³/ha verificou-se uma produção de 16,8 toneladas de matéria seca por hectare. Romero (2001) e Grassi (2004) também apresentaram valores de matéria seca próximos dos alcançados neste ensaio. No entanto, alguns autores apontam para produções bem mais elevadas, como é o caso de Matei (2000), que obteve cerca de 30 toneladas de matéria seca.

Fernandez (1999) que realizou alguns ensaios sobre esta cultura em Espanha, mais precisamente em Badajoz, Málaga, Madrid e Soria, obteve também, produções bem mais elevadas. Os melhores valores foram obtidos em Badajoz e rondam as 100 toneladas de matéria verde e as 29 toneladas de matéria seca por hectare. Comparando as produções obtidas em Badajoz com as alcançadas no nosso ensaio, observa-se uma grande discrepância entre valores obtidos.

As diferentes condições edafo-climáticas existentes nos vários locais onde decorreram os ensaios, podem justificar em parte, as diferenças verificadas nas produções de matéria seca. As variedades usadas nos vários ensaios não foram mesmas, o que pode também ter influência nas diferenças encontradas.

Deve-se realçar também, o facto do nosso ensaio ter sido realizado num solo mediterrânico (Pmg). Estes solos apresentam normalmente baixos teores de matéria orgânica e possuem problemas estruturais ao nível do horizonte B, sendo por isso, considerados como solos de baixa fertilidade.

5.3. Concentração de açúcares

5.3.1. Brix e concentração de açúcares totais

Como já foi referido anteriormente, os caules produzidos com a dotação de 1500 m³/ha não foram processados laboratorialmente e como tal, não são conhecidos os seus teores em açúcar.

No que diz respeito á concentração de sólidos solúveis (Fig. 14) é possível verificar que foi na dotação de 2500 m³/ha que se atingiu o valor mais elevado de Brix (18,5%). As dotações de 3500 e 4500 m³/ha apresentaram concentrações iguais (13%), não se tendo verificado qualquer variação com o aumento da dotação de rega aplicada.

No que concerne á concentração de açúcares totais, verificou-se que os valores oscilaram à medida que a dotação aumentou, não se tendo verificado um decréscimo gradual, como seria de esperar, entre a dotação de 3500 e 4500 m³/ha.

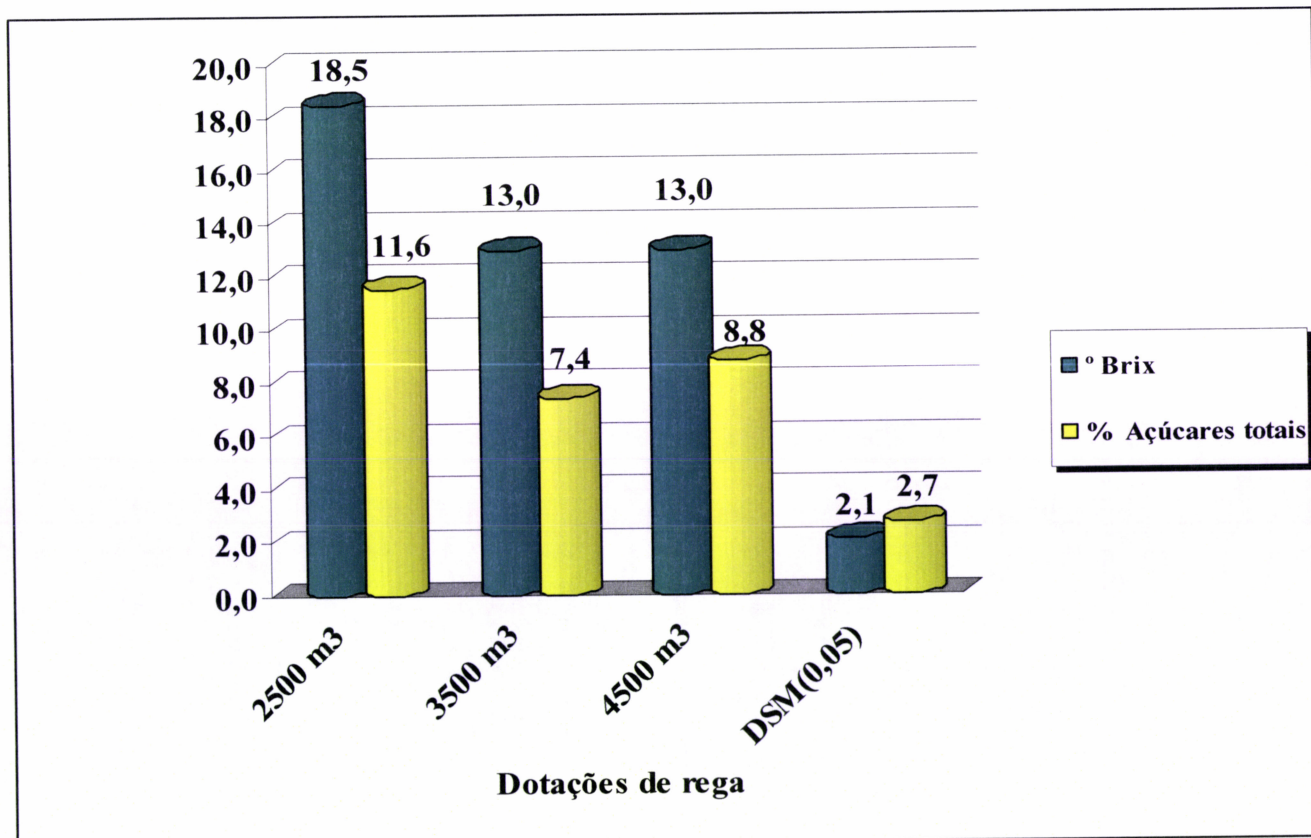


Fig. 14. Brix (%) no sumo extraído e concentração de açúcares totais nos caules verdes por dotação de rega.

A concentração mais elevada verificou-se na dotação de 2500 m³/ha com 11,6%, que foi seguida pelas de 4500 e 3500 m³/ha que apresentaram os valores de 8,8 % e 7,4 %, respectivamente.

Comparando os valores dos dois parâmetros em discussão, é possível observar-se que estes variaram de forma diferente com a dotação de rega, não se tendo verificado uma relação constante entre eles.

5.3.2. Concentração de sacarose

Em relação à concentração de sacarose nos caules verdes do sorgo, é possível verificar-se que a concentração mais elevada (9,5%) ocorreu na dotação de 2500 m³/ha. Na dotação de 3500 m³/ha verificou-se um decréscimo muito acentuado da concentração em relação à dotação anterior e na dotação de 4500 m³/ha notou-se um ligeiro aumento, em relação à concentração da dotação de 3500 m³/ha. Entre as duas dotações de rega mais elevadas não se verificaram diferenças significativas.

As dotações de 3500 e 4500 m³/ha apresentaram concentrações de sacarose demasiado baixas (Fig.15), comparativamente aos valores obtidos por outros autores. Isto pode estar associado ao facto dos caules terem estado congelados durante algum tempo, o que poderá ter provocado a degradação da sacarose e, deste modo, justificar a oscilação verificada na concentração deste açúcar.

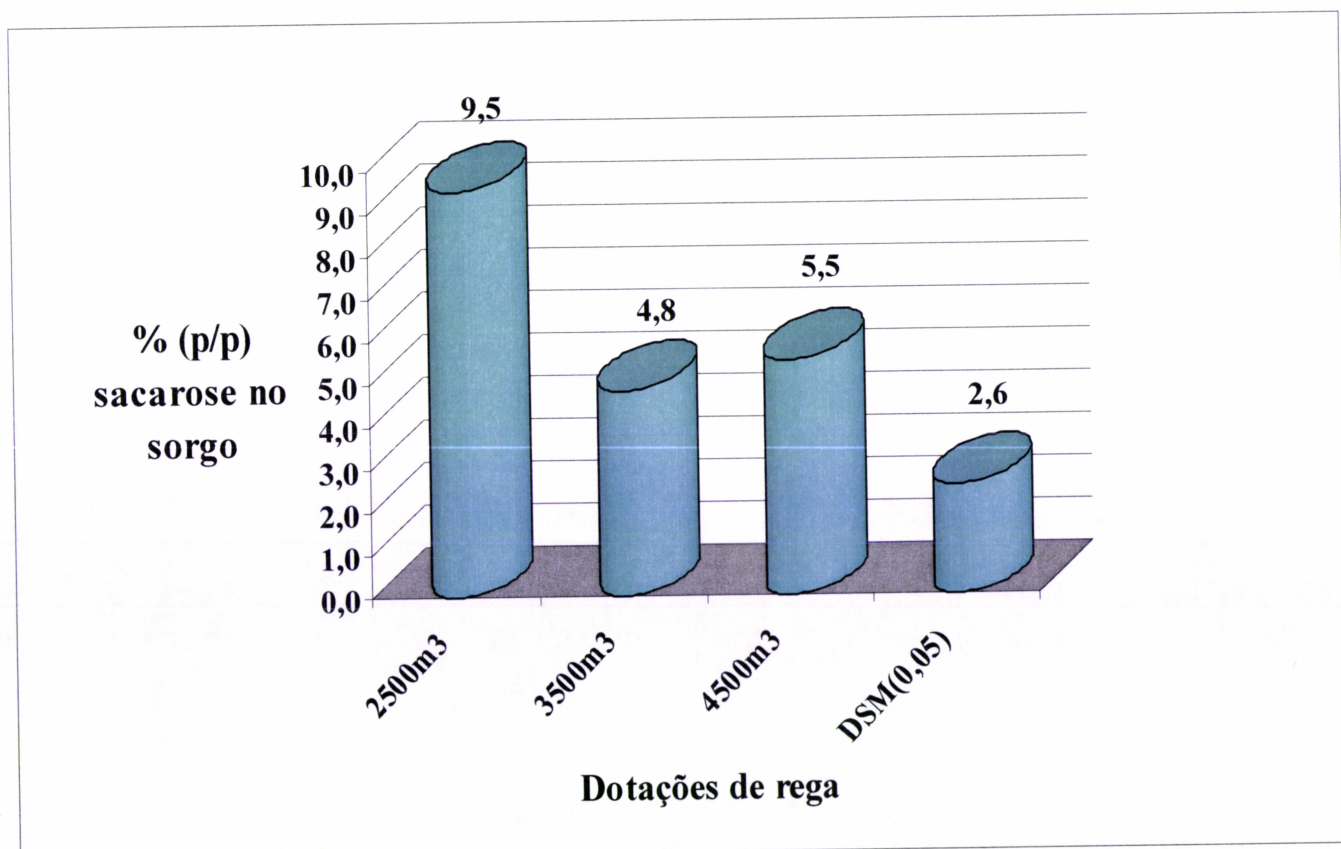


Fig. 15. Concentração de sacarose nos caules verdes do sorgo por dotação de rega

Comparando as concentrações de sacarose obtidas nas várias dotações de rega com os valores encontrados ao longo da pesquisa efectuada, é possível verificar que apenas a

dotação de 2500 m³/ha apresentou valores próximos dos encontrados. Todas as outras dotações de rega mostraram concentrações de sacarose bem mais baixas do que as obtidas por outros autores.

