

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DO SISTEMA
RADICULAR DE UMA GRAMÍNEA (ARROZ - *Oriza sativa* L.) E
SUA CONTRIBUIÇÃO NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS**

ERIKA POLVERARI FARIAS

Seropédica, Rio de Janeiro

Julho/1999

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DO SISTEMA
RADICULAR DE UMA GRAMÍNEA (ARROZ - *Oriza sativa* L.) E
SUA CONTRIBUIÇÃO NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS**

Eng^a. Agrônoma ERIKA POLVERARI FARIAS

Sob a orientação do Professor

Dr. GABRIEL DE ARAÚJO SANTOS

E co-orientação do Professor

Dr. RICARDO L.L. BERBARA

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de ***Magister
Scientiae*** em Agronomia. Área de
Concentração em Ciência do Solo.

Julho/1999

TESE

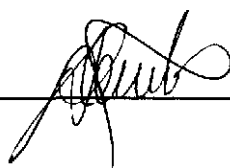
**AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DO SISTEMA
RADICULAR DE UMA GRAMÍNEA (ARROZ - *Oriza sativa* L.) E
SUA CONTRIBUIÇÃO NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS**

AUTOR

ERIKA POLVERARI FARIAS

Aprovado em 22 de julho de 1999.

Prof. Dr. Gabriel de Araújo Santos
(UFRRJ - Depto. de Solos)



Prof. Dr. Ricardo Luis Louro Berbara
(UFRRJ - Depto. de Solos)



Prof. Dr. Sylvio Romero de Carvalho
(EMBRAPA-CNPS)



Dedico este trabalho
ao meu irmão Júlio César (*in memoriam*),
por todos os momentos ao nosso lado.
E as minhas sobrinhas Priscilla e Lilian,
pela alegria de viver.

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus Pais por minha existência e criação.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela minha formação.

Ao Departamento de Solos do Instituto de Agronomia pela realização e apoio técnico.

Ao professor Gabriel de Araújo Santos, pela oportunidade concedida e crescimento profissional.

Aos amigos Marcos Gervásio e Everaldo Zonta, pelo apoio e incentivo desde o início do curso, por sua atenção e paciência sempre que solicitados.

Aos meus irmãos, aos amigos de sempre, aos colegas de turma e de trabalho no dia a dia e todos que fizeram parte em algum momento da minha vida.

A Claudinha pela amizade e carinho que se firmou ao longo do tempo.

A Liane, Sandra, Márcia e Eduardo pela amizade em todos os momentos.

A Beth e Luis Cláudio por me receberem com carinho e amizade.

A Maria de Lourdes Mendonça, pelo primeiro estágio.

A Flávia pela nova amizade e trabalho junto no aperfeiçoamento.

Ao Rodolfo pela amizade durante nossa passagem pela Holanda e ao prof. Ricardo Luis Louro Berbara pela oportunidade e confiança.

Ao secretário da pós-graduação do Departamento de Solos, Sr. Nilson Brito de Carvalho e ao “Nague” pelas resoluções, impressões, atestados, certificados e outros.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

Ao meu irmão Luiz Henrique “Wike” que sempre me ajudou em todos os momentos.

Aos professores, funcionários, e demais, que de alguma maneira colaboraram para realização desse trabalho me incentivando e acreditando.

“Por fim...a minha estada na Holanda....que acrescentou muito em minha vida...ao que trouxe comigo no coração...as minhas boas lembranças e promessa de dias cada vez melhores...”

BIOGRAFIA DO AUTOR

Erika Polverari Farias nascida à 14 de maio de 1969, na cidade de Macaé-RJ. Graduiu-se em Engenharia Agrônômica em 1994, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Foi bolsista de aperfeiçoamento pelo CNPq durante o ano de 1994 à 1996, junto ao Departamento de Solos da UFRRJ. Ingressou no Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFRRJ no ano de 1997, sendo bolsista do CNPq durante o primeiro ano. Participou do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, um convênio entre UFRRJ e Comunidade Européia, na Holanda – Wageningen Agricultural University, durante o período de setembro/1997 à outubro/1998, regressando para concluir sua tese de mestrado.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Estrutura vegetal.....	3
2.1.1 Gramíneas.....	3
2.1.2 Carbono estrutural.....	7
2.2 Matéria orgânica do solo.....	13
2.2.1 Decomposição e evolução de CO ₂	14
2.2.2 Transformação da matéria orgânica.....	18
2.2.3 Substâncias húmicas do solo	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Estudo do desenvolvimento da planta (experimento 1)	36

3.1.1 Cultivar estudada.....	36
3.1.2 Germinação e transplante	37
3.1.3 Solução nutritiva	37
3.1.4 Condições ambientais.....	38
3.1.5 Coletas	39
3.1.6 Delineamento experimental.....	39
3.1.7 Determinações.....	40
3.2 Estudo da decomposição (experimento 2).....	42
3.2.1 Determinação de carbono total no material vegetal	42
3.2.2 Determinação de nitrogênio total no material vegetal.....	42
3.2.3 Determinação de lignina no material vegetal	43
3.2.4 Características do solo.....	43
3.2.5 Material orgânico	44
3.2.6 Tratamentos e sistema de incubação	44
3.2.7 Análises químicas.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Experimento 1 (Estudo da planta)	49

4.1.1 Massa seca da parte aérea e raízes	49
4.1.2 Dosagem de carbono em solução nutritiva	52
4.2 Experimento 2 (Estudo da decomposição)	55
4.2.1 Teores de C, N e relação C/N	55
4.2.2 Teores de carbono estrutural.....	60
4.2.3 Evolução de CO ₂	62
4.2.4 Fracionamento da matéria orgânica	68
4.3. Considerações finais	73
5. CONCLUSÕES	76
6. LITERATURA CITADA	78
7. ANEXOS.....	95
7.1. Anexo 1	96
7.2. Anexo 2	97
7.3. Anexo 3	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1. Valores médios de massa seca da parte aérea e raiz da cultivar de arroz IAC 4440 em coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).....	50
Tabela 4.2. Valores médios de carbono na parte aérea e na raiz da cultivar de arroz IAC 4440 determinados em coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).....	56
Tabela 4.3. Teores de N total na parte aérea e na raiz da cultivar de arroz IAC 4440 determinados em coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).....	57
Tabela 4.4. Relação C/N na parte aérea e na raiz da cultivar de arroz IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estrutura química da celulose (Swift et al., 1979).....	8
Figura 2.2. Estrutura química da lignina (Swift et al., 1979).....	11
Figura 2.3. Esquema geral da evolução da matéria orgânica nos solos. H.R.: Humina residual; H.I.: humina de insolubilização; H.M.: humina de neo-síntese microbiana (adaptado de Santos, 1984).....	23
Figura 2.4. Esquema geral da evolução da matéria orgânica fresca (adaptado de Santos, 1984).....	24
Figura 4.1. Massa seca da parte aérea e raiz em função das épocas de coleta. DAP (dias após plantio).....	51
Figura 4.2. Valores médios das diferentes frações de carbono na solução nutritiva em função do peso da massa seca de raiz para as coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).....	52

- Figura 4.3. Valores médios dos teores de lignina para parte aérea e raiz da cultivar de arroz IAC 4440 determinados em coletas aos 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP)..... 61
- Figura 4.4. Evolução diária de CO₂ de amostras do horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após adição de parte aérea obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP) da cultivar de arroz IAC 4440, de glicose e do solo sem incorporação de matéria orgânica (testemunha)..... 63
- Figura 4.5. Evolução diária de CO₂ de amostras do horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após adição de raízes obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP) da cultivar de arroz IAC 4440, de glicose e do solo sem incorporação de matéria orgânica (testemunha)..... 64
- Figura 4.6. Variação dos teores médios da fração ácidos fúlvicos livres em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha)..... 69
- Figura 4.7. Variação dos teores médios da fração ácidos fúlvicos em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha)..... 70

- Figura 4.8. Variação dos teores médios da fração ácidos húmicos em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha)..... 71
- Figura 4.9. Variação dos teores médios da fração humina em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha)..... 72

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de estudar o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de uma espécie de gramínea, e observar os efeitos promovidos pela incorporação destes materiais em vários estágios de desenvolvimento, no processo de formação de substâncias húmicas do solo. Utilizou-se uma cultivar de arroz (IAC 4440), acompanhando-se o crescimento e diferenciação da parte aérea e do sistema radicular durante todo o processo de desenvolvimento da planta. O experimento foi realizado em casa de vegetação, com o delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 repetições. Foram feitas coletas a cada 20 dias, onde parte aérea e raízes eram separadas para análises de C, N e lignina, aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 DAP. Em cada data de coleta foram realizadas a troca da solução nutritiva. Em alíquotas de solução eram feitas as determinações de carbono orgânico,

com o objetivo de se quantificar a liberação de exsudatos e tecidos mortos. A liberação de carbono para solução acompanhou o crescimento vegetativo da planta. Na coleta aos 60 dias após o plantio, foram determinados os maiores acréscimos de carbono na solução. Posteriormente, foram comparadas as velocidades de decomposição da parte aérea e do sistema radicular, através de curvas de respiração do solo por 64 dias. Para este estudo foram utilizadas amostras do horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), onde incubou-se as diferentes partes da planta para cada época de coleta. As maiores diferenças na evolução de CO_2 ocorreram no período dos 10 primeiros dias. Ao final de incubação foi feita a extração e fracionamento da matéria orgânica. As maiores variações foram observadas nos tratamentos com raiz e parte aérea, para as frações ácidos fúlvicos livres e ácidos fúlvicos, quando comparadas com a testemunha (sem adição de matéria orgânica) e glicose. As frações ácidos húmicos sofreram as menores variações, enquanto as huminas apresentam um comportamento de formação dependente dos teores de lignina.

SUMMARY

The aim of this study was to investigate the development of root system and aerial shoot of a grass, and observed the effects provides for the incorporation of this materials at different developmental stages, in the process of formation of humic substances. It was used a rice cultivar (IAC 4440), and the variation of the main organic fractions during the plant development was monitored. The experiment was realized in a greenhouse, using a completely randomized design with four replications. The samples was done each 20 days. Shoot and roots were sampled for C, N and lignin analyses at 40, 60, 80, 100, 120 and 140 development days. In each sample, an exchange of nutritive solution was made. From this solution it was done the total carbon determination, in order to quantify the exsudates and dead tissue liberation into nutritive solution. The liberation of C to the solution correlated

with the vegetative growth of the plant. In samples at the 60 days after the sowing, it was found the highest increment of C at the system. Subsequently, it was compared the decomposition rate of shoot and root system, through soil respiration curves about 64 days. For this study it was used samples from horizon Ap of Yellow Red Latosol, incubating the different parts of the plant for each time of sampling. The greatest differences in CO₂ evolution occurred after the 10 first days. At the end of this period the extraction of humic fractions was done. The major differences were observed in the shoot and root samples for fulvic free acids and fulvic acids, when compared with the control (without addition of organic matter) and glucose. The humic acid fractions had the smallest variations while humin fractions synthesis was dependent of lignin levels.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica é considerada como fonte de maior potencialidade para incorporação e manutenção de nutrientes ao solo, e o meio mais viável na recuperação de solos degradados. Muitos dos processos pelos quais a matéria orgânica se transforma e é incorporada ao solo, ainda são em parte desconhecidos, principalmente nas regiões tropicais que sob condições naturais recebem grande aporte de resíduos (Mendonza, 1996). Por outro lado, o clima tropical por apresentar altas temperaturas e abundância de chuvas, propicia elevada atividade microbiana, favorecendo a decomposição intensa dos resíduos orgânicos adicionados ao solo.

As maiores entradas de matéria orgânica ocorre via planta, pela incorporação de materiais provenientes da parte aérea e do sistema radicular. A quantificação e os processos de decomposição dos aportes foliares estão

bem estabelecidos, entretanto pouca importância tem sido dada aos aportes e processos promovidos pelos sistemas radiculares.

Dentre as famílias vegetais, as gramíneas acrescentam grande quantidade de matéria orgânica ao solo, devido em parte, a sua alta produtividade (Odum, 1986). A contribuição do sistema radicular nos processos de entrada e incorporação de matéria orgânica em solos de regiões tropicais, pode representar uma das principais vias na reestruturação e recuperação de áreas degradadas. O possível manejo de espécies vegetais que ajudem no enriquecimento do solo, através da formação de húmus de boa qualidade e do acréscimo de nutrientes, pode ser facilitado com a utilização de espécies nativas nas áreas impactadas. A utilização de gramíneas, pode a médio prazo restabelecer o equilíbrio natural do ecossistema, já que esta vegetação apresenta uma distribuição dominante e natural nos trópicos.

O objetivo deste trabalho foi de estudar o desenvolvimento qualitativo e quantitativo do sistema radicular de uma espécie de gramínea anual (arroz - *Oryza sativa* L.), em vários estágios de desenvolvimento da planta avaliando também sua contribuição no processo de formação de substâncias húmicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estrutura vegetal

2.1.1 Gramíneas

As gramíneas estão incluídas na Ordem Graminales, Família Gramineae, segundo sistema de Engler (1964). Sendo uma das maiores famílias da divisão Angiospermae, sua importância tornou-se objeto de estudo em vários ramos da botânica. Esta família pode ser considerada a de maior importância econômica para o homem, apresentando várias utilizações, tais como: pastagem e forragem para o gado (*Pennisetum*, *Panicum*, *Brachiaria*, etc.), cultivo de grãos (*Zea* – milho, *Triticum* – trigo, *Hordeum* – cevada, *Secale* – centeio, *Avena* – aveia, *Oryza* – arroz, etc.), fins paisagísticos, entre outros.

Devido à sua característica, de poder ser cultivado tanto em ambientes secos como em áreas alagadas, o arroz dentre as gramíneas é a planta melhor adaptada ao crescimento em solução nutritiva. A capacidade de sobreviver em ambientes alagados se deve a presença de uma especialização do tecido parenquimático, onde ocorre um desenvolvimento de espaços intercelulares (aerênquima) muitos amplos (Esau, 1976). O aerênquima localizado no córtex da raiz, garante a planta de arroz condições aeróbicas suficientes para manutenção de suas atividades. Esta característica propicia uma vantagem no crescimento do arroz em solução nutritiva, quando comparado a outras espécies, por não haver necessidade de oxigenar o meio de cultura, já que os espaços intercelulares agem como um canal de passagem de ar das folhas e colmo para as raízes.

Uma questão discutível é se o comportamento de raízes de cultivares submetidas ao crescimento em solução nutritiva difere das cultivares desenvolvidas em condições de campo. Comparações realizadas entre arroz de sequeiro e arroz irrigado não apresentaram diferenças morfológicas marcantes, porém foram observadas variações no desenvolvimento e na produtividade de ambos (Fageria, 1984). Possíveis diferenças devem ser

consideradas ao extrapolar resultados obtidos em solução nutritiva com as condições de campo.

As raízes de gramíneas podem estar envolvidas direta ou indiretamente no processo de estabilização dos agregados do solo. Diretamente, formam um emaranhado que desempenha um importante papel do ponto de vista físico, pois aproximam e estabilizam os agregados do solo, especialmente os macroagregados com tamanho maior do que 250 μm . Indiretamente, tanto pela exsudação quanto pela decomposição, fornecem materiais para a manutenção da estrutura do solo (Mc Vay et al., 1989; Perfect et al., 1990; Alvarenga et al., 1995). Além desses fatos, os canais deixados após a decomposição das raízes podem facilitar o crescimento das culturas subsequentes.

Atualmente o território brasileiro se encontra dominado por pastagens em sua maioria degradadas. Com o avanço da degradação e a diminuição de áreas disponíveis para pastagens, a atenção se voltou para a recuperação e manejo de antigos pastos.

A ocupação desregrada de áreas de pastagens, aliada a implantação de técnicas impróprias às condições do solo utilizado, tem levado a uma rápida degradação. A pobreza dos nutrientes acentua-se com processos de perda de

matéria orgânica do solo. A utilização de queimadas promove uma rápida mineralização da vegetação antiga do pasto, com liberação de nutrientes (Smyth & Bastos, 1984) favorecendo a rebrotação (Rizzini, 1976). Porém o uso excessivo leva à perda de matéria orgânica do solo, provocando a lixiviação de nutrientes e deixando o solo desprotegido, o que favorece a erosão.