Na bibliografia pesquisada foram encontradas quatro concentrações de sacarose diferentes. A mais elevada foi obtida por Raveendran (s/data), que realizou uma série de ensaios na Índia, onde obteve valores entre 9,6 e 13,6 %. Por sua vez, Ratnavathi (2003) refere 11,6% e Gianella (2007) aponta para 12%, o que são concentrações bastante aceitáveis.

5.3.3. Concentração de glucose

Conforme se pode constatar, verificaram-se diferenças significativas entre as várias dotações de rega. A concentração de glucose mais elevada verificou-se nos caules produzidos pela dotação de 3500 m³/ha, com cerca de 2%. A concentração mais baixa ocorreu na dotação de 2500 m³/ha.

Analisando a Figura 16, verifica-se que os valores da concentração de glucose oscilaram á medida que a dotação de rega aumentou, não se tendo verificado um decréscimo gradual, como seria de esperar.

Na pesquisa efectuada, apenas Grassi (2001) apresenta valores para a concentração de glucose no sorgo. Os restantes autores indicam apenas a concentração em açúcares redutores, ou seja, em glucose e em frutose. Ao comparar as concentrações de glucose obtidas neste ensaio com o valor apresentado por Grassi (2001) verifica-se que apenas a dotação de 2500 m³/ha possui uma concentração mais baixa. A concentração da dotação de 3500 m³/ha é a mais alta, sendo inclusivamente mais elevada que a obtida por este autor.

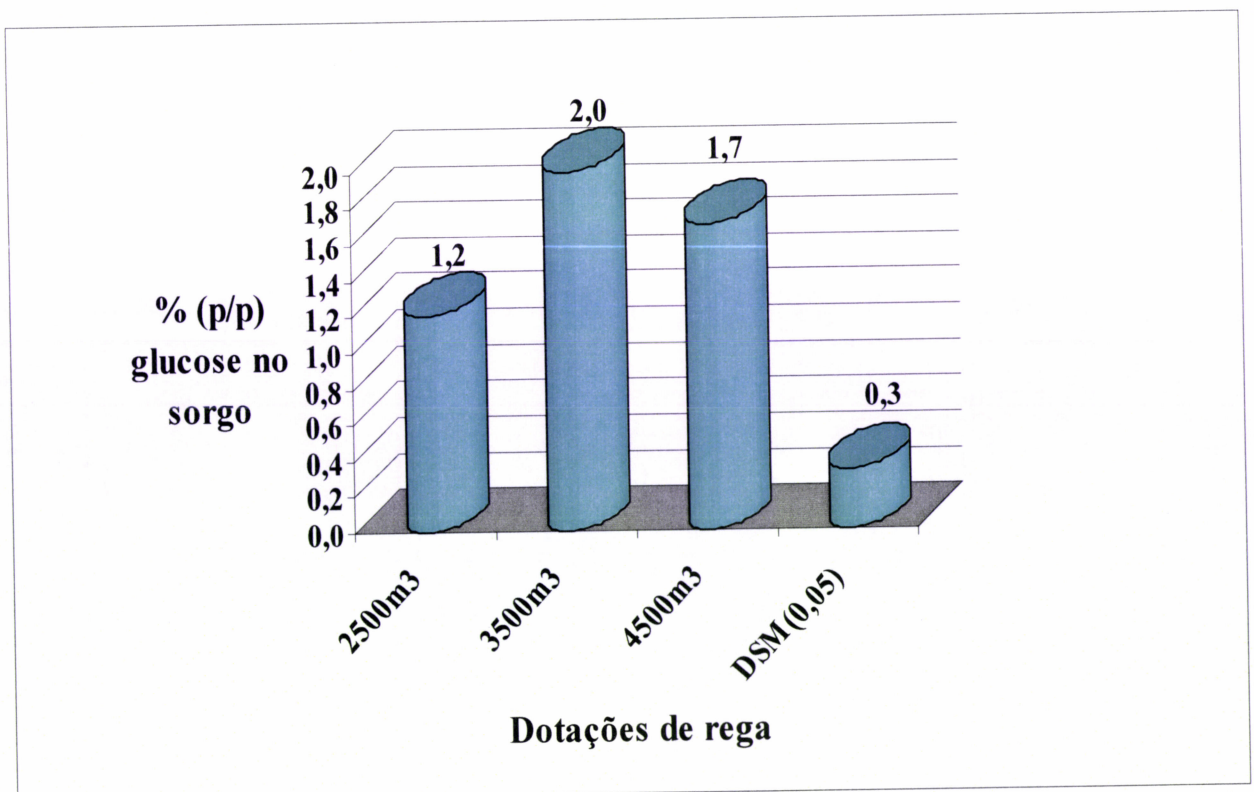


Fig.16. Concentração de glucose nos caules verdes do sorgo por dotação de rega.

5.3.4. Concentração de frutose

Conforme se pode constatar após analisar a Figura 17, a dotação de 2500 m³/ha foi a que apresentou menor concentração em frutose (0,7%). Em relação às duas outras dotações de rega, verificou-se uma tendência para que a dotação de 3500 m³/ha seja a melhor, tal como se tinha já verificado em relação à concentração de glucose.

Como se verificou anteriormente para a glucose, apenas Grassi (2001) apresentou valores de concentração de frutose nos caules e neste caso, o valor apresentado pelo autor foi de 1,04%. Comparando os valores encontrados neste ensaio com o valor proposto por Grassi (2001) é possível observar que apenas a dotação de 2500 m³/ha apresentou um valor de concentração inferior. As duas dotações de rega mais altas têm inclusivamente concentrações mais elevadas que as obtidas por este autor.

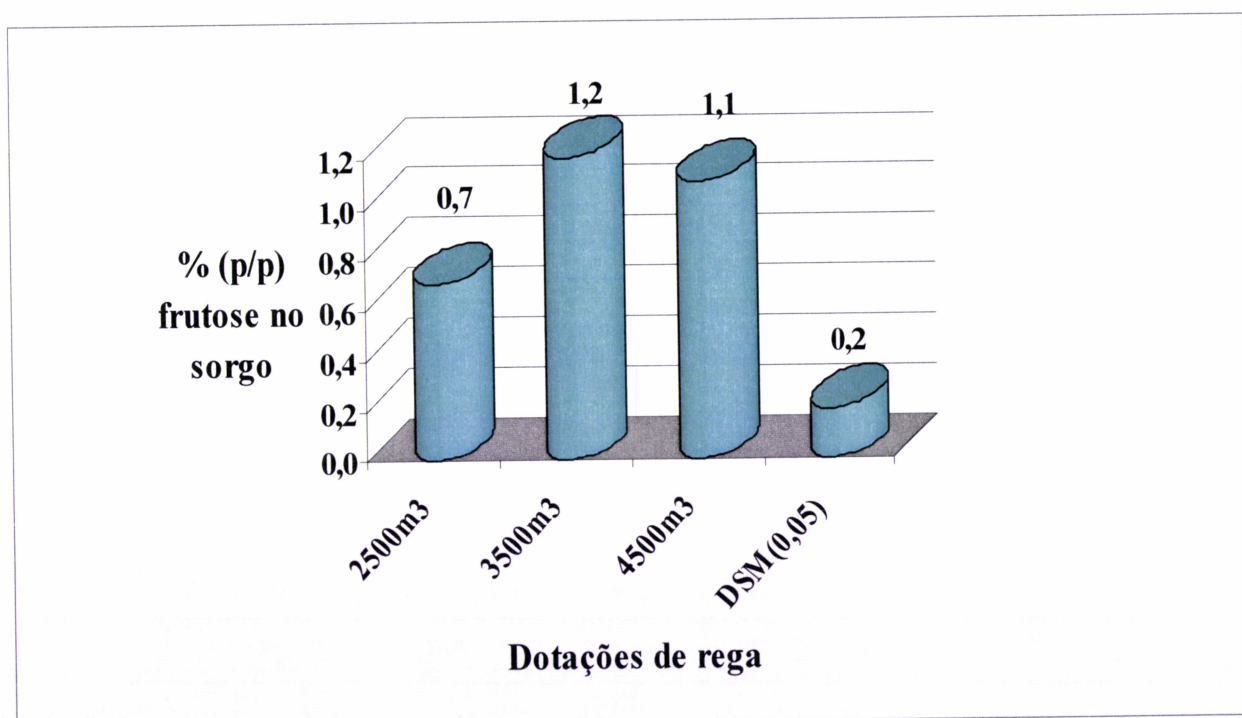


Fig. 17. Concentração de frutose nos caules verdes do sorgo por dotação de rega

5.4. Produção de açúcares

5.4.1. Produção total de açúcares

No que se refere à produção total de açúcar, não se verificaram diferenças significativas entre as várias dotações de rega.

De acordo com a Figura 18, a dotação de 4500 m³/ha revelou tendência para apresentar a maior produção de açúcar, com uma produtividade de cerca de 5,1 t/ha, seguida da dotação de 2500 e 3500 m³/ha com produções de 4,5 t/ha e 3,8 t/ha, respectivamente. Teoricamente a produção total de açúcar deveria aumentar à medida que a dotação de rega aplicada fosse maior, uma vez que, embora se tivesse verificado uma diminuição da concentração total de açúcares, embora com oscilações, a produção de caules verdes foi aumentando com a dotação de rega.

No entanto, este aumento de produção total de açúcares não se verificou quando se passou de 2500 para 3500 m³/ha. Contudo, obteve-se uma produção mais elevada com a maior dotação de rega ensaiada (4500 m³/ha).

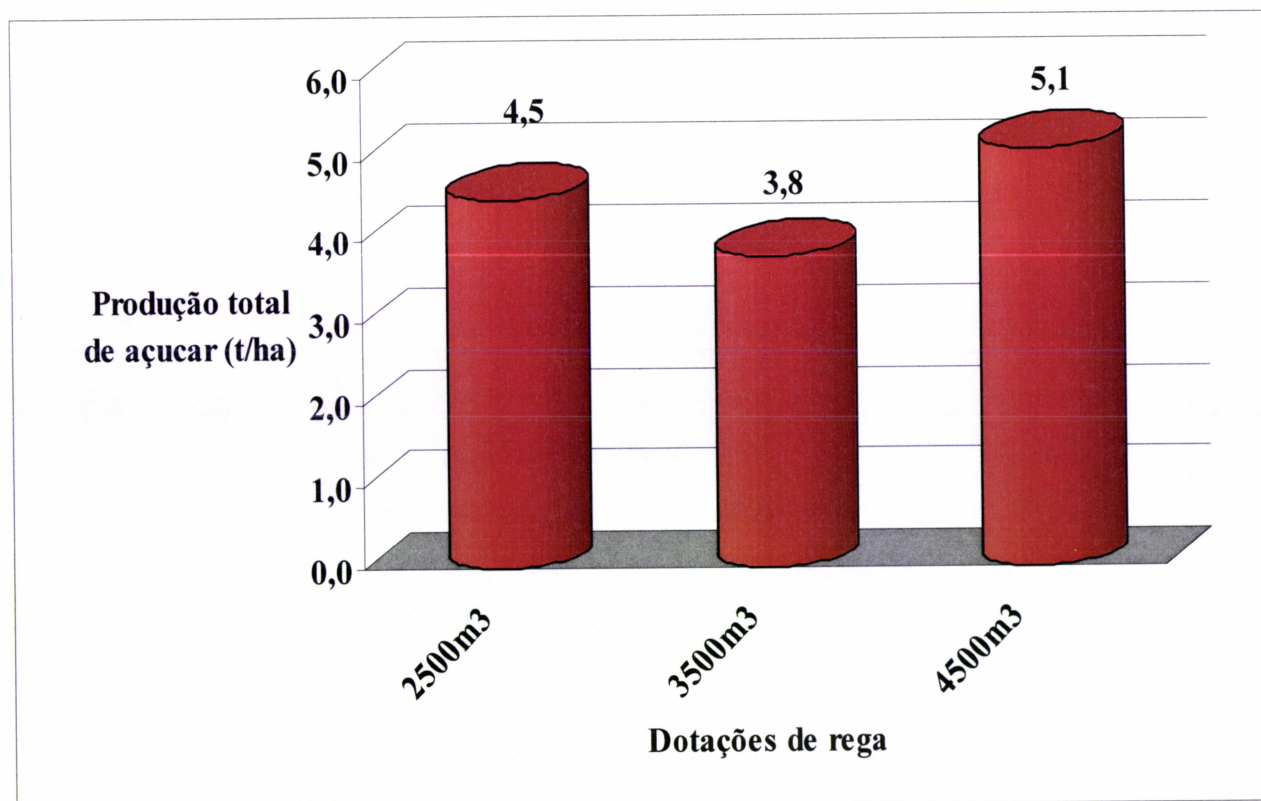


Fig. 18. Produção total de açúcares por dotação de rega

Em relação à produção total de açúcares, foram encontrados ao longo da pesquisa efectuada, quatro valores diferentes propostos por distintos autores. Dos vários autores que realizaram estudos acerca desta matéria, apenas Tsuchihashi (2004), na Indonésia, obteve produções de açúcares inferiores às obtidas neste ensaio. Todos os outros autores obtiveram produções mais elevadas, sendo Fernandez (1999) a referir a produção mais alta, a rondar as 12 t/ha.

Olhando apenas para produção de açúcares é fácil concluir que a melhor dotação de rega a aplicar seria a de 4500 m³/ha. Em termos económicos não se pode afirmar qual seria a dotação de rega mais indicada uma vez que não foi efectuado qualquer estudo económico. Comparando a produção obtida entre a dotação de 2500 e 4500 m³/ha verifica-se que houve apenas um acréscimo de 0,6 toneladas, apesar da cultura ter recebido mais 2000 m³ de água por hectare.

Um aspecto que poderá estar directamente relacionado com as baixas produções alcançadas neste ensaio é o facto de ter sido utilizada uma variedade pouco produtiva. A variedade usada era proveniente da Índia e como tal, as condições de solo e clima verificadas no local do ensaio podem não ter sido as mais apropriadas para as plantas, não permitindo que estas manifestassem todo o seu potencial.

5.4.2. Produção de sacarose

No que se refere à produção de sacarose não se observaram diferenças significativas entre as várias dotações de rega.

A dotação de 2500 m³/ha revelou tendência para apresentar a maior produção de sacarose, seguindo-se a dotação de 4500 m³/ha e por fim a dotação de 3500 m³/ha, com produções de 3,7; 3,4 e 2,3 t/ha, respectivamente, conforme se pode observar na Figura 19.

A dotação de 4500 m³/ha, apesar de ter uma concentração de sacarose mais baixa que a de 2500 m³/ha, conforme se constatou na Figura 15, apresentou uma produção de sacarose muito próxima (3,4 t/ha). Tal facto deve-se à grande diferença de produção de caules verdes que se verificou entre as duas dotações.

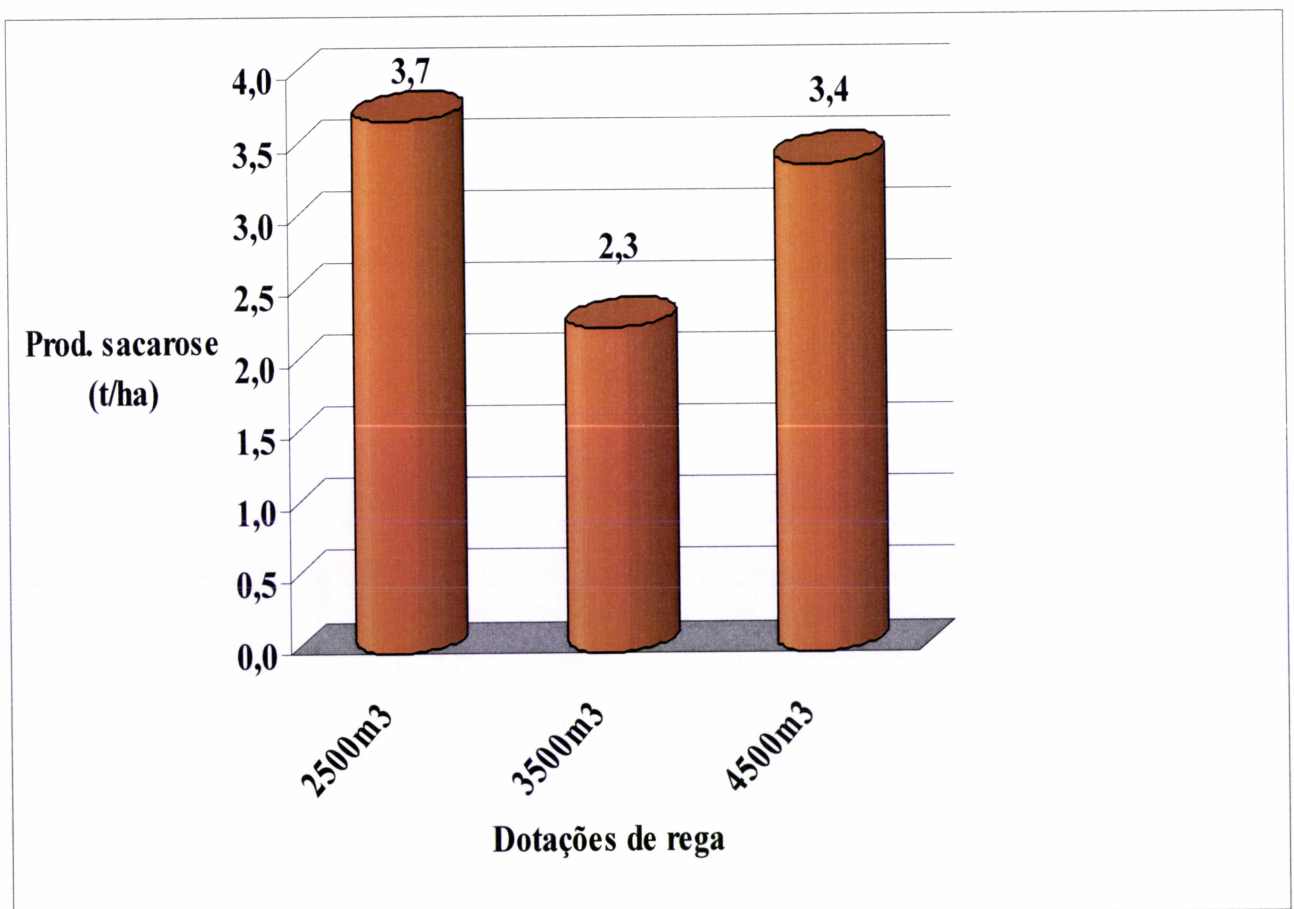


Fig. 19. Produção de sacarose por dotação de rega

5.4.3. Produção de glucose

No que diz respeito à produção de glucose (Fig. 20), verificou-se que a dotação de 2500 m³/ha foi a que apresentou produtividade mais baixa (0,5 t/ha). As duas outras dotações de rega (3500 m³/ha e 4500 m³/ha) apresentaram igual produção por hectare (1t/ha). Verificaram-se diferenças significativas entre as dotações de rega, excepto entre as duas mais elevadas.

Em relação á dotação de 4500 m³/ha, a dotação de 3500 m³/ha apresentou maior concentração de glucose mas menor produção de caules verdes, daí que no final a produção de glucose em t/ha tenha sido igual para ambas as dotações.

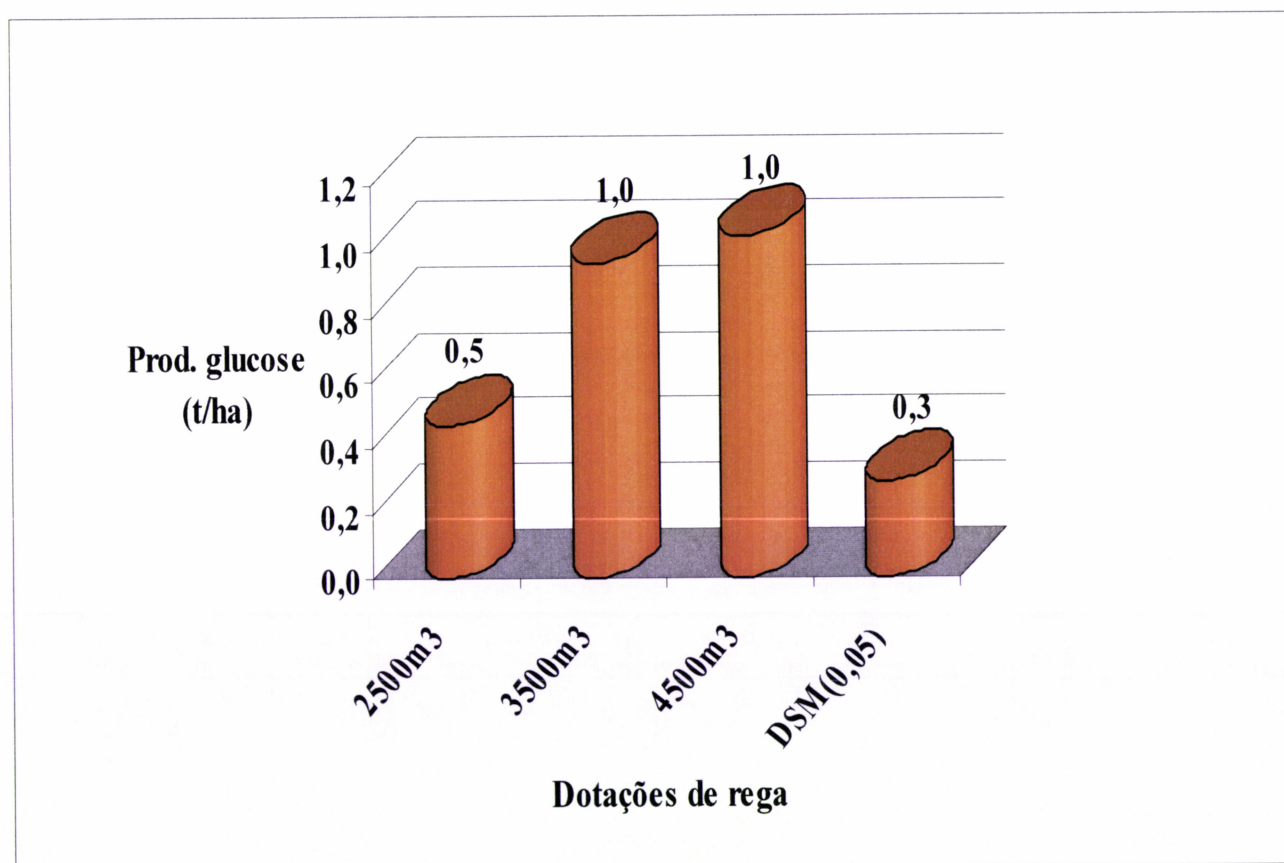


Fig. 20. Produção de glucose por dotação de rega

5.4.4. Produção de frutose

Conforme se pode constatar na Figura 21, registaram-se diferenças significativas entre as várias dotações de rega. A dotação de 4500 m³/ha foi a que apresentou maior produção de frutose, com uma produtividade a rondar as 0,7 t/ha, seguida da dotação de 3500 m³/ha com 0,6 t/ha e por fim surgiu a dotação de 2500 m³/ha com uma produção de frutose de 0,3 t/ha.