Em ecossistemas herbáceos, como o cerrado e as pradarias, com vegetação predominante de gramíneas onde a massa subterrânea é muitas vezes maior que a da aérea, a importância das raízes como incorporadoras de matéria orgânica de solo parece ser superior a do extrato foliar. Entretanto pouco se conhece sobre o papel desempenhado pelo sistema radicular nas entradas de matéria orgânica ao solo. A pequena atenção dispensada a este sistema provavelmente se deve às dificuldades na amostragem e determinação da quantidade de raízes enterradas no solo. Pressupõem-se que uma grande quantidade de tecido radicular produzido pelo vegetal torna-se disponível a decomposição em pouco tempo devido ao fato de muitas raízes tenderem a perder a epiderme e o córtex em solos quentes, chegando a uma perda de até metade do peso seco por ano (Mason, 1980).

2.1.2 Carbono estrutural

O desenvolvimento de estruturas vegetais pode ser avaliado quanto a qualidade das substâncias estruturais presentes em seus tecidos. Os tecidos vegetais jovens, em fase de crescimento, apresentam uma parede celular fina mal estruturada, onde as moléculas de celulose se misturam com uma matriz polissacarídica constituída principalmente de hemicelulose e pectina, denominada parede celular primária. Vários tecidos apresentam células com crescimento primário, por exemplo a epiderme, o parênquima e o colênquima. Os tecidos com células de crescimento secundário, como o esclerênquima e os tecidos vasculares, possuem paredes espessas e rígidas com uma estrutura de arranjo tridimensional formada por celulose associada a hemicelulose e lignina (Darvill et al., 1980).

O principal componente da parede celular é a celulose, esta substância é formada por unidades monoméricas lineares de glucose, dispostas em ligações covalentes β - 1,4 (Figura 2.1) que provêm força mecânica à parede. Estas unidades monoméricas se unem entre si por meio de pontes de hidrogênio para formar microfibrilas que formam um retículo irregular ao eixo maior da célula (Swift et al., 1979).

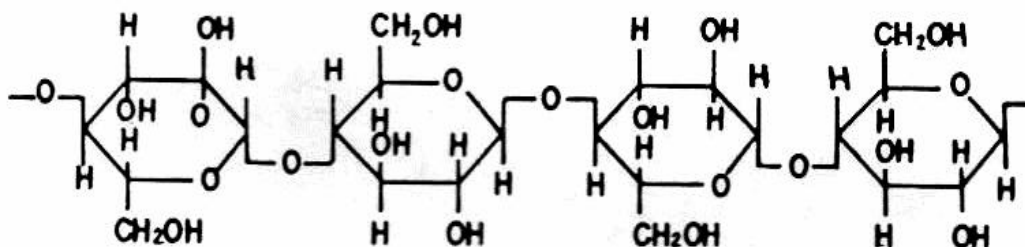


Figura 2.1. Estrutura química da celulose (Swift et al., 1979).

A celulose é a principal componente estrutural das plantas, conferindo-lhes rigidez e forma (Morrison & Boyd, 1983). É o composto orgânico de maior expressão na composição da madeira e fibras vegetais, sendo o polissacarídeo mais difundido na planta. O teor de celulose nos tecidos vegetais é extremamente variável: atinge 90% nas fibras do algodão; 60% na madeira das coníferas, 30 a 40% na palha dos cereais. Seu conteúdo varia com a idade e o tipo do vegetal, sendo maior em plantas lenhosas, na palha e nas folhas. Enquanto na grama jovem pode constituir apenas 15% do peso seco, em materiais lenhosos pode atingir a 50%. Para a maioria das plantas cultivadas sua concentração varia de 15 a 40%, sendo o extremo inferior típico das plantas mais jovens (Alexander, 1977).

Algumas características da parede celular, como: resistência a tração, elasticidade e plasticidade, dependem em parte da quantidade de celulose na parede celular (Bonner & Galston, 1973). Entre as características notáveis da celulose citam-se o seu elevado grau de resistência aos ácidos diluídos e a sua insolubilidade na água e nos solventes orgânicos (Kramer & Kozlowski, 1960). Estas propriedades devem-se, em parte, a elevada massa molecular que apresentam (Morrison & Boyd, 1983).

As hemiceluloses são polissacarídeos formados por heteropolímeros altamente ramificados. Alguns desses polissacarídeos servem como reserva de energia e outros como o xiloglucan, arabinogalactan e rhamnogalacturonam formam a estrutura da parede celular dos vegetais (Cerri et al., 1992).

As estruturas das hemiceluloses são como a celulose, porém são formadas por outras moléculas de açúcares (Cutter, 1986). Ao contrário da celulose, as hemiceluloses são solúveis em ácidos diluídos e álcalis; por vezes são digeridas e utilizadas pelas plantas como alimentos de reserva. Podem estar presentes em algumas sementes, onde são digeridas e utilizadas durante a germinação (Kramer & Kozlowski, 1960).

A lignina, dada a sua grande ocorrência na natureza, despertou grande interesse pelo conhecimento de sua biossíntese e biodegradação (Sarkanen & Ludwig, 1971; Young & Frozen, 1987; Berg & McClaugherty, 1988; Fox et al., 1990; Palm & Sanchez, 1991; Lewis & Yamamoto, 1990; Abreu, 1994 e Whetten & Sederoff, 1995).

A lignina incorporada a parede durante o espessamento secundário, é depositada inicialmente na lamela média e finalmente permeia as paredes secundárias, entremeando-se aos carboidratos, de modo a aumentar consideravelmente a rigidez da estrutura. Sua forma química é complexa e não é completamente entendida. Parece consistir principalmente de fenilpropano, com anel de benzeno carregando um grupo hidroxila e um ou dois grupos metoxílicos (Figura 2.2). Os grupamentos fenólicos apresentam ligações por éter e ligações C-C, que são altamente resistentes a degradação química.

Os vegetais jovens apresentam um grande número de células com paredes primárias, à medida que amadurecem podem permanecer com esta parede, diminuindo sua espessura consideravelmente, e depositam mais substâncias formando camadas com um arranjo e composição diferenciados, principalmente pela presença de moléculas de lignina, formando a parede secundária. O desenvolvimento de um vegetal se relaciona à maturação dos

tecidos de modo a aumentar a rigidez. Tecidos antigos apresentam-se mais rígidos e consequentemente com uma elevada quantidade de carboidratos estruturais em comparação aos tecidos jovens (Iwaasa et al., 1996).

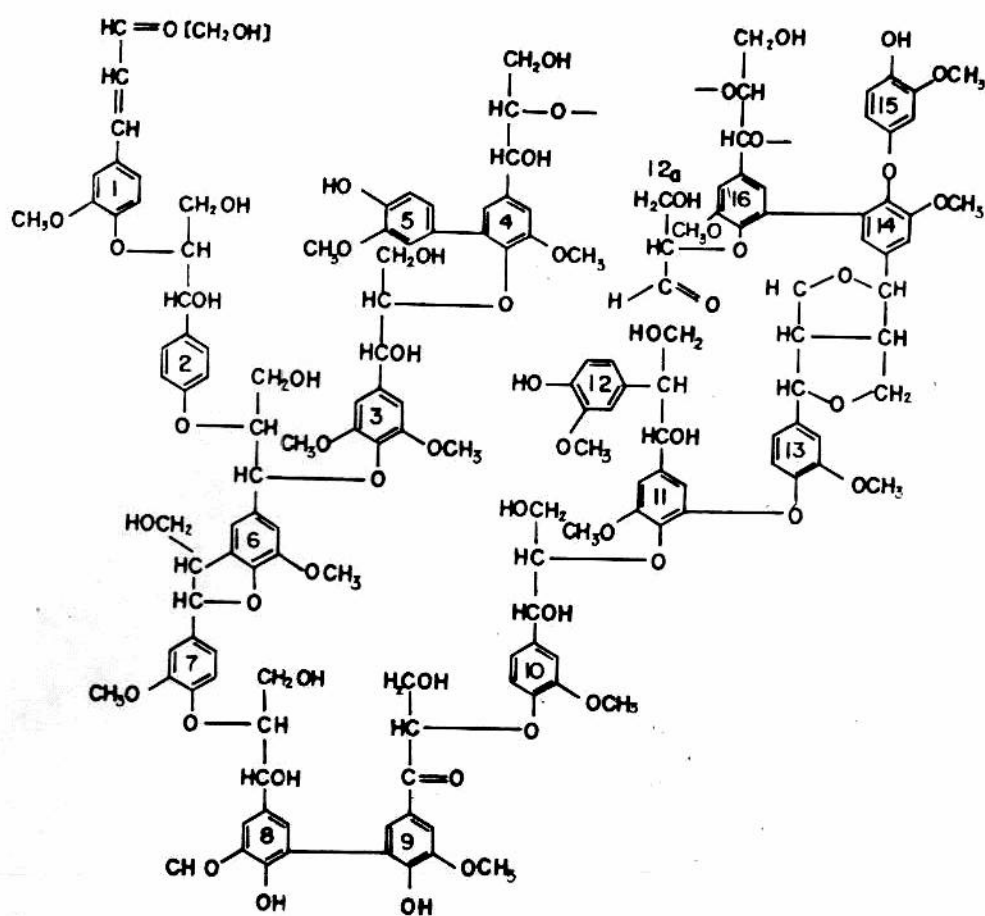


Figura 2.2. Estrutura química da lignina (Swift et al., 1979).

Para um estudo sobre o processo de maturação de uma estrutura vegetal, como no caso de obter dados sobre o desenvolvimento do sistema radicular de arroz comparados a parte aérea, o acompanhamento da quantidade de carboidratos estruturais presentes nas raízes e parte aérea ao longo do tempo fornece informações acerca dos graus de crescimento destas estruturas nas várias etapas do ciclo.

A constituição química dos vegetais tem acentuada importância no consumo dos mesmos por animais. A presença de lignina parece estar relacionada a palatabilidade dos vegetais (Van Soest, 1989).

Análises da concentração de celulose, hemicelulose e lignina na parede celular de diferentes gramíneas forrageiras, mostraram que há um aumento na concentração de lignina, com o decorrer do tempo, enquanto, os teores de celulose não apresentam mudanças significativas e os de hemicelulose em geral diminuem. Em média estas plantas apresentaram uma maior quantidade de lignina nas inflorescências, seguidas por hastes da base, hastes do topo, folha da base e folhas da ponta (Buxton, 1990). Frequentemente o que tem sido observado é um aumento no conteúdo de lignina e hemicelulose com a maturação da planta, enquanto a concentração de celulose varia (Iwaasa et al., 1996).

2.2 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica é constituída por resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição, até a forma de húmus; produto da degradação e síntese bioquímica desses resíduos, e por rizodepósitos; substâncias liberadas pelas raízes das plantas vivas. Na formação destes constituintes, em cada um deles, atuam dois processos principais: a mineralização e a humificação (Santos, 1984).

O húmus, pode ser definido como um conjunto de produtos orgânicos estáveis, resultantes do processo de transformação dos compostos vegetais e animais que se integram ao solo. Sua existência é inerente a todos os solos, porém sua qualidade e quantidade dependem dos fatores edafogênicos; sua existência influi fortemente na fertilidade e nos processos de formação dos solos (Sastriques, 1982).

A matéria orgânica do solo influencia no crescimento vegetal através de seus efeitos físicos, químicos e biológicos nas propriedades do solo. Fisicamente, a matéria orgânica promove boa estruturação do solo, pela maior formação de agregados, aumento da aeração, movimento e retenção de umidade. Sua função química se manifesta pela habilidade de interagir com

metais, óxidos, hidróxidos e minerais argilosos para formar complexos metais-orgânicos; agindo como trocador de íons e estocador de N, P e S. Apresenta função biológica fornecendo carbono que serve como fonte de energia para microrganismos, aumento do crescimento vegetal, iniciação radicular, absorção de nutrientes, síntese de clorofila e germinação de sementes. A matéria orgânica do solo também estimula vários processos fisiológicos e bioquímicos, associados com o metabolismo celular e atenua a toxicidade de metais pesados e tóxicos orgânicos (Schnitzer, 1991).

2.2.1 Decomposição e evolução de CO₂

O processo de decomposição de resíduos orgânicos está diretamente relacionado com a população microbiana do solo. A biomassa microbiana é vital para a manutenção dos ecossistemas, armazenando energia e funcionando como reservatório lábil de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e enxofre (Anderson & Domsch, 1980; Marumoto et al., 1982). A dinâmica da biomassa do solo caracteriza-se por fases específicas quando encontra disponível material energético para o desenvolvimento de suas atividades.

No processo de mineralização ocorre intensa liberação de CO₂, produto final do metabolismo microbiano quando estes utilizam resíduos vegetais como fonte energética. Diferentes autores utilizam a taxa de liberação de CO₂ como índice da atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica nativa ou adicionada ao solo (Bingeman et al., 1953; Edwards, 1982; Santos, 1984; Coody et al., 1986; Demetrio, 1988; Alvarez & Santanatoglia, 1989).

Quando adicionados ao solo, restos vegetais são inicialmente colonizados por bactérias que consomem primeiramente os compostos de fácil assimilação (mono e dissacarídeos, proteínas, amido, etc.) (Sastriques, 1982). Conjuntamente às bactérias, aparecem leveduras e fungos não filamentosos. Na medida que exaurem-se os compostos de fácil decomposição, este tipo de microflora reduz sua atividade dando lugar ao aparecimento de grupos celulolíticos e outros capazes de utilizar compostos mais resistentes. Ao final das primeiras semanas de incorporação, actinomicetos proliferam em quantidades apreciáveis, atacando compostos mais estáveis e em alguns casos, nutrindo-se de compostos húmicos. Estes microorganismos dominarão a microflora nos meses subsequentes de decomposição dos restos vegetais (Swift et al., 1979).

Jacquin et al. (1980) e Santos (1984) descreveram dois tipos de mineralização, a primária e a secundária. A mineralização primária consiste no processo onde materiais orgânicos adicionados são decompostos em moléculas simples, sendo caracterizada por uma intensa atividade microbiana; enquanto a mineralização secundária é o processo de decomposição da matéria orgânica de neoformação, composta por substâncias húmicas de baixo peso molecular e pela biomassa morta do solo.

A matéria orgânica nativa do solo também é passível ao ataque microbiano. Cerri et al. (1982) observaram que a testemunha (solo sem adição de matéria orgânica) liberou 3% do carbono total na forma de CO_2 . Os autores acreditam que esta liberação ocorre devido ao processo de preparo das amostras. A oxigenação e a adição de água estimula a biomassa microbiana do solo, que passa à decompor a matéria orgânica nativa.

As estimativas das quantidades de biomassa microbiana apresentam um espectro muito amplo, condizente com a diversidade de condições ambientais e experimentais em que os estudos são conduzidos, sendo evidente a escassez de resultados em solos tropicais.

O tipo de material orgânico adicionado e o modo de exploração agrícola do solo proporcionam diferenças quantitativas e qualitativas na população e atividade microbiana do solo (Nuernberg et al., 1984).

Cerri et al. (1982) observaram que, após 67 dias de incubação, as amostras de solo em que se adicionou material vegetal liberaram mais carbono nativo que a testemunha e que 25% do carbono incorporado foi mineralizado. A biomassa microbiana dobrou com a adição de folhas de cana-de-açúcar sendo formada mais às custas do material vegetal incorporado do que da matéria orgânica nativa do solo.

Os microrganismos têm um comportamento diferenciado na utilização dos diversos compostos orgânicos. Nannipieri et al. (1977) adicionando glicose à amostras de solo, que receberam diferentes doses de nitrogênio e fósforo mineral, observaram que o pico máximo de evolução de CO₂ ocorreu nas primeiras 24 horas de incubação, enquanto Gupta & Tripath (1986) verificaram uma maior taxa de liberação de CO₂ na segunda semana, tanto no controle como nos solos tratados com esterco de vaca e de galinha.

Em geral, o pico de liberação de CO₂ caracterizando a intensa decomposição dos materiais orgânicos, ocorre nas primeiras semanas após a incorporação (Oliveira, 1990).