Apesar da maior concentração de frutose ocorrer na dotação de 3500 m³/ha, foi na dotação de 4500 m³/ha que se verificou a maior produção de frutose. Tal como nos casos anteriores, este facto é devido à maior produção de caules verdes que se verificou nesta dotação.

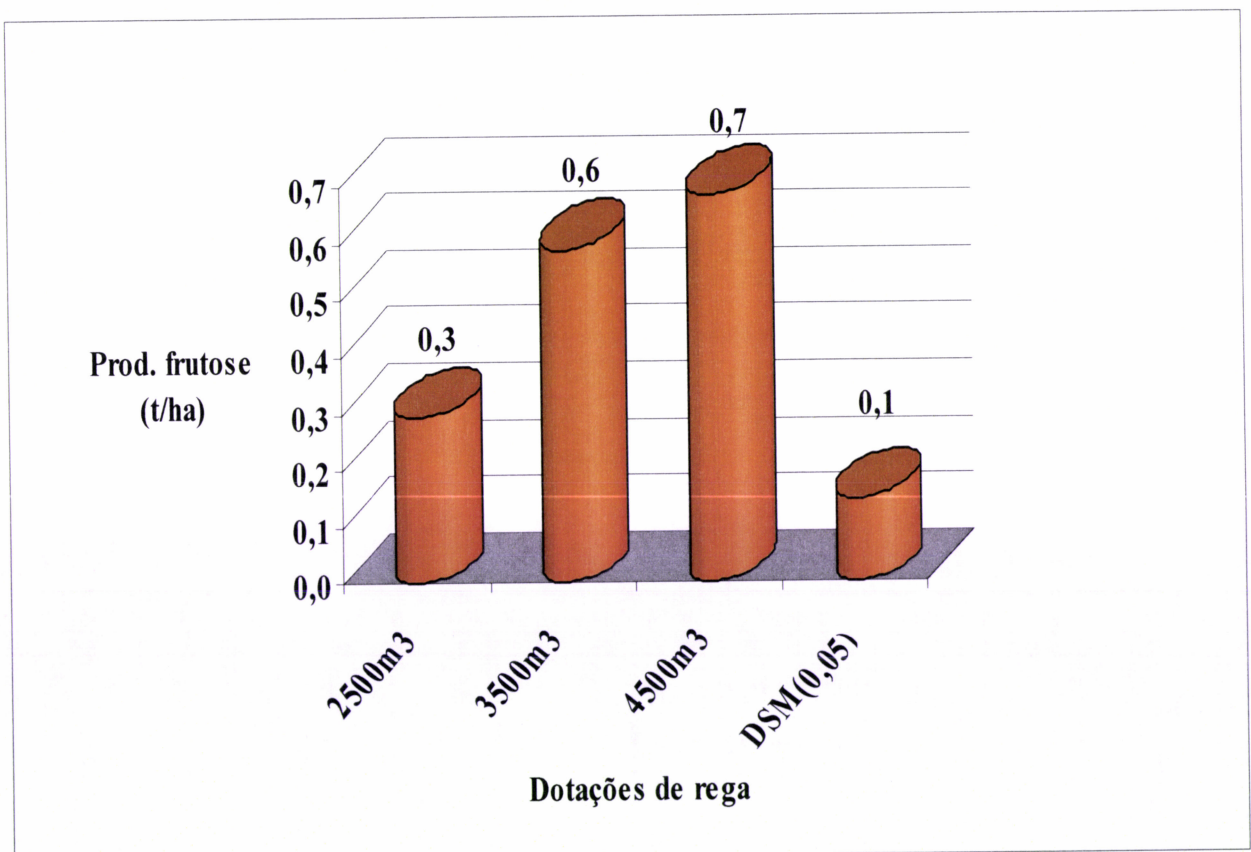


Fig. 21. Produção de frutose por dotação de rega

5.5. Produção potencial de etanol

Segundo Fernandez (1999) são necessários 2 quilogramas de açúcar para produzir 1 litro de etanol. Utilizando este dado como referência, é possível transformar a produção de açúcar obtida neste ensaio em etanol. Deste modo podem estimar-se as seguintes produções potenciais por hectare: 2229,5 l; 1902 l e 2558 l nas dotações de 2500 m³; 3500 m³ e 4500 m³/ha, respectivamente.

Conforme se pode verificar através da Figura 22, a dotação de 4500 m³/ha mostrou tendência para apresentar a maior produção de etanol, com uma produtividade de cerca de 2558 l/ha. De seguida, surgiu a dotação de 2500 m³/ha, que apresentou uma produção a rondar os 2229,5 l/ha e por fim a dotação de 3500 m³/ha com uma produção de cerca de 1902 litros de etanol por hectare.

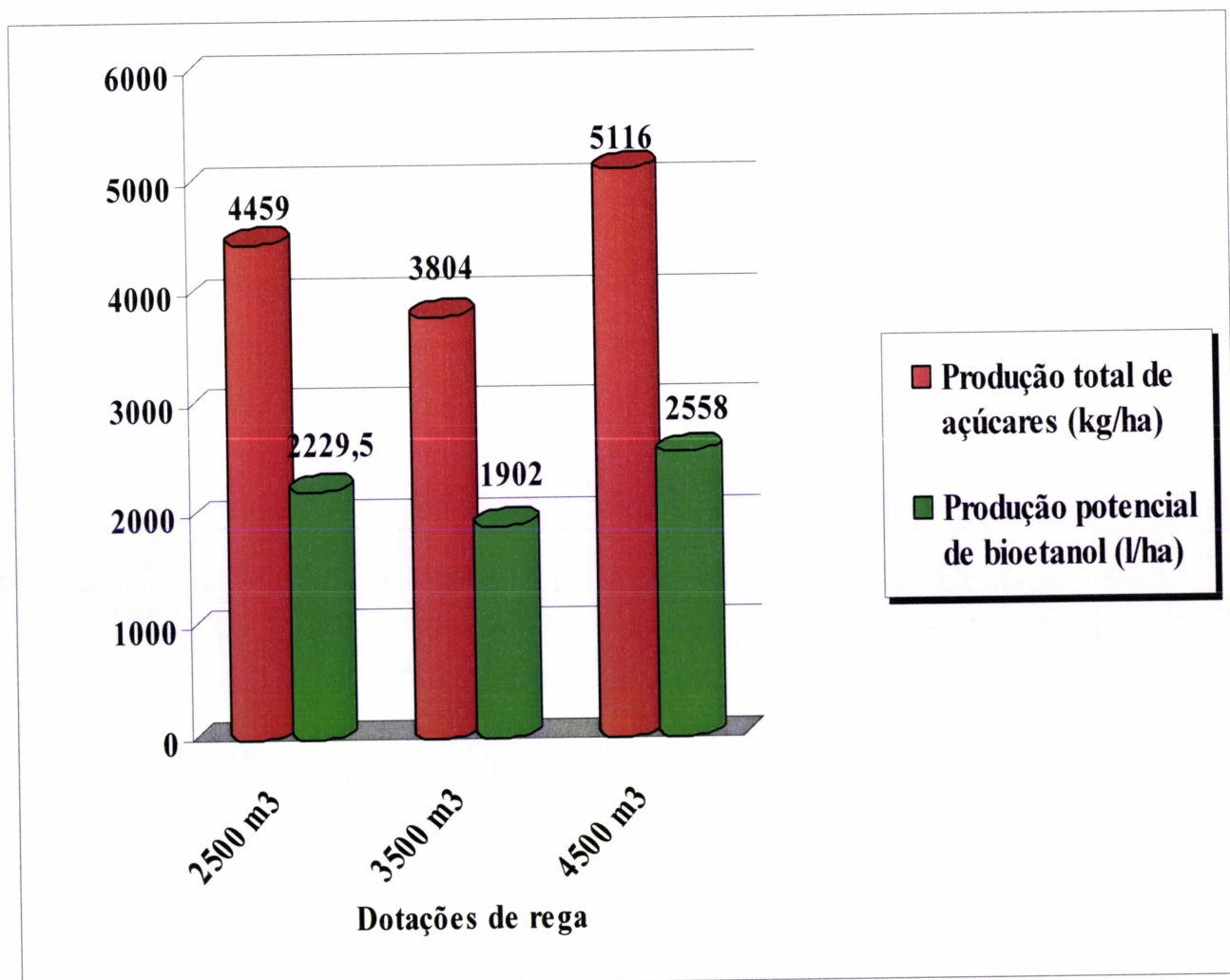


Fig. 22. Produção potencial de etanol por dotação de rega

Teoricamente a produção de etanol deveria aumentar à medida que a dotação de rega aplicada fosse maior, no entanto isto não se verificou, uma vez que a dotação de 3500 m³/ha apresentou uma produção inferior à dotação de 2500m³/ha. Também é possível verificar que a dotação de 4500 m³/ha, apesar de ter recebido mais 2000 m³ de água do que a dotação de 2500 m³/ha, apenas produziu mais 328,5 litros de etanol.

Partindo do princípio de que o etanol é vendido ao mesmo preço da gasolina, que actualmente é de cerca de 1,40 €/l e que o preço da água consumida é de 0,07 €/m³, podemos saber, através de alguns cálculos, qual será a melhor dotação a aplicar.

Multiplicando os 328,5 l de etanol que a dotação de 4500 m³/ha produz a mais, pelo seu preço de venda (1,40 €/l), obtém-se um aumento da receita final de cerca de 460 €/ha. Por outro lado, multiplicando os 2000 m³ de água, que esta dotação consome a mais, pelo seu custo, verifica-se um aumento dos custos de produção de cerca de 140 €/ha. Analisando estes resultados, podemos concluir que a dotação de 4500 m³/ha é a melhor em termos económicos, uma vez que o acréscimo na margem bruta seria de 320 € (460€/ha - 140 €/ha), em relação á dotação de 2500 m³/ha.

Em termos económicos, não é possível saber exactamente até que ponto a dotação de 4500 m³/ha é a mais indicada, uma vez que não foi realizado qualquer estudo desse tipo. Em termos comparativos é possível observar que as produções de etanol obtidas neste ensaio foram bastantes mais baixas do que as obtidas por outros autores que realizaram também ensaios com esta cultura noutros pontos do globo.

Dos vários valores de produção de etanol apresentados na revisão bibliográfica, apenas dois são semelhantes aos encontrados neste ensaio. Jaramillo (2006) obteve uma produção média de 2200 litros de etanol por hectare nos ensaios que conduziu na Colômbia, enquanto que, Raveendran (s/data), que realizou ensaios em vários países diferentes, obteve no Brasil, produções médias de cerca de 2639 l/ha. Este mesmo autor conduziu também ensaios na China, onde obteve produções de 7000 litros de etanol por hectare, a maior produção atingida até ao momento.

Fernandez (1999), autor já referenciado anteriormente, obteve produções de cerca de 6050 litros de etanol por hectare, em ensaios realizados em vários locais de Espanha.

Málaga e Badajoz foram os locais onde se verificaram as produções mais elevadas. Partindo do princípio que as condições climáticas existentes em Badajoz e em Évora são relativamente parecidas, deveriam verificar-se algumas semelhanças nos resultados obtidos, no entanto, isso não se verificou. Estas diferenças de produção podem ser devidas à utilização de melhores variedades e a outras condições de condução da cultura, maior fornecimento de água de rega, por exemplo.

6. Conclusões

6. Conclusões

Este ensaio, realizado na Herdade Experimental da Mitra, tinha como objectivo testar a influência da dotação de rega na produção de sorgo sacarino.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que a dotação de 4500 m³/ha mostrou tendência para apresentar a maior produção, quer de açúcares (5116 kg/ha) quer de bioetanol (2558 l/ha).

É importante realçar, que neste ensaio, quer a produção de açúcares quer a produção de bioetanol não aumentaram linearmente à medida que a dotação de rega aplicada ia sendo cada vez maior.

Apesar daquela dotação de rega não ter apresentado a maior concentração de açúcares totais (8,8%), a sua elevada produção de matéria verde (61 t/ha), fez com que no final, tenha sido a que apresentou maior produção de açúcar.

A concentração de sólidos solúveis foi mais elevada na dotação de 2500 m³/ha, que apresentou um valor de 18,5%. As dotações de 3500 e 4500 m³/ha apresentaram concentrações iguais (13%), não se verificando qualquer variação com o aumento da dotação de rega aplicada.

No que diz respeito á concentração total de açúcares verificou-se que os valores oscilaram á medida que a dotação aumentou, não se tendo verificado sempre um decréscimo gradual, como seria de esperar.

Também é importante realçar que a dotação de 4500 m³/ha produziu apenas mais 328,5 litros de etanol que a dotação de 2500 m³/ha, tendo no entanto, recebido mais 2000 m³ de água por hectare.

Em termos comparativos podemos concluir que os resultados encontrados neste ensaio foram bastante mais baixos do que os obtidos por outros autores que realizaram ensaios

em vários países diferentes. Estas diferenças de resultados podem ser devidas a diferentes variedades utilizadas e diferentes modos de condução da cultura.

Com base, apenas, nas produções obtidas neste ensaio poder-se-ia concluir que esta cultura dificilmente seria adoptada em Portugal para fins energéticos. Porém, e olhando para os resultados obtidos por outros autores, pode-se concluir que esta cultura apresenta grande aptidão para a produção de bioetanol. Além do mais, trata-se de uma cultura de dupla aptidão, não competindo com a vertente alimentar, uma vez que o grão pode ser colhido e usado para alimentação, pelo menos no que se refere a algumas variedades.

O sorgo sacarino é também uma cultura que apresenta um excelente balanço de energia na produção de etanol. Dividindo a energia renovável produzida por esta cultura pela energia fóssil usada para a realizar, obtém-se um rendimento de quatro unidades (Macedo, 2007), ou seja, a energia obtida é quatro vezes superior à energia dispendida. Apenas a cana-de-açúcar ultrapassa o sorgo sacarino em termos de balanço energético, uma vez que a energia obtida por esta cultura é 8,9 vezes superior à energia dispendida, de acordo com a mesma fonte. O milho, por outro lado, apresenta um balanço energético bastante baixo, o que constitui uma grande desvantagem para esta cultura. A energia obtida é apenas 1,3 vezes superior à energia consumida.

Também é importante realçar que o sorgo tolera bem a seca e o encharcamento, sendo possível a sua implantação numa enorme variedade de solos.

O sorgo sacarino apresenta produções de bioetanol praticamente iguais às do milho, podendo inclusivamente superar esta cultura em termos produtivos, no entanto apresenta algumas desvantagens, sobretudo no que se refere à colheita. No caso do milho, esta é realizada com ceifeiras debulhadoras, sendo um processo relativamente simples e bem conhecido em Portugal. Por outro lado, a colheita do sorgo é um processo bastante mais complexo, que requer maquinaria especializada, uma vez que os caules têm de ser cortados, desfolhados e transportados inteiros para as unidades de transformação. O milho apresenta ainda a vantagem de poder ser armazenado mais facilmente.

7. Bibliografia

7. Bibliografia

A.O.A.C., 1984 – “*Official Methods of Analysis*”, Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.), Allington (USA), p 1050 - 1055

Correia, A. A. D. 1980, *Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa

Costa, J. B. 1999, *Caracterização e constituição do solo*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa

Ivie, K. F. 1982, High – Performance Liquid Chromatography in Sugar Analysis, *Sugar y Azucar*, 77 (2): 44 - 56

Cibergrafia:

Alvarenga, R. C., Cruz, J. C., Novotny, E. H. 2006, *Cultivo do sorgo – Solos*, Embrapa Milho e Sorgo, acessido em 21/07/2007, no site:
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/solos-manejo.htm>

Andrietta, M. G. S., Steckelberg, C., Andrietta, S. R. 2006, *Bioetanol – Brasil, 30 anos na vanguarda*, Universidade de Campinas, acessido em 28/06/2007, no site:
http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_07/a_02_7.pdf

Bayer CropScience 2003, acessido em 25/07/2007, no site:
<http://www.bayercropscience.pt/internet/asp/>

Bionauta 2007, *O bioetanol*, acessido em 27/07/2007, no site:
http://www.bionauta.com/bioetanol_p.html

Boletim WRM 2006, acessido em 21/06/2007, no site:
<http://www.wrm.org.uy/boletim/112/opiniao.html>

Chavarría, B. A. 2000, *Centros de diversidad - La riqueza biológica de los cultivos tradicionales, herencia mundial amenazada por la contaminación genética*, acessido em 12/07/2007, no site:
<http://www.redepapa.org/greenpeace.pdf>

Cobill, R., Tew, T. 2006, *Evaluation of Sweet Sorghum As a Complementary Bioenergy Crop to Sugarcane in Louisiana, Genetic improvement of sugar cane by conventional and molecular approaches*, acessido em 23/08/2007, no site:
http://arsserv0.tamu.edu/research/publications/publications.htm?SEQ_NO_115=195472

Coelho, A. M., Waquil, J. M., Karam, D., Casela, C. R., Ribas P. M. 2002, *Seja o doutor do seu sorgo*, acessido em 10/08/2007, no site:
<http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/doutorsorgo.pdf>

CTCV 2007, acessido em 12/05/2007, no site:
<http://www.ctcv.pt/emissoes.htm>

DNV 2007, acessido em 14/05/2007, no site:
<http://www.dnv.com.br/certificacao/mudancasclimaticas/comerciodeemissoes/index.asp>

EDP – Energias de Portugal 2006, acessido em 23/06/2007, no site:
http://www.eco.edp.pt/pt/eficiencia_energetica/o_que_e_a_eficiencia_energetica/em_portugal/protocolo_de_quioto/lista.aspx

Esquerda 2007, *Quioto e os direitos de emissão*, acessido em 17/05/2007, no site:
http://www.esquerda.net/index.php?option=com_content&task=view&id=1114&Itemid=68

Eurostat s/data, *Evolução do total de energia consumida no sector dos transportes*, acessido em 12/05/2007, no site:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1090,30070682,1090_33076576&_dad=portal&_schema=PORTAL

FAO 2002, *Sorgo dulce en China*, acessido em 23/08/2007, no site:
<http://www.fao.org/ag/esp/revista/0202sp2.htm>

Fernandez, J. 1999, *Outlooks of sweet sorghum crop for ethanol production in Spain based on varietal results in multilocal trials*, acessido em 29/08/2007, no site:
<http://www.eeci.net/archive/biobase/B10191.html>

Gianella, J. 2007, *Sorgo Azucarado en la Costa Norte*, Proyecto Biocombustibles GEF-IFC-Monder, Lima, acessido em 27/08/2007, no site:
<http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/GVEP/gianella.pdf>

Grassi, G., Pastre, O., Fjällström, T. 2004, *Recovery of Semi-Arid Desertic Lands through Biomass Schemes*, 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy, acessido em 30/08/2007, no site:
http://www.eubia.org/uploads/media/2004_-_WBC2_Recovery_of_semi_arid_desertic_lands_through_biomass_schemes.pdf

Grassi, G. 2005, *Sweet sorghum - One of the best world food-feed-energy crop*, Latin America Thematic network on Bioenergy, LAMNET, acessido em 25/08/2007, no site:
http://www.eubia.org/fileadmin/template/main/res/pdf/publications/04_Brochures_Leaflets/LAMNET%20-%20sweet%20sorghum.pdf

ICRISAT 2006, *Sweet Sorghum Food, Feed, Fodder and Fuel Crop*, acessido em 21/07/2007, no site:
<http://www.icrisat.org/Biopower/BVSRReddyetalSweetSorghumBrochureJan2007.pdf>