O manejo das culturas e, portanto, da matéria orgânica do solo, é um dos fatores fundamentais para a manutenção de uma microbiota numerosa e ativa. Sistemas como o cultivo mínimo e plantio direto resultam num acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo e, assim, promovem um incremento nas populações de fungos e bactérias; como observado por Gaur & Mukherjee (1980) após a adição de 10 t/ha de resteva de trigo em superfície. Da mesma forma, estudos em solos da Austrália realizados por Saffigna et al. (1989) mostram que a manutenção de resíduos sobre o solo, além de promover um aumento da microbiota do solo, podem resultar em aumentos do P microbiano.

No sentido de se avaliarem os efeitos dos distúrbios na qualidade dos solos, vem aumentando o interesse pelo desenvolvimento de bioindicadores facilmente mensuráveis e sensíveis a esses distúrbios.

2.2.2 Transformação da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e

aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, lignina e outros. Estas macromoléculas constituem nos solos minerais, aproximadamente, 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico. O segundo grupo é o principal componente da matéria orgânica do solo, que é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, que constituem nos solos minerais de 85 à 90% da reserva total do carbono orgânico (Kononova, 1982).

A dinâmica da matéria orgânica no solo é governada, em parte, pela adição de resíduos orgânicos de diversas origens, os mesmos que são continuamente transformados por agentes físicos, químicos e principalmente biológicos.

Através da formação de complexos solúveis em água, os materiais húmicos podem dissolver, mobilizar e transportar metais e materiais orgânicos no solo e nos ambientes aquáticos, enquanto que a formação de complexos insolúveis podem promover acúmulo em certos horizontes e sedimentos do solo. A adsorção em argilas seja na superfície ou intercamadas estabiliza o material húmico e os protege contra decomposição química ou biológica por um longo período de tempo. Assim, a formação de complexos metal-húmicos ou metal-fúlvicos é importante na gênese do solo, para a formação de uma boa

estrutura de solo e para a disponibilidade de nutrientes, especialmente aqueles em microconcentrações (Schnitzer, 1991).

Segundo Jacquin (apud Santos, 1986) a evolução da matéria orgânica do solo compreende as transformações ocorridas desde a adição da matéria orgânica fresca até a formação das frações orgânicas mais estáveis. Tal processo se dá em duas fases: a decomposição ou biodegradação, que é um processo de “desorganização”, também chamado de mineralização, a humificação, que envolve a construção de moléculas complexas. Ocorre também, simultânea e paralelamente, um processo de perda do material orgânico preexistente no solo, em forma de moléculas simples, denominado de mineralização secundária.

O processo primário de decomposição dos resíduos orgânicos é atribuído à fauna edáfica. Tais organismos, classificados com base em aspectos e hábitos alimentares (saprófagos, fitófagos, predadores), promovem o fracionamento ou quebra “mecânica” dos materiais em até 200 vezes, tornando-os mais suscetíveis ao ataque microbiano ao liberar o conteúdo celular. O que acelera as transformações químicas que resultam das enzimas microbianas, que decompõem os resíduos orgânicos e originam novos compostos (Oliveira, 1990).

O aporte de resíduos ao solo mais comum, ocorre na forma de matéria vegetal fresca cuja constituição em celulose, lignina, proteínas, lipídios, pigmentos e outros compostos solúveis, determinará uma maior ou menor velocidade de degradação, dependendo diretamente das condições ambientais em que se processa (Abramo Filho & Kijan, 1995).

A celulose e a lignina, componentes insolúveis da matéria orgânica fresca, e compostos solúveis dos tecidos vegetais, como glicídeos, aminoácidos, etc., podem se transformar inteiramente pela ação microbiana até chegar a seus constituintes básicos e moléculas inorgânicas simples como CO_2 , NO_3^- , NH_4^+ e H_2O (em meio aeróbico) ou CH_4 e H_2 em condições de aeração deficiente (Cardoso, 1992). Tais moléculas podem ser exportadas do meio: dissipadas na atmosfera, lixiviadas, absorvidas pelas plantas, ou metabolizadas pelos microrganismos. Em condições de boa drenagem e temperatura elevada, pode haver uma perda de 70 a 90% da matéria orgânica fresca pelo fenômeno denominado de mineralização primária, num período de um a dois anos (Guerra & Santos, 1990).

Por outro lado, as substâncias pouco transformadas (Figura 2.3), que permanecem no solo após a mineralização, fornecem compostos fenólicos solúveis que podem sofrer transformações até serem estabilizados na forma de

substâncias húmicas, pelo processo da humificação. A mesma que pode se desenvolver a partir de 3 vias principais: a via da insolubilização, a via da herança e a via de neossíntese microbiana (Figura 2.4) (Jacquin, apud Santos, 1986). Segundo esse autor, a via da insolubilização é a mais importante de todas as vias da humificação e envolve um complexo processo químico que recebe o nome de “policondensação”, devido a formação de moléculas orgânicas pela condensação de núcleos aromáticos, ligados entre si por pontes de oxigênio e nitrogênio. Os compostos assim formados constam de um núcleo rodeado por longas cadeias alifáticas laterais. Com a evolução do processo e o aumento do tamanho do núcleo, aliado à redução proporcional das cadeias, formam-se compostos cada vez mais estáveis e insolúveis, ocorrendo também uma diminuição da presença de nitrogênio heterocíclico do núcleo. Na fase de humificação ocorre a síntese de novos compostos como resultados da soma de processos, que dependendo do ambiente edafoclimático podem promover a formação de diferentes tipos de húmus (Sastriques, 1982).

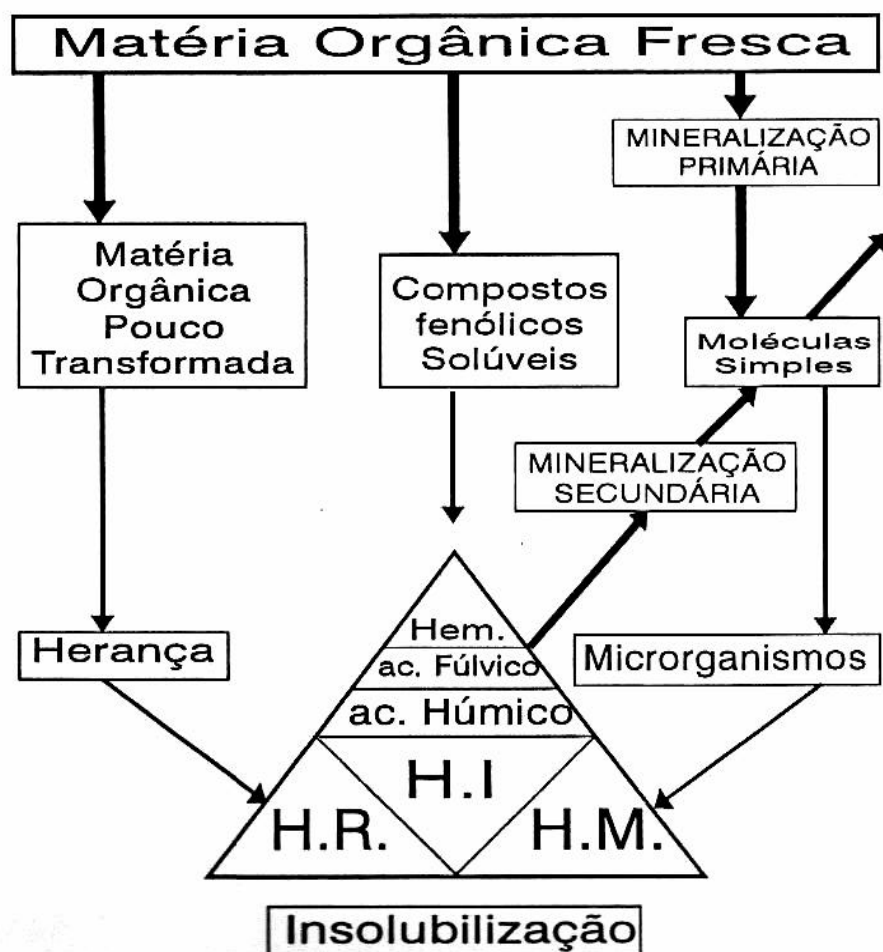


Figura 2.3. Esquema geral da evolução da matéria orgânica nos solos. H.R.: Humina residual; H.I.: humina de insolubilização; H.M.: humina de neo-síntese microbiana (adaptado de Santos, 1984).

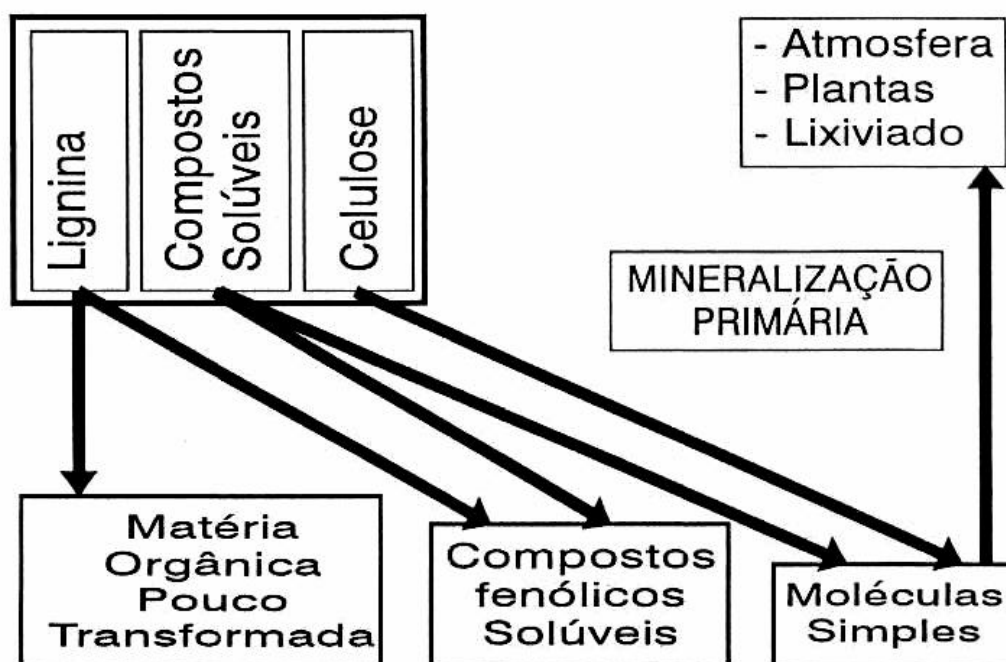


Figura 2.4. Esquema geral da evolução da matéria orgânica fresca (adaptado de Santos, 1984).

Os processos bioquímicos envolvidos na formação do húmus ainda não são bem entendidos. Existe contudo, um certo consenso em relação aos quatro estágios de desenvolvimento na transformação da biomassa vegetal em húmus: (1) decomposição dos componentes da biomassa, inclusive lignina, em compostos orgânicos simples, (2) metabolismo microbiano dos compostos

orgânicos simples, (3) ciclagem entre a matéria orgânica do solo e a biomassa vegetal verde, (4) polimerização, mediada biologicamente, dos compostos orgânicos reciclados (Sposito, 1989).

São esses constituintes básicos, que de acordo com sua distribuição percentual, grau de maturidade, natureza dos tecidos incorporados, fatores edafo-climáticos, irão controlar a velocidade de conversão dos resíduos em substâncias húmicas do solo (Abramo Filho & Kijan apud Mendoza, 1996). Fazem parte destas substâncias, os ácidos fúlvicos, os ácidos húmicos e as huminas (Stevenson, 1982).

A policondensação, quando processada em condições ambientais favoráveis, resulta na formação seqüencial das seguintes frações: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos castanhos, ácidos húmicos cinzentos e a humina de insolubilização. Esta seqüência de formação de compostos fenólicos é a denominada via de insolubilização, que leva a síntese de produtos cada vez mais estáveis e insolúveis, sendo a mais importante das vias de humificação (Santos, 1986).

Tecidos muito lignificados, podem dar origem à denominada “matéria orgânica pouco transformada” que tem sua oxidação bloqueada por condições bioquímicas desfavoráveis. Na maioria dos casos vem a constituir, pela via da

herança, a “humina residual ou hereditária”, que representa uma fração importante do húmus de ambientes inadequados ao desenvolvimento microbiano, como o dos solos hidromórficos. Assim, a via da herança seria predominante na evolução da matéria orgânica de alguns solos orgânicos (Conceição, 1989).

Da mesma forma que ocorre a mineralização da matéria orgânica fresca pode ocorrer a mineralização dos compostos húmicos formados na “via da insolubilização”. Tal fenômeno é denominado como “mineralização secundária” e afeta principalmente as frações “ácidos fúlvicos” e “ácidos húmicos castanhos”. Isto se deve ao fato destas substâncias apresentarem um menor grau de condensação e estarem fracamente ligadas à fase mineral, além de possuírem o nitrogênio sob a forma alifática, o que o torna facilmente disponível para os microrganismos. Tais agentes podem dar início à via da neossíntese microbiana, que resulta na formação de humina, a partir da ligação de polissacarídeos com o material mineral do solo (Jacquin, apud Santos, 1986).

2.2.3 Substâncias húmicas do solo

Segundo Stevenson (1982), as substâncias húmicas são constituídas por uma série de compostos de coloração castanha ou escura, de elevado peso molecular, que são separados com base em suas características de solubilidade e classificadas em: *humina* - fração insolúvel em álcali -, *ácidos húmicos* - fração de cor escura, extraída geralmente em meio alcalino (NaOH e $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) e insolúvel em ácido diluído-, *ácidos fúlvicos* - material colorido (amarelado), alcalino-solúvel que permanece em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação.

De acordo com Coleman et al. (1989), uma ampla variedade de técnicas químicas são utilizadas para a caracterização da matéria orgânica do solo. Estas incluem tantos métodos para determinação de carboidratos, e lipídeos, como o estudo das propriedades químicas e físico-químicas das substâncias húmicas isoladas (grupos funcionais, peso molecular, tamanho e forma das partículas) e das formas orgânicas de N, P e S.

A reatividade das substâncias húmicas é conferida por seus grupos acídicos COOH e OH-fenólicos. Os ácidos fúlvicos, são mais ácidos que os húmicos, e essa acidez é devida principalmente a presença de um maior

número de grupos carboxílicos (Schnitzer & Gupta, 1964; Dkhar et al., 1986). O conteúdo de carbono e oxigênio a acidez e o grau de polimerização variam sistematicamente com o aumento do peso molecular. Os ácidos fúlvicos, de baixo peso molecular, tem maior conteúdo de oxigênio, porém mais baixo teor de carbono que os ácidos húmicos de elevado peso molecular (Conceição, 1989).

Do total de substâncias presentes no solo somente uma pequena parcela se encontra no estado livre. A maioria estão ligadas por diferentes formas a fração mineral do solo. Para que estas substâncias sejam solubilizadas é necessário quebrar ligações. Diversos são os métodos utilizados na extração das substâncias húmicas. Mais recentemente a grande maioria de autores vêm utilizando para extração, o método recomendado por Kononova (1982).

Por esse método, ‘Kononova & Bel’chikova’, se utiliza uma mistura de $\text{NaOH } 0,1\text{molL}^{-1} + \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \text{ } 0,1 \text{ molL}^{-1}$, onde a base forte promove a solubilização do material humificado, enquanto o pirofosfato atua como quelante dos metais, aumentando a eficiência das extrações (Sastriques, 1982). A grande variabilidade química das substâncias húmicas dificultou a

padronização da terminologia, dos métodos de extração, fracionamento, purificação e identificação.

As definições clássicas do húmus podem ser divididas em dois grupos: no primeiro grupo constam aquelas baseadas exclusivamente nos métodos de obtenção (solubilidade); já no segundo grupo, são descritas características gerais, sendo enfatizada a cor e propriedades como a estabilidade frente à ação de agentes químicos, físicos e biológicos, além de destacar a não especificidade das estruturas (Mendonza, 1996).

Atualmente, as substâncias húmicas são definidas como compostos amorfos, poliméricos, aromáticos (heteropolímeros fenólicos) de alto peso molecular, contendo nitrogênio e carboidratos na sua estrutura (Stevenson, 1982). O húmus é descrito por Schnitzer (1982), como um agregado amorfo, hidrofílico e complexo de substâncias fortemente associado à fração mineral do solo, de coloração escura ou castanha e que perdeu qualquer vestígio das estruturas orgânicas que lhe deram origem.