- Jaramillo, J. 2006, *Alcohol Carburante a partir de Yuca*, Petrotesting Colômbia S.A, acessado em 26/08/2007, no site:
http://www.ciat.cgiar.org/training/pdf/060920_Alcohol_Carburante_Yuca-J_Jaramillo.pdf
- Karam, D. 2006, *Cultivo do sorgo – Plantas daninhas*, Embrapa Milho e Sorgo, acessado em 22/07/2007, no site:
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/plantasdaninha.htm>
- Léon, J. M. P. s/data, *Biomasa*, acessado em 17/08/2007, no site:
<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/descargas/2004-2005/Biomasa%20-%20Julio%20Montes%20-%20271004.ppt>
- Loke, J. B. 2007, *Como asociaciones de agricultores pueden producir bioetanol y tener acceso a mercados ilimitados*, Reunión Anual de Socios, Clayuca 2007, acessado em 12/08/2007, no site:
http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion10/presentaciones/ciat_johnloke_2007.pdf
- Macedo, I. C. 2007, *Situação actual e perspectivas do etanol*, acessado em 23/07/2007, no site:
<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a11v2159.pdf>
- Magalhães, P. C., Durães, F. O. M., Rodrigues, J. A. S. 2006, *Cultivo do sorgo – Ecofisiologia*, Embrapa Milho e Sorgo, acessado em 20/07/2007, no site:
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/ecofisiologia.htm>
- Martinik. 2005, *El Sorgo Su cultivo Origen Variedades Propiedades Enfermedades Agricultura*, acessado em 19/07/2007, no site:
<http://riie.com.es/?a=29625>
- Matei, M. 2000, *Energy crops in Romania*, European Energy Crops InterNetwork, Biobase, Romania, acessado em 24/08/2007, no site:
<http://www.eeci.net/archive/biobase/B10683.html>
- Mateus, T. s/ data, *Culturas energéticas e o etanol: contributo para o cumprimento da directiva dos biocombustíveis*, Mestrado de Energias Renováveis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, acessado em 24/06/2007, no site:
http://www.quercus.pt/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/articleFile31.pdf
- Morris, W. C., Mask, P. L. 1991, *Sweet Sorghum Culture and Syrup Production*, acessado em 19/08/2007, no site:
<http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0625/ANR-0625.html>
- Muldoon, D. K. 1985, *Summer forages under irrigation. 1. Growth and development*, Australian Journal of Experimental Agriculture, acessado em 18/08/2007, no site:
<http://www.publish.csiro.au/paper/EA9850392.htm>
- Panaka, P., Yudiarto, M. A. 2007, *New Development of Ethanol Industry in Indonesia*, acessado em 17/08/2007, no site:
http://www.jst.go.jp/asts_j/files/ppt/18_ppt.pdf

[Programa nacional para as alterações climáticas 2001, acessido em 23/06/2007, no site: http://www.energiasrenovaveis.com/docs/PNAC.pdf](http://www.energiasrenovaveis.com/docs/PNAC.pdf)

Raveendran, T. S. s/ data, *Sweet sorghum*, acessido em 25/08/2007, no site: <http://www.tnau.ac.in/tech/swc/sweetsorghum.pdf>

Reddy, B. V. S., Ramesh, S., Reddy, P. S., Ramaiah, B., Salimath, P. M., Kachapur R. 2005, *Sweet Sorghum – A Potential Alternate Raw Material for Bio-ethanol and Bioenergy*, University of Agricultural Sciences, Dharwad 580 05, Karnataka, India, acessido em 29/08/2007, no site: <http://www.icrisat.org/Biopower/BVSReddySweetSorghumPotentialAlternative.pdf>

Ribas, P. M. 2006, *Cultivo do sorgo – Plantio*, Embrapa Milho e Sorgo, acessido em 21/07/2007, no site: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/plantio-plantio.htm>

Romero, L., Gaggiotti, M., Comerón, E. 2001, *Sorgo forrajero azucarado para silaje: efecto de la distancia entre surcos y la densidad de siembra*, acessido em 24/08/2007, no site: http://rafaela.inta.gov.ar/anuario2001/a2001_10.htm

Rooney, W. L. 2006, *Designing Sorghum as a Dedicated Bioenergy Crop*, Department of Soil & Crop Sciences, Texas A&M University, acessido em 27/08/2007, no site: <http://www.sorghumgrowers.com/Portals/9601e447-03e0-4aad-9c41e3f718fe1956/tamu.pdf>

Rosa, M. F. 2005, *Situação actual dos biocombustíveis e perspectivas futuras*, INETI - Departamento de Energias Renováveis, acessido em 23/06/2007, no site: http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29_1-2/vol29_1_2_Art07.pdf

Teixeira, C. G., Jardine, J. G., Nicolella, G., Zaroni, M. H. 1999, *Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino*, acessido em 23/08/2007, no site: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v34n9/7611.pdf>

Tsuchihashi, N., Goto, Y. 2004, *Cultivation of sweet sorghum (sorghum bicolor (L.) Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia*, acessido em 26/08/2007, no site: http://www.jstage.jst.go.jp/article/ppp/7/4/442/_pdf

Turgut, I., Bilgili, U., Duman, A., Acikgoz, E. 2005, *Production of sweet sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels*, Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Uludag University, Bursa, Turkey, acessido em 25/08/2007, no site: <http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713394126>

Undersander, D. J., Lueschen, W. E., Smith, L. H., Kaminski, A. R., Doll, J. D., Kelling, K. A., Oplinger, E. S. 1990, *Sorghum-for Syrup*, Alternative field crops manual, University of Wisconsin, acedido em 23/08/2007, no site:
<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/syrup.html>

Universidade Técnica de Lisboa 2005, *Cromatografia líquida de alta eficiência – Análise da cafeína em bebidas por HPLC*, acedido em 10/09/2007, no site:
https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/49904/1/LQIII_Cromat_HPLC_Cafeina.pdf

Wikipédia 2007, *Protocolo de Quioto*, acedido em 24/07/2007, no site:
http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quioto

8. Anexos

A1. Dados climatológicos de 2006 e do trinténio 1951-1980

Mês/Ano	Temperatura Média (°C)						Precipitação (mm)	
	Mensal		Máxima		Mínima		2006	1951/80
	2006	1951/80	2006	1951/80	2006	1951/80		
Jan.	7,2	9,3	13,1	12,5	2,6	6,1	32,0	94,4
Fev.	8,7	9,9	14,7	13,3	3,6	6,4	55,9	84,6
Mar.	12,2	11,5	18,1	15,4	7,3	7,6	86,2	82,9
Abr.	15,3	13,6	21,8	18,1	9,5	9,0	49,9	48,7
Mai	19,3	16,6	27,5	21,9	11,4	11,3	0,6	39,2
Jun.	20,3	19,9	30,0	25,9	14,2	13,8	37,6	26,6
Jul.	24,9	22,8	34,1	29,9	16,7	15,7	2,2	6,2
Ago.	25,0	23,0	34,7	29,8	16,2	16,1	25,0	3,0
Set.	22,0	21,1	30,3	26,9	14,8	15,3	50,1	25,1
Out.	18,0	17,1	23,8	21,5	13,3	12,8	183,9	66,7
Nov.		12,4		16,0		8,8		78,7
Dez.		9,7		13,0		6,5		86,5
Ano								642,6

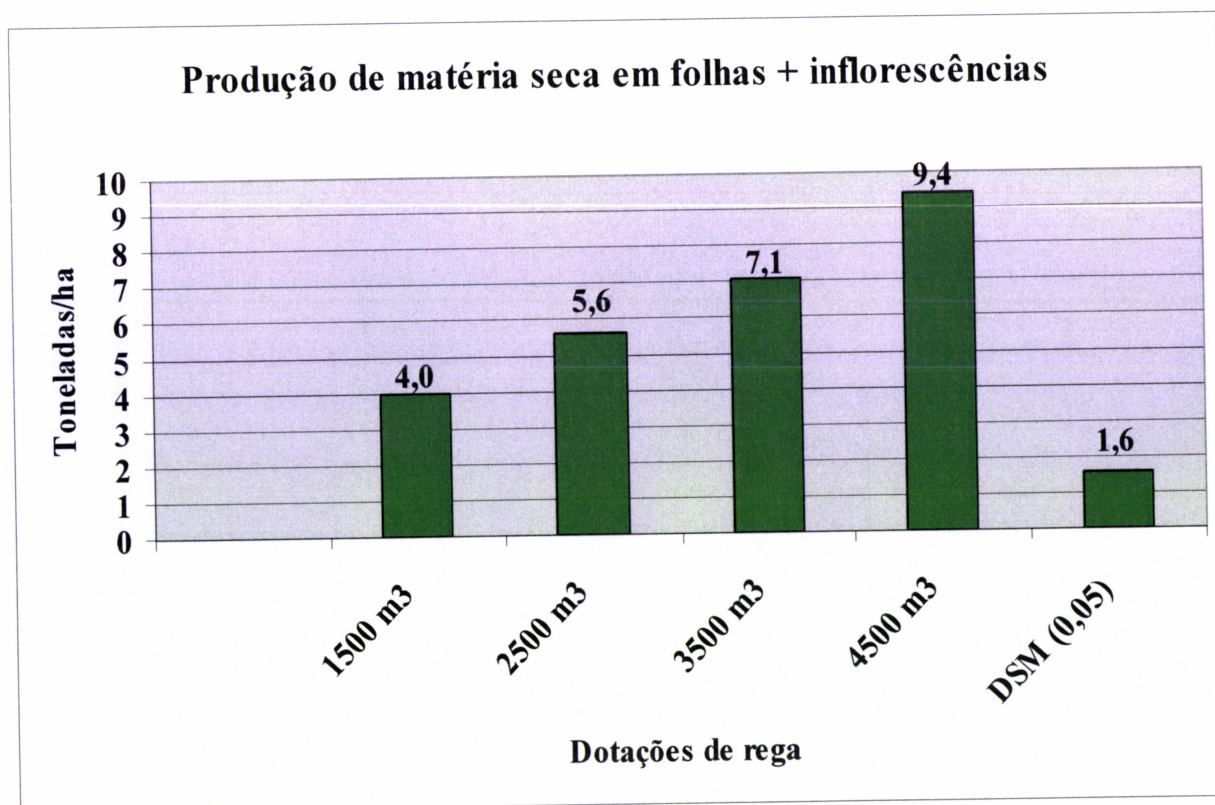
A2. Dados das produções de matéria seca em folhas e inflorescências

Rega	Rep.	PMSF+I (kg/ha)	Prod. média (kg/ha)	PMSF (kg/ha)	Prod. média (kg/ha)	PMSI (kg/ha)	Prod. média (kg/ha)
1500 m ³ /ha	1	4382	3998,75	1329	1165,00	3053	2833,75
	2	4646		1125		3521	
	3	3898		1103		2795	
	4	3069		1103		1966	
2500 m ³ /ha	1	4852	5553,50	1379	1680,75	3473	3872,75
	2	5075		1865		3210	
	3	6225		1655		4570	
	4	6062		1824		4238	
3500 m ³ /ha	1	6507	7069,00	1916	2449,00	4591	4620,00
	2	7943		2602		5341	
	3	6612		2413		4199	
	4	7214		2865		4349	
4500 m ³ /ha	1	9020	9393,00	3161	2765,25	5859	6627,75
	2	10551		2969		7582	
	3	8254		2290		5964	
	4	9747		2641		7106	

PMSF+I – Produção de matéria seca em folhas + inflorescências

PMSF – Produção de matéria seca em folhas

PMSI – Produção de matéria seca em inflorescências

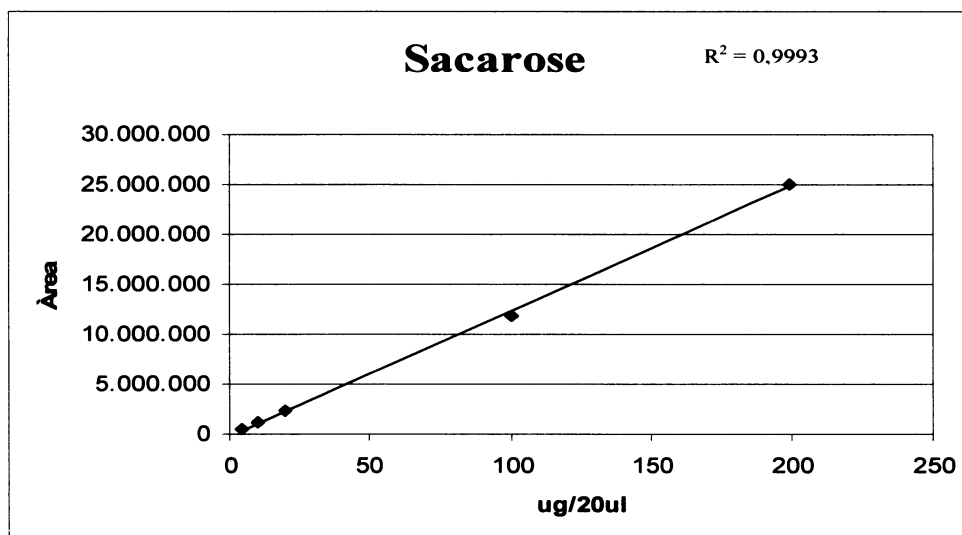


A3. Valores dos parâmetros recolhidos em laboratório

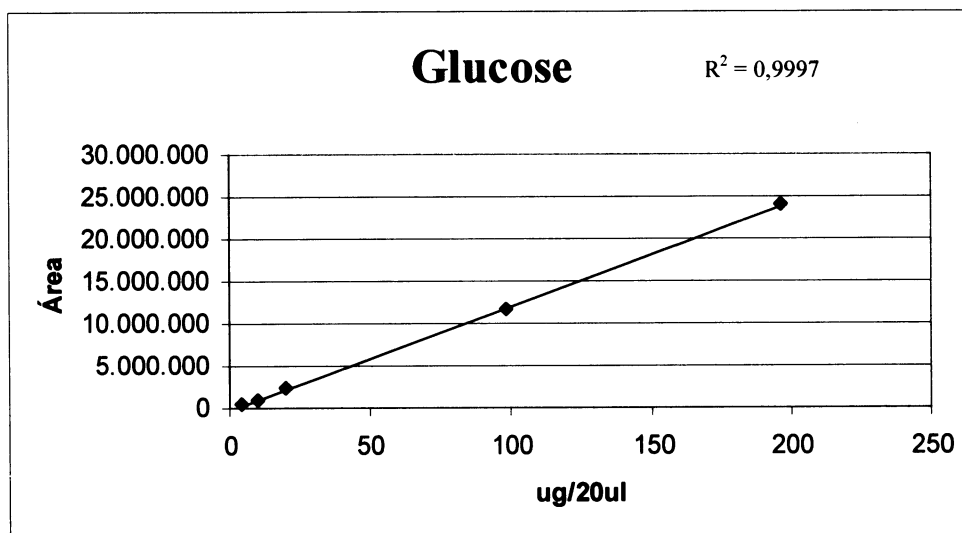
Parâmetros analisados	Dotações de Rega															
	1500 m ³ /ha				2500 m ³ /ha				3500 m ³ /ha				4500 m ³ /ha			
	RO1	RO2	RO3	RO4	RA1	RA2	RA3	RA4	RB1	RB2	RB3	RB4	RC1	RC2	RC3	RC4
Peso da planta (g)	90,9	142,1	264,8	94,6	216,5	243,0	254,6	215,5	285,8	319,8	330,6	213,5	394,1	308,7	283,5	326,7
Peso total (g)	127,7	178,2	301,1	130,7	253,1	279,4	290,8	251,7	322,3	356,1	365,6	250,0	430,7	345,1	319,8	363,4
Peso da amostra (g)	60,0	100,0	100,0	60,0	100,0	100,0	100,1	100,1	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Peso do copo do agitador (g)	1537,5	1537,5	1537,4	1537,4	1537,3	1537,4	1537,2	1536,2	1537,3	1537,0	1537,3	1537,3	1536,4	1537,1	1536,9	1537,5
Volume de água (ml)	300,0	500,0	500,0	300,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
Peso copo agitador + água + amostra (g)	1891,8	2129,2	2127,8	1892,2	2128,6	2130,5	2128,8	2129,3	2129,6	2128,3	2128,8	2129,6	2128,6	2128,4	2128,8	2129,0
Peso da água mais amostra (g)	354,3	591,7	590,4	354,8	591,3	593,1	591,6	593,1	592,3	591,3	591,5	592,3	592,2	591,3	591,9	591,5
Peso da água (g)	294,3	491,7	490,4	294,8	491,3	493,1	491,5	493,0	492,2	491,3	491,5	492,3	492,2	491,3	491,9	491,5
Peso do saco de pano (g)	16,6	13,7	11,5	17,0	16,5	18,6	13,6	13,4	13,5	11,6	13,9	9,5	11,5	13,5	9,5	17,1
Peso do saco de pano + fibra (g)	22,8	26,2	23,2	23,3	28,1	32,1	26,0	26,7	24,3	23,4	24,2	21,0	21,0	23,3	19,3	27,6
Peso da fibra (g)	6,2	12,5	11,7	6,3	11,6	13,5	12,4	13,3	10,8	11,8	10,3	11,5	9,5	9,8	9,8	10,5
Peso do sumo (g)	53,8	87,5	88,3	53,7	88,4	86,5	87,7	86,8	89,3	88,2	89,7	88,5	90,5	90,2	90,2	89,5
Peso do líquido total de extracção	348,1	579,2	578,7	348,5	579,7	579,6	579,2	579,8	581,5	579,5	581,2	580,8	582,7	581,5	582,1	581,0
Peso do copo graduado (g)	201,1	195,6	196,3	201,1	201,1	196,3	195,6	195,6	195,6	196,3	201,1	196,3	196,3	195,6	196,3	201,1
Peso do copo graduado + líquido (g)	506,3	716,0	721,2	506,0	707,1	694,0	701,2	701,3	697,4	679,9	698,7	711,8	695,6	708,8	690,7	715,8
Peso do líquido extraído (g)	305,2	520,4	524,9	304,9	506,0	497,7	505,6	505,7	501,8	483,6	497,6	515,5	499,3	513,2	494,4	514,7
Temperatura do ar °C	20,0	21,0	20,0	20,0	19,0	18,5	20,0	18,5	21,0	20,5	21,0	20,5	20,0	20,0	20,0	21,0
Temperatura do líquido °C	27,0	25,0	23,0	25,0	23,0	22,0	22,0	22,0	26,1	24,0	26,0	26,2	22,0	25,5	26,0	25,0
Densidade aferida	1,0150	1,0150	1,0130	1,0130	1,0160	1,0150	1,0140	1,0170	1,0110	1,0110	1,0100	1,0120	1,0120	1,0110	1,0100	1,0110
Densidade corrigida (fórmulas)	1,1057	1,1084	1,0918	1,0909	1,1152	1,1099	1,1003	1,1257	1,0763	1,0770	1,0685	1,0844	1,0827	1,0754	1,0683	1,0760
Densidade corrigida 2 (vindo da tabela)	1,0706	1,0723	1,0714	1,0679	1,0776	1,0793	1,0723	1,0758	1,0492	1,0492	1,0483	1,0636	1,0559	1,0559	1,0483	1,0500
°Brix (factor de correcção 0,15)	2,65	2,65	2,65	2,55	2,85	2,85	2,65	2,75	1,85	1,85	1,85	2,35	2,15	2,15	1,85	1,90
°Brix do sumo não diluído	17,15	17,54	17,37	16,55	18,69	19,10	17,50	18,37	12,05	12,16	11,99	15,42	13,84	13,86	11,94	12,33
°Brix corrigido com a temperatura	17,15	17,61	17,37	16,55	18,76	19,17	17,50	18,44	12,12	12,23	12,06	15,49	13,84	13,86	11,94	12,40
Vol. do sumo não diluído (ml) fórmulas	48,66	78,94	80,87	49,23	79,27	77,93	79,70	77,11	82,97	81,89	83,95	81,61	83,59	83,87	84,44	83,18
Vol. sumo não diluído (ml) dens. tabela	50,25	81,60	82,41	50,28	82,04	80,14	81,79	80,68	85,12	84,07	85,57	83,21	85,71	85,42	86,04	85,24
% Matéria seca insolúvel (%fibra)	10,33	12,50	11,70	10,50	11,60	13,50	12,39	13,29	10,79	11,80	10,30	11,50	9,50	9,80	9,80	10,50
% de líquido	89,67	87,50	88,30	89,50	88,40	86,50	87,61	86,71	89,21	88,20	89,70	88,50	90,50	90,20	90,20	89,50
Factor diluição de extracção em massa	6,47	6,62	6,55	6,49	6,56	6,70	6,60	6,68	6,51	6,57	6,48	6,56	6,44	6,45	6,45	6,49
Factor diluição de extracção em volume	6,82	6,99	6,93	6,84	6,96	7,13	6,98	7,07	6,76	6,82	6,73	6,90	6,72	6,73	6,70	6,74
% (p/v) do sumo	83,76	81,60	82,41	83,81	82,04	80,14	81,71	80,60	85,03	84,07	85,57	83,21	85,71	85,42	86,04	85,24

A4. Dados das injeções das soluções padrão (sacarose, glucose e frutose)

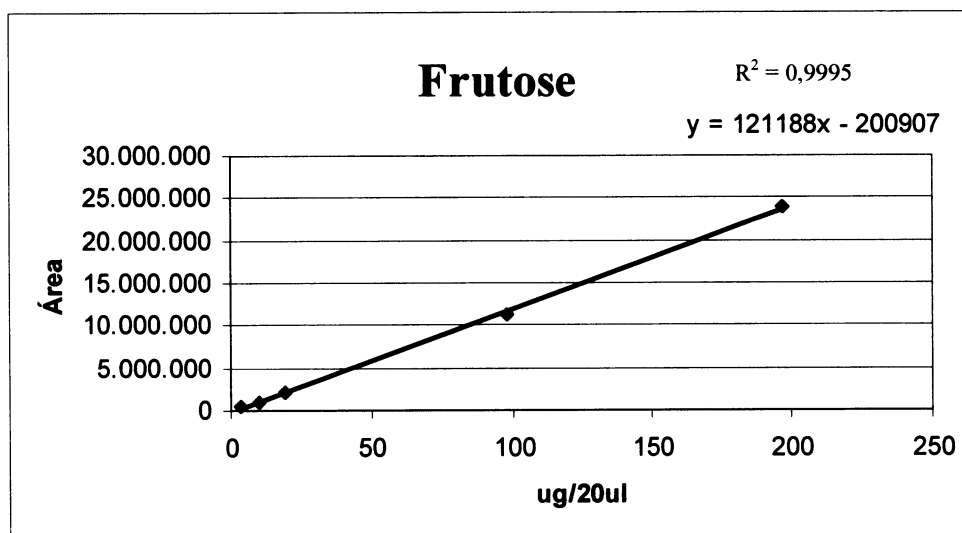
Sacarose				
Injecção 1	Injecção 2	Área (média)	µg/20µl	% SGF
457760	459795	458778	3,99	≈ 0,02
1096920	1110758	1103839	9,98	≈ 0,05
2371843	2397035	2384439	19,97	≈ 0,1
11828861	11807748	11818305	99,84	≈ 0,5
24972622	24982936	24977779	199,68	≈ 1