Associados ao húmus, encontram-se compostos de natureza protéica, carboidratos, ceras e gorduras, resinas, lignina, etc.; alguns desses produtos são remanescentes do material vegetal, pela sua resistência a biodegradação, e

outros provêm da ressíntese microbiana. Todas essas substâncias não podem ser separadas do solo por métodos mecânicos (Schnitzer, 1982).

Devido à necessidade de organizar o conhecimento dos diversos componentes da matéria orgânica do solos, Kononova (1982) propôs a classificação em dois grupos: os resíduos orgânicos pouco decompostos (que podem ser separados da fração mineral por métodos mecânicos) e o húmus do solo, somente obtido por métodos químicos e físico-químicos, constando de vários subgrupos ou frações. Assim, as substâncias húmicas são extraídas com base na sua solubilidade em diferentes meios reacionais, obtendo-se as frações: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas.

Pela definição clássica de Felbeck (1971), os ácidos húmicos são substâncias amorfas de coloração escura extraídas dos horizontes superficiais dos solos minerais por soluções alcalinas, à temperatura ambiente, e precipitados desses extratos por adição de ácidos minerais até atingir pH=1. O autor exclui da sua consideração outras substâncias extraídas de horizontes subsuperficiais ou a partir de diferentes substratos. Definições similares derivaram das propostas por autores russos como Dragunov, citado por Kononova (1982), que denominou como “ácidos húmicos” à fração extraída

por soluções de NaOH na forma de humatos (humato de Na^+ , K^+ , NH_4^+) e precipitados da solução alcalina por ácidos fortes.

A mesma abordagem, na definição dos ácidos húmicos anteriormente citada, é adotada por Stevenson (1982), que também define a fração ácidos fúlvicos como substâncias solúveis em álcali, porém que permaneceram na solução após a acidificação do extrato. Contudo, a definição de “ácidos fúlvicos” não é tão clara na literatura, pois o critério da solubilidade em meio ácido, muito utilizado em estudos pedogenéticos, não corresponde à definição adotada em estudos químicos, nos quais “ácidos fúlvicos” são especificamente substâncias extraídas com solventes orgânicos (Orlov, 1985). A maioria dos trabalhos sobre o assunto enfatizam a confusão terminológica e as dúvidas quanto à validade da separação das substâncias húmicas em grupos, com base somente em critérios de solubilidade. Finalmente, as huminas constituem a fração que não se consegue extrair com soluções alcalinas mesmo depois do tratamento ácido (Sastriques, 1982). As mesmas não constituem um grupo homogêneo diferindo de acordo com as vias, condições ambientais e material que as originaram, conforme já citado anteriormente.

A eficiência na extração das substâncias húmicas depende da concentração dos reagentes, pH do extrator, temperatura durante o processo de

extração e fatores como a textura e mineralogia do solo. Considera-se como extrator ideal, aquele que remove uma quantidade máxima da substância com um mínimo de volume, além de fornecer as substâncias inalteradas e livres de contaminantes inorgânicos (argilas e cátions metálicos), abranger todas as frações independentes do seu peso molecular e ser aplicável em todo os solos (Stevenson, 1982).

Segundo vários estudos citados por Kononova (1982) o máximo de eficiência na extração é atingido com concentrações de 0,1 a 0,15 molL⁻¹ de NaOH. Tal extrator também é recomendado pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, e recupera em torno de 2/3 do material humificado (Aiken et al., 1985). Um incremento na concentração do álcali pode resultar em efeitos negativos na composição dos extratos, principalmente no conteúdo de C e N prontamente hidrolizáveis dos compostos nitrogenados e carboidratos, e na distribuição do peso molecular das substâncias (Stevenson, 1982).

As diversas frações de substâncias húmicas extraídas com base nas características de solubilidade, fazem parte de uma mistura heterogênea de moléculas polimerizadas com peso variável entre algumas centenas e 300.000 g mol⁻¹ (Stevenson, 1995).

Há grande variabilidade entre os polímeros com respeito a características como o peso molecular e as estruturas das macromoléculas. Estima-se que os ácidos fúlvicos apresentam um peso molecular em torno de 1.000 g mol^{-1} , os ácidos húmicos entre 5.000 e $10.000 \text{ g mol}^{-1}$ (sendo os menores valores correspondentes aos ácidos húmicos castanhos), já a humina pode atingir valores superiores a $100.000 \text{ g mol}^{-1}$ (Stevenson, 1995). Ocorrem também grandes diferenças na composição elementar das substâncias; pelos dados de Kononova (1982), os teores de C dos ácidos húmicos variam entre 52 e 62 % (com base no peso seco, sem sais), estes valores são em torno de 10% superiores ao dos ácidos fúlvicos, que por sua vez apresentam maior quantidade de oxigênio e hidrogênio. Em decorrência disto, os ácidos fúlvicos apresentam uma maior acidez em relação aos húmicos, principalmente pela contribuição dos grupos funcionais periféricos como: CH_3 , OCH_3 , COOH (carboxílicos e fenólicos). Estes aspectos evidenciam que à medida que as macromoléculas se tornam menores a importância das cadeias alifáticas laterais aumenta, pois os grupos funcionais se situam preferencialmente nelas. Assim, tais radicais com suas cargas elétricas não compensadas fazem com que as cadeias sejam hidrofílicas, podendo explicar o comportamento dos ácidos fúlvicos no solo, quanto à sua mobilidade no perfil, sua interação com

os cátions da solução do solo e seu poder quelante frente aos metais pesados (Vaughan & Ord, 1985).

Conforme foi sugerido anteriormente, as substâncias húmicas interagem com o material mineral, interferindo assim na dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta, e exercendo um papel primordial na manutenção da fertilidade do solo; termo cujo conceito global se estende também as propriedades físicas e biológicas.

Segundo Vaughan & Ord (1985), a importância das frações humificadas na dinâmica dos elementos no solo, se estende também às interações com os fertilizantes, podendo aumentar ou reduzir sua efetividade, além de amortecer os efeitos adversos de altas doses, regulando desta forma, as condições de nutrição mineral das plantas. Muitos destes efeitos devem-se, em parte, à considerável capacidade de troca catiônica (CTC) que o húmus apresenta, a qual situa-se em torno de $300 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Tal valor adquire grande importância quando comparado com a CTC dos colóides minerais do solo como a caulinita ($3 \text{ a } 15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e outros colóides nos estágios finais do processo de intemperismo e de baixa atividade, predominantes em solos tropicais. Tal fato leva a estimar que, de 20 a 70% da CTC destes solos é atribuída a fração humificada, sendo o efeito ainda mais importante em solos

arenosos, devido à dificuldade de se manter níveis adequados de húmus pelas usuais práticas de cultivo.

Interações de substâncias húmicas como os materiais orgânicos hidrofóbicos, podem se ligar aos materiais húmicos afetando o comportamento ambiental desses materiais, inclusive a taxa de degradação química, fotólise, volatilização, migração e absorção biológica. A presença de altas concentrações de material húmico na água aumenta a solubilidade de DDT, e a extensão da ligação do DDT aos materiais húmicos depende de sua fonte, pH, concentração de Ca^{++} e força iônica (Carter & Suffet, 1982). Experimentos com radiação UV mostraram que a estabilidade da atrazina em solução aquosa é fortemente afetada pela presença de ácidos fúlvicos; portanto, as substâncias húmicas podem solubilizar materiais orgânicos hidrofóbicos em água, modificando sua mobilidade e reatividade em ambientes terrestres e aquáticos (Schnitzer, 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Estudo do desenvolvimento da planta (experimento 1)

3.1.1. Cultivar estudada

Foi utilizada a cultivar de arroz IAC 4440, com período de amadurecimento em torno dos 130 dias. As sementes foram fornecidas pelo Banco de Germoplasma do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA- CNPAF), em Goiânia-GO.

3.1.2. Germinação e Transplante

As sementes foram colocadas para germinação em bandejas plásticas contendo areia lavada e autoclavada.

Aos 15 dias após plantio (DAP) foi feita uma seleção por uniformidade e tamanho, sendo as plântulas transferidas para vasos plásticos com capacidade de 2,2 litros contendo 2 plantas.

3.1.3. Solução Nutritiva

A solução nutritiva utilizada foi a de Furlani & Furlani (1988), modificada para $\frac{1}{2}$ da força iônica, sendo as plântulas submetidas a este ambiente de pré adaptação por 5 dias. Após este período, aos 20 DAP, foi trocada a solução nutritiva para força iônica total, formulação que permaneceu até o término do experimento. Aos 80 dias de desenvolvimento das plantas foi realizada a substituição dos vasos, por outros com maior capacidade (6,3 litros).

A solução nutritiva foi trocada a cada 20 dias, e a partir dos 120 DAP os vasos foram aerados duas vezes ao dia. A composição detalhada da solução nutritiva utilizada é apresentada no Anexo1.

3.1.4. Condições ambientais

A radiação solar fotossinteticamente ativa foi registrada através de leituras diárias às 10:00 e 15:00h, com radiômetro do tipo LI 185 (LICOR, INC., Nebraska), equipado com sensor de quantum. A cada horário foram tomadas 3 leituras casualizadas no interior da casa de vegetação, próxima à parte aérea das plantas, para compor um valor médio do horário. Essas leituras foram transformadas em médias por horário. A umidade relativa do ar e as temperaturas máxima e mínima foram obtidas através de um termohigrógrafo centralizado no interior da casa de vegetação e de um termômetro de máxima e mínima, colocado na altura da parte aérea das plantas, com leitura diária. Esses registros foram transformados em médias diárias e são apresentada no Anexo 2, respectivamente.

3.1.5. Coletas

Foram efetuadas seis coletas, com intervalo de 20 dias entre cada coleta, dos 40 aos 140 DAP. Em cada coleta as plantas foram separadas em parte aérea e raiz.

3.1.6. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis épocas de coleta (dos 40 aos 140 DAP) e 4 repetições. A partir da 1ª coleta (40 DAP) foram amostradas 2 plantas por vaso até o final do experimento. O número total de vasos foi de 24, sendo até a 4ª coleta utilizados vasos com capacidade de 2,2 litros, e a partir daí trocados para vasos com capacidade de 6,3 litros. A cada coleta os vasos remanescentes eram remanejados entre as bancadas, a fim de se proceder a casualização.

3.1.7. Determinações

a) Dosagem de carbono orgânico na solução nutritiva

A cada troca de solução, recolheu-se alíquotas de 4 vasos de 50 mL cada para dosagem de carbono sobrenadante e dosagem de carbono centrifugado para cada vaso. O método utilizado para determinação do carbono orgânico foi o de Tiurin apud Vettori, 1969. Este método foi submetido à algumas modificações para o estudo em solução nutritiva.

Para o cálculo do carbono orgânico nas frações sobrenadante e centrifugado, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$C_{org. \%} = \frac{100g \times V_v \times 0,003(4 - 0,1 \times V) \times f}{P \times A}$$

onde:

V_v = volume do vaso em mL

V = volume em mL de sal de Mohr gasto para titular a amostra

f = fator de correção f = 40/branco

P= peso da massa seca do material utilizado para o cálculo (raiz) em grama

A= alíquota da amostra utilizada para dosagem de carbono em mL

b) Determinação de Massa

A massa seca das diferentes porções foram determinadas em balança de precisão após secagem em estufa de circulação forçada de ar à 60°C até peso constante. Foram obtidos os parâmetros:

1. Massa seca de parte aérea
2. Massa seca de raiz
3. Massa seca de grãos

A massa seca de grão foi obtida a partir da emissão das panículas, para 5ª e 6ª coleta. Os componentes das plantas de cada vaso eram coletados conjuntamente.

3.2. Estudo da decomposição (experimento 2)

3.2.1. Determinação de carbono total no material vegetal

As porções parte aérea e raiz para cada época de coleta (40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio) foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 0,2 mesh e homogeneizadas. Destas retiraram-se amostras de 1 g que foram submetidas à dosagem de carbono pelo método de Tiurin apud Vettori (1969), de cada parte da planta: parte aérea e raiz; onde posteriormente este material foi utilizado no experimento 2.

3.2.2 Determinação de nitrogênio total no material vegetal

A partir do material moído, retirou-se amostras de 200 mg que foram submetidas à digestão para fins de determinação dos teores de N_{otab} através do método de Kjeldahl (Nelson & Sommer, 1973) de cada parte da planta, parte aérea e raiz para cada época de coleta (40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio).

3.2.3. Determinação de lignina no material vegetal

A determinação da lignina foi feita a partir da fibra em detergente ácido da parte aérea e raiz para cada época de coleta (60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio). A determinação para a coleta aos 40 dias não foi efetuada por falta de material vegetal suficiente. O método empregado foi o do permanganato de potássio. A fibra em detergente ácido (lignocelulose) é composta de lignina, celulose e sílica (cinza insolúvel).

A marcha utilizada para a determinação da fibra em detergente ácido e para a lignina foi a preconizada por Van Soest (Silva, 1990).

3.2.4. Características do solo

Foi utilizado o horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) coletado no município de Barra do Piraí-RJ. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm. Os resultados da análise química do solo são apresentados no Anexo 3.

Trabalhos utilizando amostras de solo do mesmo local (Santos, 1984; Frossard, 1985; Oliveira, 1990) identificaram a granulometria do horizonte do Latossolo estudado (Anexo 3).

3.2.5. Material orgânico

Utilizou-se dois tipos de materiais orgânicos: glicose e palha de arroz. A glicose empregada proveio de reagente químico P.A.. A palha de arroz foi obtida das seis coletas, separadas em parte aérea e raiz, anteriormente tratadas na metodologia para estudo do desenvolvimento.

3.2.6. Tratamentos e sistema de incubação

Utilizou-se as amostras de solo com os seguintes tratamentos: testemunha, solo adicionado de glicose, solo adicionado de parte aérea e solo adicionado de raiz obtidas das diferentes coletas

Foram utilizados 100g de solo em potes de 1700 mL com vedação. A umidade do solo foi elevada a 80% da capacidade de campo (determinada em laboratório) e adicionou-se carbono na forma de glicose, palha de arroz da parte aérea e palha de arroz da raiz na base de 20% do carbono preexistente no solo. A partir do teor de carbono encontrado no solo e nas formas de carbono (glicose, palha de arroz da parte aérea e palha de arroz da raiz), calculou-se o peso em grama a ser adicionado ao solo.

No sistema de incubação, a unidade experimental foi composta por 60 potes, onde quatro não continham solo, sendo utilizados como branco. As amostras de solo foram incubadas por um período de 64 dias.

O CO_2 evoluído do solo foi captado em vidros contendo 10 mL de solução de NaOH 1molL^{-1} , colocados dentro dos potes de incubação.

A troca dos vidros foi realizada à cada 24hs até notar-se a redução da produção de CO_2 em todos os tratamentos.

3.2.7. Análises químicas

a) Dosagem do CO_2 por titulometria

O objetivo deste experimento foi o de se obter a curva de respiração microbiana do solo.

Após a retirada dos vidros contendo CO_2 absorvido em 10 mL de uma solução de NaOH 1molL^{-1} , adicionou-se 3 mL de BaCl_2 $1,5\text{molL}^{-1}$ (para precipitar o Na_2CO_3 , formado pela reação do CO_2 com o NaOH (sob a forma de Ba_2CO_3) e 3 gotas do indicador timolftaleína 2% em álcool etílico. Procedeu-se a titulação do excesso de NaOH com HCl $0,5\text{molL}^{-1}$ até o desaparecimento da cor azul do indicador.

Para o cálculo da quantidade de carbono evoluído na forma de CO₂, empregou-se a seguinte fórmula:

$$C\text{-CO}_2 = 6 \times N \text{ HCl} \times (V - V')$$

onde:

N HCl = normalidade exata do ácido clorídrico

V = volume de HCl gasto para titular o branco (mL)

V' = volume de HCl gasto para titular as amostras (mL)

b) Extração e fracionamento das substâncias húmicas

Nas amostras provenientes da determinação da respiração do solo foi realizada a extração e fracionamento das substâncias húmicas do solo, tendo como base, as técnicas preconizadas por Kononova & Bel'chikova (Kononova, 1982) com simplificações propostas por Santos (1986). O método de extração é apresentado, de forma resumida (Mendonza, 1996), a seguir:

1) Separação densimétrica e extração ácida inicial

Visando a separação inicial entre a fração humificada e a fração orgânica pouco decomposta (não ligada a fração mineral) foi feita a separação

densimétrica das amostras através da ação do ácido ortofosfórico 2 molL^{-1} que permite separar a fração leve por filtração. Além desse efeito o ataque ácido fornece no líquido sobrenadante, a fração ácidos fúlvicos livres.

2) Extração alcalina

No resíduo sólido da operação anterior foi feita a extração conjunta de todo o material humificado solúvel ligado à fração mineral (fração “ácidos fúlvicos+ácidos húmicos”) através da ação da mistura de pirofosfato de sódio+hidróxido de sódio $0,1 \text{ molL}^{-1}$ em partes iguais.

3) Separação dos ácidos húmicos e fúlvicos.

Os ácidos húmicos são precipitados do extrato alcalino adicionando-se ácido sulfúrico concentrado até atingir $\text{pH}=1$. O líquido sobrenadante contém os ácidos fúlvicos, estes foram descartados pois a sua determinação é indireta.

4) Dosagem das frações

O teor de carbono das frações foi determinado por dicromatometria ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,25 \text{ molL}^{-1}$), usando fonte externa de calor. A titulação foi feita com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,1 \text{ molL}^{-1}$ padronizada.

A dosagem de C na fração ácidos fúlvicos livres se processou diretamente sobre o extrato fosfórico. Da mesma forma a dosagem na fração ácidos húmicos+fúlvicos foi feita no extrato alcalino. Na fração ácidos

húmicos a dosagem foi realizada após dissolução do precipitado com NaOH $0,1 \text{ molL}^{-1}$. A quantidade de carbono da fração ácidos fúlvicos foi obtida por diferença (ácidos húmicos+fúlvicos - ácidos húmicos). O carbono da fração humina (resíduo insolúvel no extrator alcalino) foi determinado numa sub-amostra do resíduo úmido, sendo o resultado expresso com base no peso seco, determinado em estufa à 110° C por 24 horas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1 (Estudo da planta)

4.1.1. Massa seca da parte aérea e raízes

Os resultados da acumulação de massa seca da parte aérea e raízes nas diferentes épocas de coletas, para a cultivar de arroz estudada IAC 4440 são apresentadas na Tabela 4.1 e Figura 4.1.

Pode-se observar que a partir do estágio de perfilhamento máximo (40 DAP), a massa seca da parte aérea e das raízes aumentou até a floração (92 DAP). Com o desenvolvimento da panícula, observa-se uma sensível redução no acúmulo de massa seca, mostrando que na fase de enchimento de grãos (105 DAP), o crescimento do sistema radicular praticamente cessa. Nesta fase,

grande parte da energia produzida pela parte aérea passa a ser utilizada para a produção de sementes.

A produção da parte aérea teve comportamento similar ao do sistema radicular, com o crescimento máximo ocorrendo entre o período de diferenciação do primórdio floral (63 DAP) e o de floração (92 DAP).

Tabela 4.1. Valores médios de massa seca da parte aérea e raiz da cultivar de arroz IAC 4440 em coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).

DAP	Massa seca acumulada		
	Parte aérea	Raiz	Grão
g vaso ⁻¹			
40	3,3 F	1,3 E	-
60	15,9 E	5,5 D	-
80	41,6 D	11,1 C	-
100	81,5 C	17,2 B	-
120	77,0 B	19,3 AB	33,5
140	65,8 A	20,7 A	67,6
C.V.	5,7	7,9	

Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey 5%.

A produção de massa seca de raízes a partir do estágio de perfilhamento máximo (40 DAP), aumentou de maneira exponencial com o tempo até o estágio do desenvolvimento da panícula (80 DAP). A partir desse ponto, o aumento da matéria seca diminuiu gradativamente.

Em estudos de campo, Lopes et al. (1994) caracterizou as curvas de produção de massa seca do sistema radicular e da parte aérea para arroz irrigado, em um Planossolo. Nesse estudo, as amostras das plantas foram coletadas também nas diferentes fases do ciclo da cultura.

Também França (1995), estudando a mesma cultivar de arroz (IAC 4440) encontrou idêntico comportamento na distribuição percentual do acúmulo de massa seca nas diferentes porções vegetativas da planta.

Murata & Matsushima (1975) observaram que a massa seca de raízes aumenta até o espigamento, diminuindo a seguir, enquanto que a acumulação da massa seca na parte aérea continua aumentando até o final do ciclo da cultura do arroz.

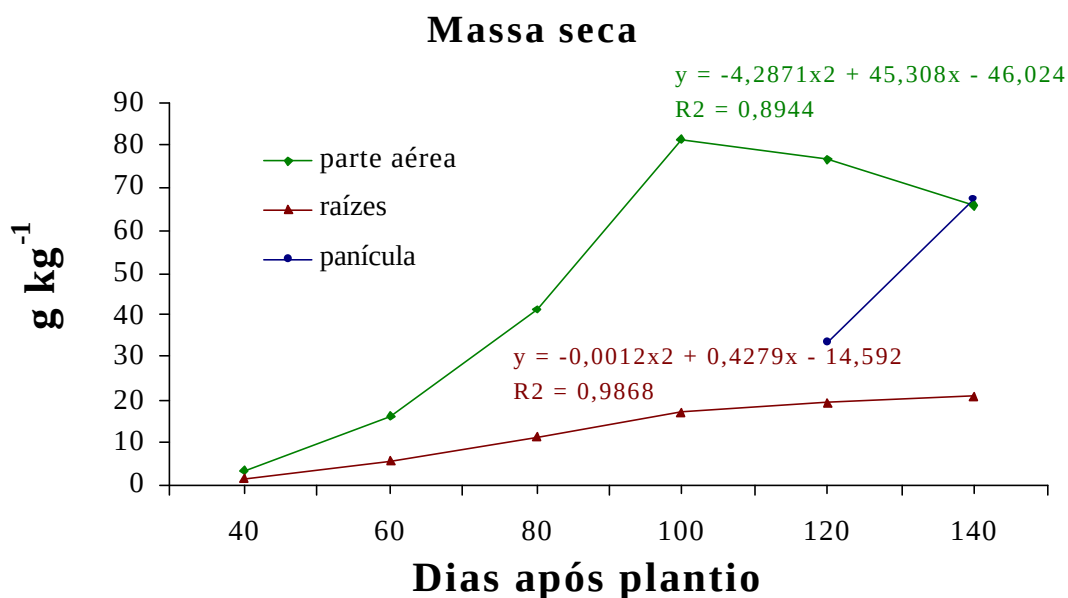
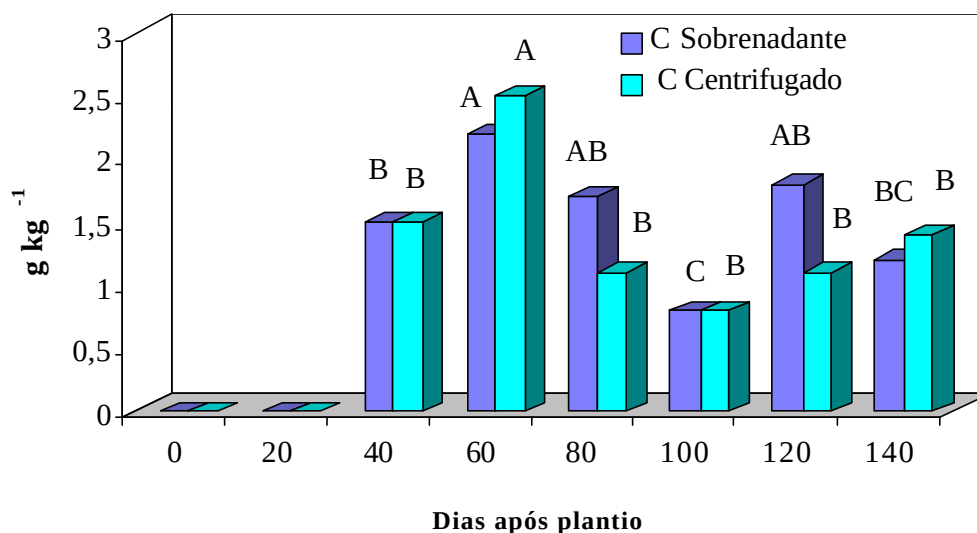


Figura 4.1. Massa seca da parte aérea e raiz em função das épocas de coleta. DAP (dias após plantio)

4.1.2. Dosagem de carbono em solução nutritiva

O objetivo da dosagem de carbono em solução nutritiva foi o de quantificar a liberação de exsudatos e de tecidos livres nas várias etapas do ciclo vegetativo da cultivar de arroz IAC 4440. Os resultados obtidos em função da massa seca da raiz para as coletas a partir dos 40 DAP são apresentados na Figura 4.2.

Carbono orgânico



Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente para cada um dos parâmetros avaliados pelo teste de Tukey 5%.

Figura 4.2 Valores médios das diferentes frações de carbono na solução nutritiva em função do peso da massa seca de raiz para as coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).

A interpretação destes dados permitem observar que a liberação de carbono para solução ocorre em fases distintas. Na primeira fase, até os 20 DAP, não foram observados resultados mensuráveis devido ao incipiente desenvolvimento das plantas.

Na segunda fase, período entre 40 e 60 DAP, os teores de carbono determinados tanto no sobrenadante como no centrifugado da solução nutritiva são crescentes. Estes dados refletem a intensa atividade metabólica que se processa no sistema radicular e na parte aérea, já que compreende o período exponencial de crescimento das plantas (Tabela 4.1 e Figura 4.1). Raízes, rizodepósitos e exsudatos tem despertado pouca atenção nos estudos sobre decomposição da matéria orgânica, especialmente quando comparados com às entradas de materiais provenientes da parte aérea das plantas no solo. Esta falta de interesse não reflete a importância do sistema radicular como interface do sistema solo-plantas e via natural do fluxo de carbono. Segundo Heal et al. (1997), cerca de 16 a 33% do carbono total assimilado são liberados diretamente através do sistema radicular dentro do solo, contribuindo com aproximadamente de 30 a 60% do carbono orgânico do solo.

Entre os 60 e 100 DAP tem início a terceira fase, que se caracteriza pela queda nos níveis de liberação de exsudatos e tecidos, com os menores

valores encontrados aos 100 DAP. Neste caso, a redução observada pode ser atribuída à formação do dreno reprodutivo, que nesta fase, dirige o fluxo de carboidratos mais intensamente à formação da panícula.

Zonta (1996) estudando cultivares de arroz e sua caracterização fisiológica, observou também nesta fase um aumento de massa seca de colmos e do conteúdo de carboidratos solúveis.

Com início da floração, a partir dos 100 DAP, a taxa de desenvolvimento vegetativo é interrompida ocorrendo translocação de fotoassimilados para o enchimento dos grãos, diminuindo conseqüentemente a massa seca da palha.

No estágio de maturação (120-140 DAP) tem início a quarta fase, onde se observa um novo restabelecimento de liberação de carbono para solução. Nesta fase do ciclo do arroz estão encerradas as principais etapas de desenvolvimento e o sistema radicular é reativado como dreno natural dos metabólitos produzidos.

Camargo Filho (1999) observou que gramíneas podem ser utilizadas na recuperação de áreas degradadas, já que proporcionam boa cobertura vegetal e promovem aumento dos teores de carbono orgânico no horizonte superficial. Alguns autores tem atribuído à renovação anual do sistema

radicular de gramíneas como responsável pela deposição de carbono orgânico em quantidades suficientes para recuperação de áreas degradadas pelo uso agrícola contínuo (Carvalho et al., 1993 apud Camargo Filho, 1999), sendo a decomposição do sistema radicular responsável pelo aumento da porosidade, da capacidade de infiltração e de retenção de água. Como a decomposição de raízes das gramíneas ocorre também verticalmente, e principalmente, nos primeiros 30 cm de solo, fazem com que o conteúdo de carbono aumente em profundidade. Além disso, as raízes finas se aprofundam no perfil e penetram em camadas compactadas, facilitando a ciclagem de nutrientes para os horizontes superficiais.

4.2. Experimento 2 (Estudo da decomposição)

4.2.1. Teores de C, N e relação C/N

Na parte aérea da planta, o teor de carbono orgânico total (Tabela 4.2) não apresentou diferenças significativas entre coletas, e nas raízes as diferenças encontradas foram pequenas entre coletas.

Tabela 4.2. Valores médios de carbono na parte aérea e na raiz para a cultivar de arroz IAC 4440 determinados em coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).

	Parte aérea	Raiz
DAP	g kg ⁻¹	
40	349,4 n.s.	349,4 AB
60	328,3 n.s.	342,2 AB
80	308,2 n.s.	303,4 B
100	367,1 n.s.	372,0 A
120	341,3 n.s.	386,4 A
140	350,2 n.s.	372,1 A
C.V.	8,2	5,9

Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey 5%.

Avaliando os teores de carbono encontrados em raízes de leguminosas arbóreas e vegetação espontânea, Andrade (1997) observa que não houve diferenças entre espécies quanto ao teor de carbono para diferentes diâmetros de raízes.

Vários estudos tem demonstrado que a concentração de carbono e nitrogênio, a relação C/N e o conteúdo de lignina tem influência marcante na decomposição dos resíduos vegetais (Sivapalan & Fernando, 1985; Constantinides & Fownes, 1994).

Diversos indicadores tem sido sugeridos no estudo da decomposição da matéria orgânica como a concentração de nitrogênio, as relações C/N e lignina/N (Melillo et al., 1982; Berg, 1986; Taylor et al., 1989).

Aparentemente a decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo é regulada inicialmente pelos teores de nitrogênio e, posteriormente, quando restam os tecidos estruturais, a lignina passa a ser progressivamente mais importante.

Na tabela 4.3 são apresentados os teores de nitrogênio total na parte aérea e raiz, para a cultivar estudada em função de DAP.

Tabela 4.3. Teores de N total na parte aérea e na raiz da cultivar de arroz IAC 4440 determinados em coletas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).

	Parte aérea		Raiz	
DAP	g kg ⁻¹			
40	24,9	A	13,1	A
60	12,1	BC	7,1	C
80	15,9	B	7,7	BC
100	10,3	BCD	9,2	B
120	7,9	CD	8,1	BC
140	5,0	D	7,5	BC
C.V.	24,7		10,2	

Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey 5%.

Na parte aérea, os teores iniciais de nitrogênio são os mais elevados, no início do crescimento (40 DAP). Com o intenso desenvolvimento vegetativo observado após os 40 DAP (Tabela 4.1) a concentração diminui gradativamente. A partir da diferenciação do primórdio floral (63 DAP), os teores de nitrogênio na palha, aumentam devido a remobilização de

aminoácidos, provindo dos perfilhos senescentes (Zonta, 1996). Nas raízes os teores de N são bem menores que na parte aérea até os 100 DAP, aumentando a seguir em comparação com a parte aérea.

Entre os 60 e 100 DAP as concentrações se mantêm em níveis bastante próximos na parte aérea, entretanto inferiores aos observados no início do desenvolvimento das plantas. A partir dos 80 DAP observa-se uma maior redução do teor de N na palha, o que também indica uma maior mobilidade deste elemento na parte aérea do vegetal, já que esta redução é devida a translocação em grande quantidade de N para os grãos. As raízes apresentaram comportamento próximo aos da parte aérea em função da DAP, porém com taxas de translocação menores.

Resultados similares foram obtidos por Lopes et al. (1993), que caracterizou as curvas de acumulação de matéria seca da parte aérea da cultura do arroz irrigado e os teores de N no tecido foliar durante todo o ciclo.

A qualidade inicial do material vegetal afeta não somente a taxa de decomposição, mas também o padrão e a taxa de imobilização ou de liberação de nutrientes.

A concentração de carbono e de nitrogênio, a relação C/N e o conteúdo de lignina, tem influência na decomposição dos resíduos (Fox et al., 1990).

A relação C/N na parte aérea foram as menores quando comparadas com as raízes (Tabela 4.4). A menor relação C/N é observada no início do desenvolvimento e aumenta de forma crescente nas outras fases de crescimento, com exceção aos 80 DAP. A diminuição da relação C/N na parte aérea nesta fase, pode ser atribuída ao acúmulo de nitrogênio necessário para a formação da panícula.