Glucose				
Injeção 1	Injeção 2	Área (média)	µg/20µl	% SGF
438012	437309	437661	3,94	≈ 0,02
1008117	1059061	1033589	9,84	≈ 0,05
2291818	2300786	2296302	19,68	≈ 0,1
11594616	11537841	11566229	98,40	≈ 0,5
24036935	24056456	24046696	196,80	≈ 1



Frutose				
Injeção 1	Injeção 2	Área (média)	µg/20µl	% SGF
444021	401428	422725	3,94	≈ 0,02
1024237	1056664	1040451	9,84	≈ 0,05
2188185	2191152	2189669	19,68	≈ 0,1
11328037	11339186	11333612	98,40	≈ 0,5
23867880	23808243	23838062	196,80	≈ 1



A5. Dados das injeções efectuadas

Dados Rega				
Código	Áreas	Injecção 1	Injecção 2	Média
RA 1 D (1+2)	Sacarose	13981375	14067797	14024586
	Glucose	1985732	2000592	1993162
	Frutose	1005714	1008133	1006924
RA 2 D (1+2)	Sacarose	16303163	16004669	16153916
	Glucose	1322119	1334462	1328291
	Frutose	738813	736220	737517
RA 3 D (1+2)	Sacarose	13329016	13191840	13260428
	Glucose	1988730	1960761	1974746
	Frutose	1129486	1187442	1158464
RA 4 D (1+2)	Sacarose	15368674	15506748	15437711
	Glucose	1239747	1237992	1238870
	Frutose	765786	740789	753288
RB 1	Sacarose	22217916	22348965	22283441
	Glucose	9509812	9508798	9509305
	Frutose	5262064	5289955	5276010
RB 2	Sacarose	13103426	13065627	13084527
	Glucose	8677543	8677331	8677437
	Frutose	5516968	5513636	5515302
RB 3 novo	Sacarose	20501315	20258434	20379875
	Glucose	8865432	8879978	8872705
	Frutose	5256832	5242284	5249558
RB 4 D (1+1)	Sacarose	16130033	16141138	16135586
	Glucose	4291539	4278099	4284819
	Frutose	2489422	2484421	2486922
RC 1	Sacarose	20600040	20821537	20710789
	Glucose	8146737	8223683	8185210
	Frutose	5087900	5060519	5074210
RC 2 D (1+1)	Sacarose	15625865	15253946	15439906
	Glucose	4195838	4140499	4168169
	Frutose	2412721	2416321	2414521
RC 3 D (1+1)	Sacarose	13772979	13215839	13494409
	Glucose	3862191	3729971	3796081
	Frutose	2328195	2323796	2325996
RC 4 D (1+1)	Sacarose	10144614	10148081	10146348
	Glucose	2563691	2548016	2555854
	Frutose	1887722	1882942	1885332

D – Diluição da amostra injectada

Índices 1, 2, 3 e 4 – Diferentes amostras de cada modalidade de rega

A, B e C – Diferentes modalidades de rega

A6. Cálculo da concentração de sacarose no sumo extraído e nos caules de sorgo

Sacarose						
Código de injeção	Valor da área	X= (y+179362) /124870	Valor corrigido da diluição da extracção	Valor corrigido da injeção	% (p/v) açúcar no sumo	% (p/p) no sorgo
		Valor calculado a partir da formula				
RA 1 D1+2	14024586	113,75	39,58	118,75	11,88	9,04
RA 2 D1+2	16153916	130,80	46,63	139,89	13,99	10,39
RA 3 D1+2	13260428	107,63	37,56	112,69	11,27	8,59
RA 4 D1+2	15437711	125,07	44,21	132,63	13,26	9,93
RB1	22283441	179,89	60,80	60,80	6,08	4,93
RB2	13084527	106,22	36,22	36,22	3,62	2,90
RB3 novo	20379875	164,65	55,40	55,40	5,54	4,52
RB4D (1+1)	16135586	130,66	45,08	90,15	9,02	7,05
RC 1	20710789	167,30	56,21	56,21	5,62	4,56
RC 2 D1+1	15439906	125,08	42,09	84,18	8,42	6,81
RC 3 D1+1	13494409	109,50	36,68	73,37	7,34	6,03
RC 4 D1+1	10146348	82,69	27,87	55,73	5,57	4,52

A7. Cálculo da concentração de glucose no sumo extraído e nos caules de sorgo

Glucose						
Código de injeção	Valor da área	X= (y+160706) /122268	Valor corrigido da diluição da extracção	Valor corrigido da injeção	% (p/v) açúcar no sumo	% (p/p) no sorgo
		Valor calculado a partir da formula				
RA 1 D1+2	1993162	17,62	6,13	18,39	1,84	1,400
RA 2 D1+2	1328291	12,18	4,34	13,02	1,30	0,966
RA 3 D1+2	1974746	17,47	6,10	18,29	1,83	1,395
RA 4 D1+2	1238870	11,45	4,05	12,14	1,21	0,906
RB1	9509305	79,09	26,73	26,73	2,67	2,164
RB2	8677437	72,29	24,65	24,65	2,46	1,972
RB3 novo	8872705	73,88	24,86	24,86	2,49	2,033
RB4D (1+1)	4284819	36,36	12,54	25,09	2,51	1,963
RC 1	8185210	68,26	22,94	22,94	2,29	1,859
RC 2 D1+1	4168169	35,40	11,91	23,83	2,38	1,925
RC 3 D1+1	3796081	32,36	10,84	21,68	2,17	1,782
RC 4 D1+1	2555854	22,22	7,49	14,97	1,50	1,218

A8. Cálculo da concentração de frutose no sumo extraído e nos caules de sorgo

Frutose						
Código de injeção	Valor da área	X= (y+200907) /121188	Valor corrigido da diluição da extracção	Valor corrigido da injeção	% (p/v) açúcar no sumo	% (p/p) no sorgo
		Valor calculado a partir da formula				
RA 1 D1+2	1006924	9,97	3,47	10,41	1,04	0,792
RA 2 D1+2	737517	7,74	2,76	8,28	0,83	0,620
RA 3 D1+2	1158464	11,22	3,91	11,74	1,17	0,892
RA 4 D1+2	753288	7,87	2,78	8,35	0,84	0,629
RB1	5276010	45,19	15,28	15,28	1,53	1,240
RB2	5515302	47,17	16,08	16,08	1,61	1,290
RB3 novo	5249558	44,98	15,13	15,13	1,51	1,233
RB4D (1+1)	2486922	22,18	7,65	15,30	1,53	1,197
RC 1	5074210	43,53	14,63	14,63	1,46	1,185
RC 2 D1+1	2414521	21,58	7,26	14,52	1,45	1,173
RC 3 D1+1	2325996	20,85	6,99	13,97	1,40	1,149
RC 4 D1+1	1885332	17,21	5,80	11,60	1,16	0,942



A9. Dados da produção de matéria verde em caules e rendimento em sumo

Rega	Repetição	Prod. mat. verde caules (kg/ha)	% Sumo (p/v)	Volume sumo (L/ha)
1500m³/ha	R01	20699	83,76	17337,48
	R02	20035	81,60	16348,56
	R03	20339	82,41	16761,37
	R04	24176	83,81	20261,91
2500m³/ha	RA1	44067	82,04	36152,57
	RA2	32117	80,14	25738,56
	RA3	41939	81,71	34268,36
	RA4	39035	80,60	31462,21
3500m³/ha	RB1	49656	85,03	42222,50
	RB2	48640	84,07	40891,65
	RB3	47864	85,57	40957,22
	RB4	42605	83,21	35451,62
4500m³/ha	RC1	59072	85,71	50630,61
	RC2	71029	85,42	60672,97
	RC3	58048	86,04	49944,50
	RC4	55896	85,24	47645,75

A10. Dados das produções dos diferentes açúcares

Rega	Repetição	%Sac. (p/p) no sorgo	Prod. Sac. (kg/ha)	%Gluc. (p/p) no sorgo	Prod. Gluc.(kg/ha)	%Frut. (p/p) no sorgo	Prod. Frut.(kg/ha)
2500m³/ha	RA1	9,04	3984,14	1,40	617,07	0,79	348,79
	RA2	10,39	3337,18	0,97	310,09	0,62	199,06
	RA3	8,59	3602,56	1,39	584,97	0,89	373,97
	RA4	9,93	3877,19	0,91	353,77	0,63	245,61
3500m³/ha	RB1	4,93	2447,35	2,16	1074,70	1,24	615,83
	RB2	2,90	1411,10	1,97	958,94	1,29	627,60
	RB3	4,52	2165,08	2,03	973,12	1,23	590,12
	RB4	7,05	3005,36	1,96	836,29	1,20	509,77
4500m³/ha	RC1	4,56	2694,51	1,86	1097,91	1,19	700,00
	RC2	6,81	4837,71	1,93	1367,38	1,17	833,10
	RC3	6,03	3497,97	1,78	1034,13	1,15	667,15
	RC4	4,52	2527,45	1,22	680,65	0,94	526,32

A11. Dados das produções totais de açúcar por dotação de rega

Rega	Repetição	Prod. sac. (kg/ha)	Prod. gluc. (kg/ha)	Prod. frut. (kg/ha)	Prod. total açúcares (kg/ha)	Prod. média (kg/ha)	Prod. média (t/ha)
2500m³/ha	RA1	3984,14	617,07	348,79	4950,00	4458,60	4,60
	RA2	3337,18	310,09	199,06	3846,33		
	RA3	3602,56	584,97	373,97	4561,50		
	RA4	3877,19	353,77	245,61	4476,57		
3500m³/ha	RB1	2447,35	1074,70	615,83	4137,88	3803,81	3,80
	RB2	1411,10	958,94	627,60	2997,63		
	RB3	2165,08	973,12	590,12	3728,32		
	RB4	3005,36	836,29	509,77	4351,42		
4500m³/ha	RC1	2694,51	1097,91	700,00	4492,43	5116,07	5,10
	RC2	4837,71	1367,38	833,10	7038,19		
	RC3	3497,97	1034,13	667,15	5199,24		
	RC4	2527,45	680,65	526,32	3734,41		