A relação C/N na raiz é menor aos 40 dias após plantio. Nas outras fases de crescimento não foram observadas diferenças significativas na relação C/N do sistema radicular.

Tabela 4.4. Relação C/N da parte aérea e raiz da cultivar de arroz IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).

DAP	Relação C/N	
	Parte aérea	Raiz
40	14 E	26,7 B
60	27,1 CD	48,2 A
80	19,4 DE	39,4 A
100	35,6 BC	40,4 A
120	43,2 B	47,7 A
140	70 A	49,7 A
C.V.	12,7	15,0

Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey 5%.

De um modo geral, os maiores valores das relações C/N nas raízes são decorrentes do menor acúmulo de nitrogênio e de uma elevação nos níveis de carbono, observado principalmente no estágio final de desenvolvimento em relação a parte aérea.

Outras espécies de gramíneas perenes como *Brachiaria*, *Andropogon* e *Panicum* depositam no solo uma grande quantidade de serapilheira e de raízes com baixo conteúdo de nitrogênio, entre 5 e 10 g kg⁻¹ de N (Robertson et al., 1993), o que provoca aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo. Por outro lado, a alta relação C/N do material introduzido, produz um aumento da biomassa microbiana do solo, que compete com alta eficiência com as plantas, pelo nitrogênio mineral disponível.

4.2.2. Teores de carbono estrutural

Os teores de lignina tanto na parte aérea como nas raízes nos diferentes estágios de crescimento do arroz são apresentados na Figura 4.3.

De maneira geral, é observado aumento nos teores de lignina na parte aérea conforme a maturidade do material. Até os 100 DAP, os teores de lignina foram maiores para raízes do que na parte aérea.

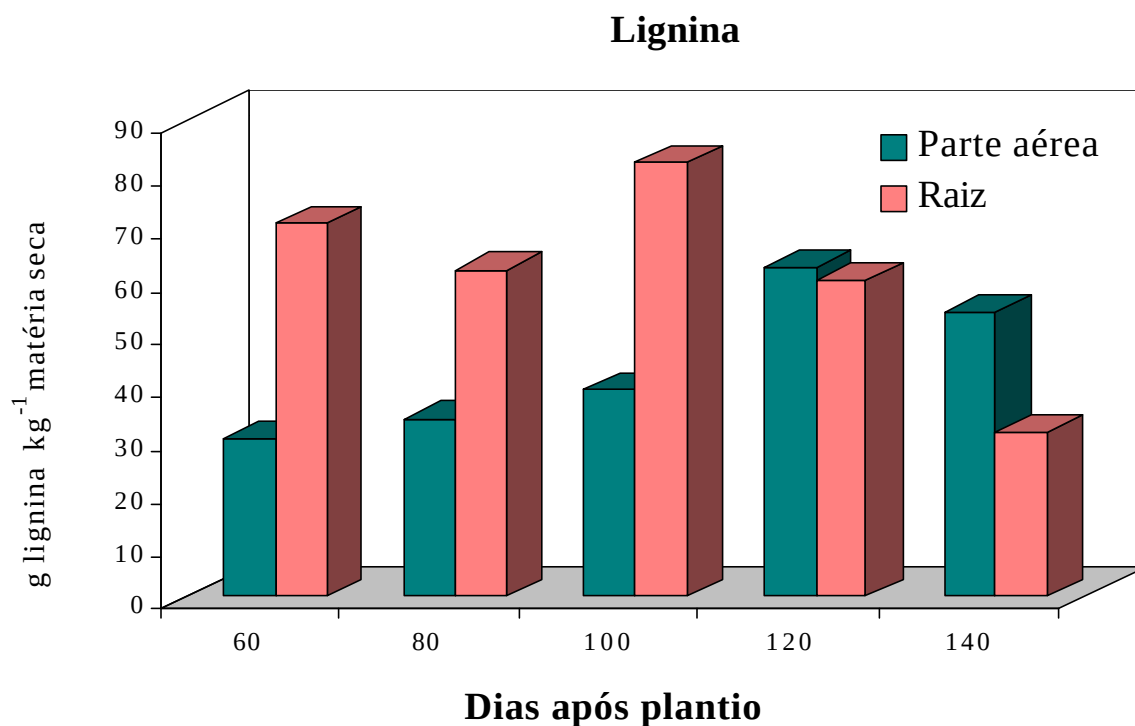


Figura 4.3. Valores médios dos teores de lignina para parte aérea e raiz da cultivar de arroz IAC 4440 determinados em coletas aos 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP).

Para *Brachiaria humidicola* Ferreira et al. (1997), verificaram 5,6% de lignina nos tecidos, enquanto Thomas & Asakawa (1993) encontraram valores bem mais altos para esta forrageira, oscilando entre 10,6 a 17,7% em função da época do ano. A grande estabilidade da lignina, lhe atribui um papel de primeira ordem no processo de humificação.

A concentração total de certos nutrientes no material vegetal, pode contribuir para o aumento ou diminuição da taxa de decomposição, sendo que altas concentrações de nitrogênio e fósforo provocam um estímulo à este processo, enquanto que a lignina promove efeito inverso, ou seja, altas concentrações de lignina significa baixa taxa de decomposição devido a resistência oferecida por esta substância ao ataque microbiano (Gupta & Singh, 1981; Palm & Sanchez, 1991; Fox et al., 1990; Melillo et al., 1982; Oglebsy & Fownes, 1992). Berg e colaboradores citados por Taylor et al. (1989), demonstraram que para raízes e folhas de pinus o nitrogênio e outros nutrientes controlaram as taxas de decomposição durante as primeiras fases, enquanto o conteúdo de lignina tornou-se progressivamente mais importante nas fases seguintes.

4.2.3. Evolução de CO₂

As taxas de evolução de CO₂ a partir da decomposição da parte aérea e das raízes obtidas em 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio e incubadas num horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo são apresentadas nas Figuras 4.4 e 4.5.

A evolução de CO_2 apresenta uma dinâmica semelhante com e sem a adição da matéria orgânica. O pico máximo de produção de CO_2 ocorre nos primeiros cinco dias de incubação, independente do tipo de material orgânico adicionados ao solo. Na parte aérea ocorre os maiores valores de evolução de CO_2 .

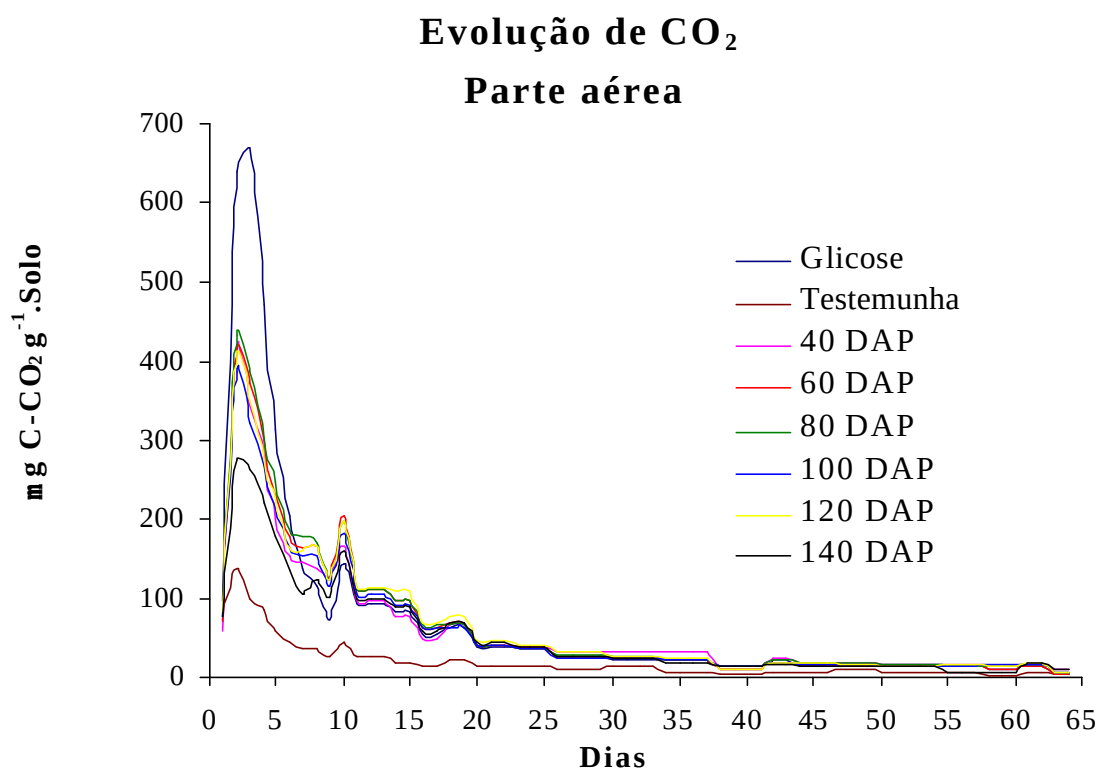


Figura 4.4. Evolução diária de CO_2 de amostras do horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após adição de parte aérea obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP) da cultivar de arroz IAC 4440, de glicose e do solo sem incorporação de matéria orgânica (testemunha).

Porém, com adição de raízes (Figura 4.5), é notado um patamar menor de evolução de CO₂, provavelmente, devido aos maiores teores de lignina destes materiais.

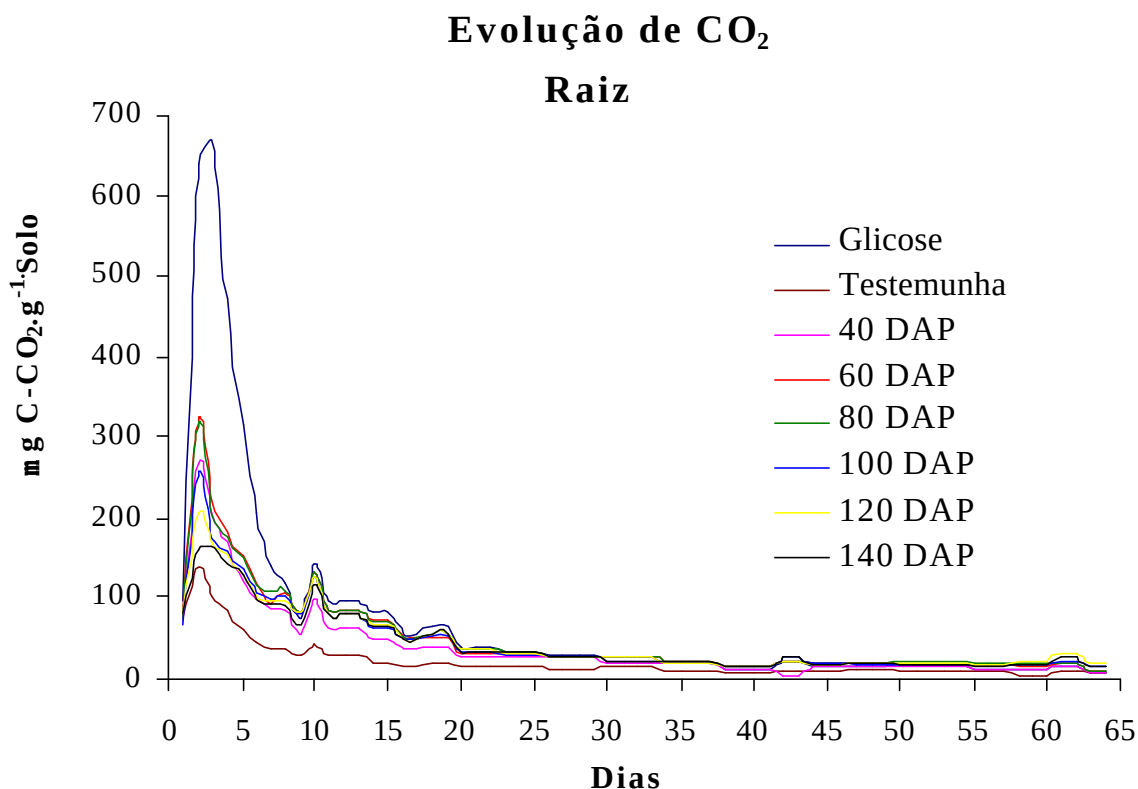


Figura 4.5 Evolução diária de CO₂ de amostras do horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após adição de raízes obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP) da cultivar de arroz IAC 4440, de glicose e do solo sem incorporação de matéria orgânica (testemunha).

A adição de glicose promove o maior pico de liberação de CO₂ seguida de uma queda brusca na evolução. Por ser um açúcar simples, a glicose está prontamente disponível para ser metabolizada e assimilada pelos microrganismos do solo (Oliveira, 1990).

Anderson & Domsch (1978) trabalhando com método de taxa de respiração em resposta à adição de glicose, observaram que entre os substratos utilizados, a glicose apresentou o pico mais intenso, provavelmente, por ser metabolizada pela maioria dos microrganismos aeróbios do solo. Oades & Wagner (1971) constataram que em dois dias de incubação, 30% da glicose adicionada ao solo foi liberada como gás carbônico; aos cinco dias a perda chegou a 70%.

Com a adição de resíduos orgânicos oriundos da parte aérea (Figura 4.4) e das raízes de arroz (Figura 4.5) a evolução de CO₂ foi menos acentuada, comparativamente àquela observada com glicose. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (1984) e Oliveira (1990) estudando a dinâmica e evolução de CO₂ em amostras de solos com adição de glicose, celulose e palha de milho.

Tanto a parte aérea como as raízes incorporadas ao solo apresentavam diferentes estágios de maturação, variando conforme a época de coleta. Desta forma, nas primeiras coletas da parte aérea os materiais encontravam-se com menores teores de lignina e relações C/N, sendo preferencialmente utilizados

pelos microrganismos, logo com maiores evolução de CO_2 . Já para as amostras de solo com adição de raízes, os valores de CO_2 evoluídos foram menores, mesmo nas primeiras coletas, onde os materiais apresentaram teores mais elevados de lignina e relações C/N do que na parte aérea. Nos dois experimentos estudados com adição de parte aérea e raízes, os menores conteúdos de CO_2 foram produzidos com adição de material coletado aos 140 dias. Nota-se nas curvas de evolução de CO_2 , um segundo pico, porém de intensidade bem menor, situado próximo ao décimo dia de incubação. Com a evolução de fontes de carbono prontamente oxidáveis, permanece disponível à atividade microbiana fontes de carbono mais resistente que ao serem atacados liberam formas mais prontamente oxidáveis (Kononova, 1982).

A medida da respiração do solo, em condições de campo, não separa a atividade respiratória da comunidade decompositora da respiração das raízes das plantas, dessa forma, essa informação pode ser utilizada para se ter uma indicação do fluxo de carbono total do solo e não somente do carbono evoluído da decomposição da serapilheira (Anderson & Swift, 1983).

Gregorich et al. (1995) estimaram em 100 Mg de C ha⁻¹ o retorno em resíduos após 25 anos de cultivo contínuo, sendo que somente 23 Mg de C ha⁻¹ destes permaneceram no solo. Consequentemente, mais de 75% do C residual adicionado ao solo foi perdido por mineralização e retornado para a atmosfera como CO₂. Em testes de laboratório, tanto com e sem adição de folhas de alfafa moídas, os sistemas com gramíneas foram os que mais produziram CO₂ (Weil et al., 1993).

A adição de materiais orgânicos modifica tanto as características biológicas como as características químicas e físicas do solo, estas modificações são dependentes principalmente da constituição do material adicionado. Neste experimento, o solo sem adição de matéria orgânica apresentou menor taxa de liberação de CO₂ que os demais substratos, indicando que a decomposição da matéria orgânica preexistente no solo, reflete uma baixa disponibilidade biológica do carbono, enquanto a liberação de CO₂ após a adição de substratos relativamente simples é uma estimativa da capacidade potencial de mineralização do carbono pelos microrganismos.

4.2.4. Fracionamento da matéria orgânica

A degradação de substratos orgânicos originam os compostos precursores das substâncias húmicas, que principalmente através das reações de polimerização e condensação são reorganizados em macromoléculas de difícil biodegradação (Stevenson, 1995). A atividade dos microrganismos do solo é aumentada com a incorporação de fontes de carbono assimilável, podendo esse aumento proporcionar inclusive a decomposição das substâncias húmicas preexistentes (Cerri et al., 1982). Estes processos alteram a dinâmica das frações humificadas da matéria orgânica.

A distribuição do carbono orgânico nas diferentes frações húmicas nas amostras do horizonte superficial de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após a incubação dos diferentes tratamentos são apresentadas nas Figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9.

Na Figura 4.6, pode ser observado que adição dos substratos parte aérea e raiz, produzidos nas diferentes fases do desenvolvimento da planta, formaram mais ácidos fúlvicos livres que os tratamentos testemunha e aquele com incorporação de glicose. As diferenças entre os tratamentos parte aérea e raízes, podem ser explicadas pelas variações certamente existentes nas

quantidades de açúcares solúveis introduzidas quando da implantação dos experimentos, já que estas substâncias estão presentes nos tecidos de ambas as partes do vegetal e variam com o estágio de desenvolvimento das plantas.

Entretanto, é importante destacar que por se constituírem de substâncias com baixa peso molecular, a produção de ácidos fúlvicos livres expressam um comportamento de produção semelhante aqueles observados para os exsudatos e pelos tecidos liberados em solução nutritiva pelo sistema radicular (Figura 4.2).

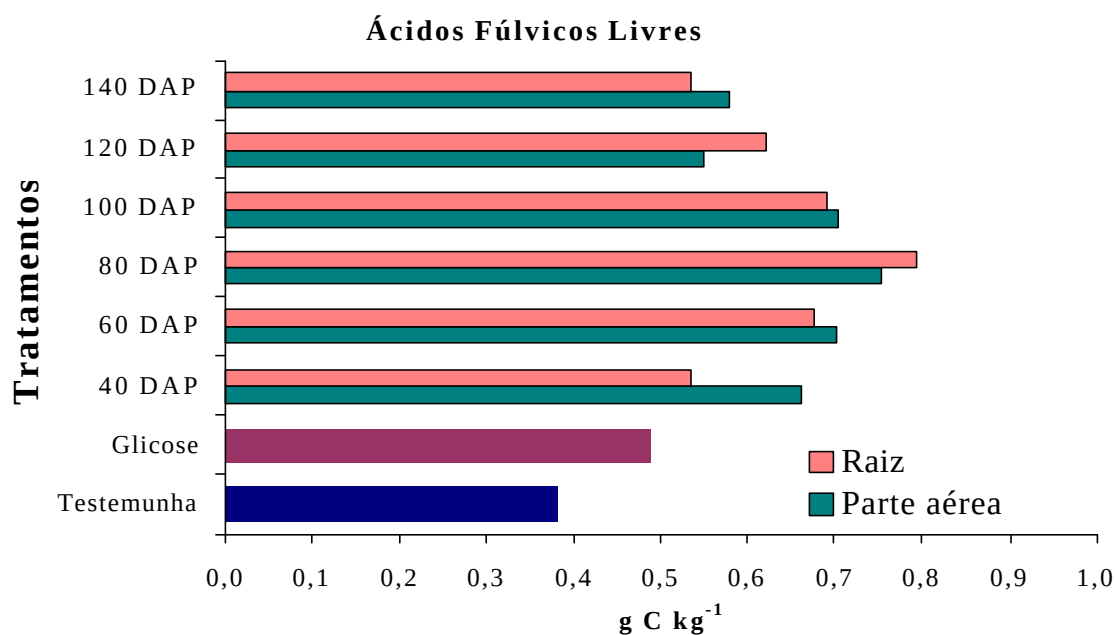


Figura 4.6. Variação dos teores médios da fração ácidos fúlvicos livres em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha).

Para a produção de ácidos fúlvicos (Figura 4.7), o padrão de comportamento parece guardar certa proximidade com aquele observado para os teores de N nos substratos (Tabela 4.3). Como as moléculas de ácidos fúlvicos são mais desenvolvidas do ponto de vista polimérico e de condensação, do que aquelas da fração ácidos fúlvicos livres (Figura 4.6), é bem provável que teores de N mais elevados favoreçam estas reações, formando assim, estas substâncias. Também neste caso, é importante salientar a relativa importância assumida pelas raízes como substrato formador desta fração. Em alguns casos, como nos tratamentos aos 40, 80, 100 e 140 DAP, foram superiores aos tratamentos com adição da parte aérea.

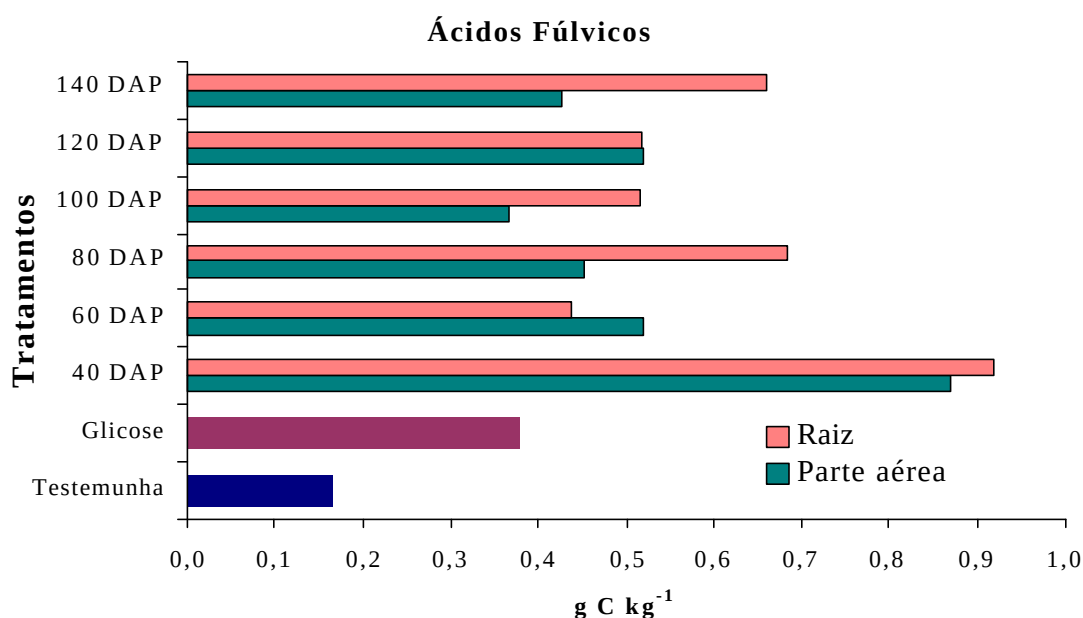


Figura 4.7. Variação dos teores médios da fração ácidos fúlvicos em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha).

A fração ácidos húmicos foi aquela que apresentou as menores variações (Figura 4.8). Como estas substâncias são naturalmente mais evoluídas (mais polimerizados, mais policondensados, maiores pesos moleculares) que os ácidos fúlvicos, o tempo de observação experimental (140 dias), talvez não tenha sido o suficiente para expressar todas as possibilidades de variações sobre esta fração, sendo neste caso, o restante do carbono estrutural (lignina) incorporado como humina (Figura 4.9).

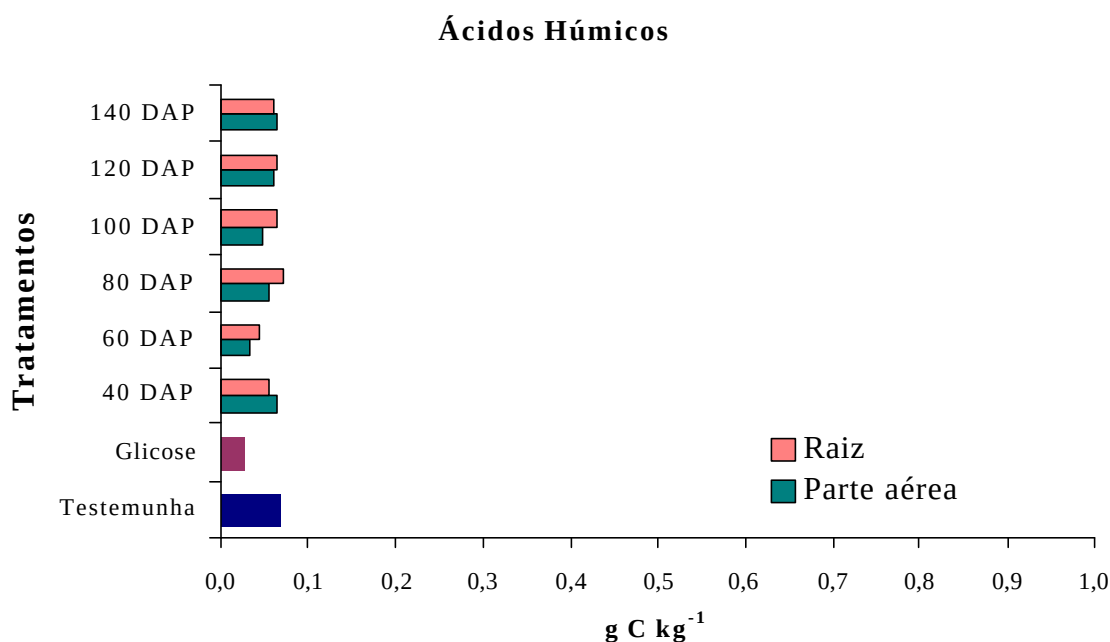


Figura 4.8. Variação dos teores médios da fração ácidos húmicos em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha).

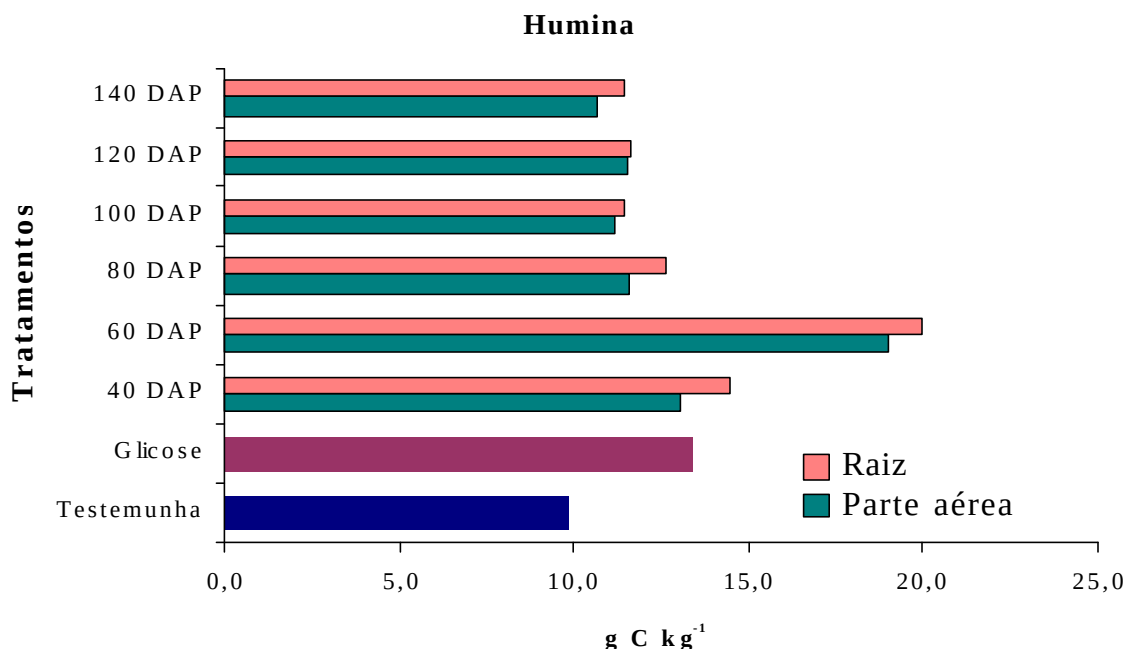


Figura 4.9. Variação dos teores médios da fração humina em função da adição de parte aérea e raízes de arroz da cultivar IAC 4440 obtidas aos 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias após plantio (DAP), de glicose e de amostras de solos sem adição de matéria orgânica (testemunha).

Desta forma, o comportamento padrão de produção de lignina, tanto do sistema radicular como da parte aérea (Figura 4.3), parece determinar a produção de humina (Figura 4.9), e neste caso, as contribuições se equivalem.

Pizauro Jr. & Melo (1995) em trabalho com incorporação da parte aérea de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e lablab (*Dolichos lablab* L.), determinaram as frações de matéria orgânica em amostras de solo aos 5, 10, 15, 50, 100, 150 e 200 dias após o início da incubação. A tendência nos

tratamentos que receberam adição de material vegetal levou a predominância da fração humina da matéria orgânica, seguindo-se das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos. Também, Oliveira (1990) estudando a evolução da matéria orgânica em amostras do horizonte Ap de um Latossolo Vermelho-Amarelo, observou que, a adição de palha de milho favoreceu a formação da fração humina, quando comparada ao efeito de outros substratos orgânicos (glicose e celulose), apresentando como provável causa a composição da palha, rica em compostos lignocelulósicos (lignina, celulose e hemicelulose).

4.3. Considerações finais

Os resultados decorrentes do desenvolvimento deste trabalho permitem constatar que os teores de carbono acrescentados ao solo pelo sistema radicular, na forma de exsudatos e tecidos provenientes de renovação das raízes, podem, dependendo do tipo e do estágio de desenvolvimento das plantas, se igualar ou mesmo superar a contribuição da parte aérea aportada como “liteira” ou serapilheira (medidas mais específicas com esta finalidade devem ser realizadas). Enquanto, à serapilheira formada se limita ao contato superficial e horizontal com o solo, e tem seu processo de formação

determinado pelo ciclo vegetativo da planta (em alguns casos seu aporte se restringe uma única vez no ano), o sistema radicular apresenta um contato intrínseco e íntimo com o solo, e sua distribuição ocorre tanto no sentido horizontal como vertical dentro do solo e em profundidade.

A extrusão de substâncias (exsudatos) pelo sistema radicular é um processo contínuo e em algumas fases do desenvolvimento, chega a se equivaler a parcela importante da quantidade de carbono incorporado pela parte aérea. Composta essencialmente por carboidratos solúveis, estas substâncias promovem uma intensa atividade do sistema microbiano, proporcionando uma ciclagem de C, N e outros nutrientes em velocidade muito superior àquela observada quando comparada à decomposição da serapilheira. Nesta mesma direção, se observa a contribuição dos tecidos escamados, resultado da renovação do sistema radicular. Desta forma, os resultados preliminares até aqui encontrados, indicam que a efetiva contribuição do sistema radicular para formação de substâncias húmicas, pode superar em alguns casos o aporte da serapilheira, principalmente na formação de estruturas moleculares mais simples. Assim, as frações ácidos fúlvicos livres e ácidos fúlvicos, teriam suas origens muito mais dependentes e ligadas as substâncias e tecidos liberados pelo sistema radicular.

No balanço estabelecido pelo sistema vegetal como um todo (caso das gramíneas forrageiras), a parte aérea, por se constituir de tecidos mais estruturais (lignina, celulose e hemicelulose), contribuiria para formação de frações húmicas mais estabilizadas do ponto de vista molecular (ácidos húmicos e huminas) e com distribuição superficial, enquanto o sistema radicular, com a produção de exsudatos e por apresentar uma ciclagem mais rápida de seus tecidos, contribuiria para formação de estruturas moleculares mais simples (ácidos fúlvicos livres e ácidos fúlvicos) e com distribuição mais verticalizada. Nos dois casos, entretanto, não se pode ignorar ou desprezar a contribuição dos seus inversos, ou seja; a parte aérea também apresenta uma fração de carboidratos solúveis que se assemelharia àqueles exsudatos liberados pela raízes, embora neste caso menos importantes quantitativamente. No caso do sistema radicular, raízes mesmo jovens ou envelhecidas, apresentam carboidratos estruturais (Figura 4.3) semelhantes aos encontrados na parte aérea, contribuindo também neste caso, para formação de estruturas moleculares mais desenvolvidas como ácidos húmicos e humina.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, nas condições deste estudo, pode-se concluir quanto:

Desenvolvimento da planta

1. O acúmulo de massa seca de raízes ocorreu até a fase de enchimento de grãos (105 DAP), sendo para parte aérea intenso e superior esse aumento. A partir desta fase, diminuiu gradativamente o acúmulo de massa seca para as raízes e na parte aérea foi acentuada esta queda.

Dosagem de carbono em solução nutritiva

2. A produção de exsudatos e tecidos escamados na solução nutritiva foram maiores na coleta aos 60 DAP. A partir desta fase, se caracteriza por uma forte queda nos níveis de carbono na solução. Aos 100 DAP os menores teores de carbono. A partir dos 120 DAP o sistema radicular é reativado como dreno natural dos metabólitos produzidos.

Teores de N, lignina e relação C/N

3. Os teores de N na parte aérea foram mais altos na fase inicial (até 80 DAP).
A partir desta fase, observa-se uma redução do teor de N na palha. Os teores de N nas raízes foram menores em todas as épocas.
4. Os teores de lignina aumentam na parte aérea conforme a maturidade do material, assim como a relação C/N. Nas raízes esses teores até os 100 DAP foram maiores, e a relação C/N desses materiais superiores, durante todo o ciclo da cultura.

Evolução de CO₂

5. Nas primeiras coletas da parte aérea foram maiores a evolução de CO₂ quando comparada as primeiras coletas de raízes.

Fracionamento da matéria orgânica

6. A parte aérea e raiz favoreceu a formação tanto de ácidos fúvicos livres quanto ácidos fúlvicos. A fração ácidos húmicos apresentou as menores variações. A formação da fração humina apresenta forte relação com os teores de lignina tanto da raiz quanto da parte aérea.

6. LITERATURA CITADA

- ABRAMO FILHO, J.; KIJAN, C. Fungos decompositores (celulolíticos) em palha de cana-de-açúcar após colheita de cana crua mecanizada. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 81, p. 26-28. 1995.
- ABREU, H. dos S. **Biossíntese de Lignificação**. Itaguaí, RJ: EDUR – Editora Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1994. 63 p.
- AIKEN, G.R.; McKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L.; et al. An introduction to humic substances in soil, sediment and water. In: **Humic substances in soil sediment and water**, New York, Wiley Interscience, 1985. p. 1-9.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2.ed. New York, John Wiley, 1977. 467 p.

- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.
- ALVAREZ, R.; SANTANATOGLIA, J. Consumo de carbono, productividad microbiana y actividad biológica en suelos suplementados con glucosa: efecto de la cantidad de substrato incorporado, tipo de suelo, temperatura y humedad. **Turrialba**, 39: 111-117, 1989.
- ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Decomposition in tropical forests. In: DUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C.; CHADWICK, A.C. (eds.) **Tropical rain forest: Ecology and management**, Blackwell Scientific Publications, London, UK, 1983. p. 287-309.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. A physiological method for quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biological Biochemistry**, Oxford, v. 10, p. 215-221. 1978.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 130, n.4, p. 211-16, 1980.

- ANDRADE, A.G. de **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Seropédica: UFRRJ, 1997. 182 p. (Tese de Doutorado)
- BERG, B. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils – a mini review. **Scandinavian Journal of Forestry Research**, 1:359-369, 1986.
- BERG, B.; McCLAUGHERTY, C. Nitrogen and phosphorus release from decomposing litter in relation to the disappearance of lignin. **Can. J. Bot.**, 67:1148-1156, 1988.
- BINGEMAN, C.W.; VARNER, J.E.; MARTIN, W.P. The effect of the addition of organic materials on the decomposition of an organic soil. **Soil Science Society Proceedings**, 1: 34-8, 1953.
- BONNER, J.; GALSTON, A. W. **Princípios de Fisiologia Vegetal**. 1973. 485 p.
- BUXTON, D.R. Cell-wall components in divergent germplasms of four perennial forage grass species. **Crop Science**, 30:402-408, 1990.

- CAMARGO FILHO, S.T. **Recuperação de áreas degradadas no município de Paty do Alferes, pela introdução de gramíneas forrageiras e leguminosas arbóreas.** Seropédica: UFRRJ. 107 p. 1999. (Tese de Mestrado)
- CARDOSO, E.J.B.N. Ecologia microbiana do Solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (coord.) **Microbiologia do solo.** Campinas, SBCS, p. 33-39. 1992.
- CARTER, C.V.; SUFFET, I.H. Binding of DDT to dissolved humic materials. **Environ. Sci. & Technol.**, 16:735-740. 1982.
- CERRI, C.C.; ANDREAUX, F.; BRIGITTE, P.E. O ciclo do carbono no solo. In: **Microbiologia do Solo.** CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. Campinas, S.P., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.
- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Decomposição de matéria orgânica marcada com ^{14}C e formação de biomassa microbiana em solo ácido do município de Piracicaba, SP, Brasil. In: **Colóquio regional sobre matéria orgânica do solo**, Piracicaba, SP, 1982. Anais... Piracicaba, SP, USP, CENA, 1982. p. 137-40.

- COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. University of Hawaii at Manoa. Niftal Project: Hawaii, 1989. 243 p.
- CONCEIÇÃO, M. da. **Natureza do húmus e caracterização de solos com elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí-Santa Cruz, RJ.** Seropédica: UFRRJ. 169 p. 1989. (Tese de Mestrado).
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, 26:49-55, 1994.
- COODY, P.N.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Kinetics of glucose uptake by soil microorganisms. **Soil Biological Biochemistry**, 18: 283-9, 1986.
- CUTTER, E.G. **Anatomia vegetal: Parte I – Células e Tecidos.** São Paulo, Editora Ave Maria. 1986. 340 p.
- DARVILL, A.; MCNEIL, M.; ALBERSHEIM, P.; DELMER, D.P. The primary cell walls of flowering plants. In: **Biochemistry of plants**, v. 1, Academic Press eds, 1980. p. 91-136.

- DEMÉTRIO, R. **Efeitos da aplicação de matéria orgânica sobre a biomassa-C microbiana do solo e o crescimento e absorção de nitrogênio em milho. (*Zea Mays* L.).** Seropédica: UFRRJ, 1988. 98 p. (Tese de Mestrado).
- DKHAR, G.D.; PRASAD, B.; SINHA, M.K. Characterisation of humic and fulvic acids of forest and cultivated soils. **Journal Indian Society Soil Science**, 34:29-37, 1986.
- EDWARDS, N.T. A timesaving technique for measuring respiration rates in incubated soils samples. **Soil Science Society of American Journal**, 46: 114-6, 1982.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes.** Editora Edgard Blüncher LTDA. 1976, 293 p.
- FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral do arroz.** Rio de Janeiro, Campus, Goiânia, EMBRAPA. 1984. 341 p.
- FELBECK, G.T. Chemical and biological characterization of humic matter. In: McLAREN, A.D.; SKUJINS, J. (eds.) **Soil Biochemistry.** New York, Marcel Dekker, 1971, v. 2. p. 16-35.

- FERREIRA, E.; RESENDE, C.P.; BODEY, R.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. Decomposição de liteira de diferentes cultivares forrageiras conduzidas no campo em diversas condições climáticas. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997. Rio de Janeiro. **Informação e globalização do solo**. Anais... Rio de Janeiro: SBCE, 1997. 14 par. CD-Rom.
- FOX, R.H.; MYERS, R.J.K.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. **Plant and Soil**, 129:251-259, 1990.
- FRANÇA, M.G.C. **Análise do crescimento e do acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz contrastantes em hábito de crescimento**. Seropédica, UFRRJ, Departamento de solos, 1995. 135 p. (Tese de Doutorado)
- FROSSARD, E. **Étude expérimentale de l'influence de composés organiques sur l'évolution des ions phosphates en sols ferrallitiques**. Nancy, France, I.N.P.L., ENSAIA, 1985. 136 p. (Tese Doutorado)

- FURLANI, A.M.C.; FURLANI, F. L. **Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais diversas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1988. (Boletim técnico, 121).
- GAUR, A.C.; MUKHERJEE, D. Recycling of organic matter through mulch in relation to chemical and microbiological properties of soil and crop yields. **Plant and Soil**, Netherlands, v.56, p.273-281. 1980.
- GREGORICH, E.G.; ELLERT, B.H.; MONREAL, C.M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ^{13}C abundance. **Canadian Journal of Soil Science**. Ottawa. v. 75, p. 161-167, 1995.
- GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G. de A. **Material húmico do solo: considerações gerais e métodos de determinação**. Seropédica, UFRRJ, Departamento de Solos, 1990. 66 p. (Mimeo.).
- GUPTA, R.D.; TRIPATH, B.R. Effect of organic materials on the carbon dioxide evolution and nitrogen mineralisation in some soils of north-west Himalayas. **Journal Indian Society of Soil Science**, 1: 38-42, 1986.

- GUPTA, S.R.; SINGH, J.S. The effect of plants species, weather variables and chemical composition of plant material on decomposition in a tropical grassland. **Plant and Soil**, 59:99-147, 1981.
- HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. (eds.). **Driven by nature: Plant litter quality and decomposition**. CAB international, 1997. p. 3-30.
- IWAASA, A.D.; BEAUCHEMIN, K.A.; BUCHANAN, S.J.G.; ACHARYA, S.N. Effect of stage of maturity and growth cycle on shearing force and cell wall chemical constituents of alfalfa stems. **Can. J. Anim. Science**, 76 (3):321-328, 1996.
- JACQUIN, F.; MAHENC, M.; LANDREAS, J.F. **L'évolution de la matière organique dans le sol**. Texte annoté et commenté du montage audiovisuel, 1980. 20 p.
- KONONOVA, M.M. **Materia orgánica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos-tau, 1982. 364 p.
- KRAMER, J.P.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Trad. de Antônio M. A. Magalhães. Fundação Calouste Gulbenkian. 1960, 745 p. ilustr.

- LEWIS, N.G.; YAMAMOTO, E. Lignin: occurrence, biogenesis and biodegradation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 41:455-496, 1990.
- LOPES, S.I.G.; VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J. A acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pela cultura de arroz irrigado. **Lavoura arrozeira**, v. 46; n. 411, nov./dez 1993.
- LOPES, S.I.G.; VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J. Desenvolvimento do sistema radicular de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18: 273-278, 1994.
- MARUMOTO, T.; ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Mineralization of nutrientes from soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 14, p. 469-475. 1982.
- MASON, C.F. Decomposição. São Paulo, E.P.U. EDUSP, vol. 18, 1980. 79 p.
- McVAY, K.A.; RADCLIFF, D.E.; HARGROVE, W.L. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 53, p. 1856-1862, 1989.
- MELILLO, J.M.; ABER, J.D.; MURATORE, J.M. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, 63:621-626, 1982.

- MENDONZA, H.N.S. **Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo**. Seropédica: UFRRJ. 113 p. 1996 a. (Tese de Mestrado).
- MORRISON, R.; BOYD, R. **Química orgânica**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkain. 1983. 1639 p.
- MURATA, Y.; MATSUSHIMA, S. Rice. IN: EVANS, L.T. (ed.). **Crop Physiology: some case histories**. Cambridge University Press. 1975. p. 73-99.
- NANNIPIERI, P.; JOHSON, R.L.; PAUL, E.A. Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. **Soil Biological Biochemistry**, 10: 223-9, 1977.
- NELSON, D.W.; SOMMER, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. **Agronomy Journal**, Madison, 65: 109-112, 1973.
- NUERNBERG, N.J.; VIDOR, C.; STAMMEL, J.G. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação na densidade populacional e atividade microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8: 197-203, 1984.

- OADES, J.M.; WAGNER, G.H. Biosynthesis of sugars in soil incubated with ^{14}C glucose and ^{14}C dextran. **Proc. Soil. Sci. Soc. Am.**, Madison, 35:914-917, 1971.
- ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara. 1986. 434 p.
- OGLEBSY, K.A.; FOWNES, J.H. Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. **Plant and Soil**, 43:127-132, 1992.
- OLIVEIRA, A.M.G. **Evolução da matéria orgânica, modificações no pH e alumínio trocável a partir da adição de substratos orgânicos e calcário em um Latossolo**. Seropédica: UFRRJ, 1990. 121 p. (Tese de Mestrado).
- ORLOV, D.S. **Humus acids of soils**. New Delhi, Amerind, 1985. 378 p.
- PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biological Biochemistry**, 23: 83-88, 1991.
- PERFECT, E.; KAY, B.D.; LOON, W.K.P. et al. Factors influencing soil structural stability within a growing season. **Soil Science Society Americam Journal**, Madison, v. 54, p. 173-179, 1990.

- PIZAURO Jr., J.M.; MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablab nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 95-103. 1995.
- RIZZINI, C.T. **Trabalho de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos**. São Paulo, ed. Universidade de São Paulo. 1976. 377 p.
- ROBERTSON, F.A.; MYERS, R.J.K.; SAFFIGNA, P.G. Distribution of carbon and nitrogen in a long-term cropping system and permanent pastures system. **Australia Journal Agricultural Research**, 44:1323-1336, 1993.
- SAFFIGNA, P.E.; POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian Vertisol. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 21, p. 759-765. 1989.
- SANTOS, G. de A. **Contribution a l'étude des interactions matière organique et phosphore dans un sol ferrolitique**. Nancy, France, I.N.P.L., E.N.S.A.I.A., 1984. 147 p. (Tese Doutorado).

- SANTOS, G. de A. **Métodos de extração e dosagem das frações húmicas dos solos** (trad.). Itaguaí, UFRRJ. Departamento de Solos, 1986. 18 p. (Original francês).
- SARKANEM, K.V.; LUDWIG, C.H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. John Wiley and Sons. 1971. 916 p.
- SASTRIQUES, F.O. **La materia orgánica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba**. La Habana, Academia de Ciencias de Cuba, 1982.126p.
- SCHNITZER, M. Soil organic matter - The next 75 years. **Soil Science**, v. 151, n. 1, p. 41-58, 1991.
- SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p. 581-594. (Agronomy Monograph, 9).
- SCHNITZER, M.; GUPTA, U.C. Some characteristics of the organic matter extracted from the O and B2 horizons of a gray wooded soil. **Soil Science Society of American Proceedings**, 28:374-376, 1964.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos (Métodos químicos e biológicos)**. Universidade Federal de Viçosa. 2ª ed. 1990. 165p.

- SIVAPALAN, K.; FERNANDO, V.; THENABADU, M.W. N-mineralization in poliphenol-rich plant residues and their effect on nitrification of applied ammonium sulphate. **Soil Biology Biochemistry**, 17:547-551, 1985.
- SMYTH, T.J.; BASTOS, J.B. Alterações na fertilidade de um Latossolo Amarelo álico pela queima da vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 127-132, 1984.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford Press, 1989. 277 p.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, John Wiley, 1982. 443 p.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2^a ed. New York, John Wiley, 1995. 443 p.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Ecology** – vol. 5. Berkeley and Los Angeles, Blackwell Sci. Publ. 1979. 372 p.
- TAYLOR, B.R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W.F.J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. **Ecology**, 70:97-104, 1989.

- THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, 25:1351-1361, 1993.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant – Part III Chemistry of Forages**. London, Cornell University Press : 75-94. 1989.
- VAUGHAN, D.; ORD, B.G. Soil organic matter: a perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility. In: VAUGHAN, D., MALCOLM, R.E. (eds.). **Soil organic matter and biological activity**. Boston, Martinus & Junk, 1985. p.1-34. (Developments in Plant and Soil Sciences, 16).
- VETTORI, L. **Métodos de Análise de Solo**. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo – Ministério da Agricultura. p. 15-17. 1969. (Boletim Técnico, 7).
- WEIL, R.R.; LOWEL, K.A.; SHADE, H.M. Effects of intensity of agronomic practices on a soil ecosystem. **American Journal of Alternative Agriculture**. Greenbelt, v. 8, p. 5-14, 1993.
- WHETTEN, R.; SEDEROFF, R. **Lignin biosynthesis**. The Plant Cell, 7:1001-1013, 1995.

YOUNG, L.Y.; FROZEN, A.C. The fate of lignin and lignin-derived compounds in anaerobic environments. **Geomicrobiology Journal**, 5:261-293, 1987.

ZONTA, E. **Caracterização fisiológica da resposta à adubação nitrogenada em duas cultivares de arroz**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 179 p. 1996 (Tese de Mestrado).

7. ANEXOS

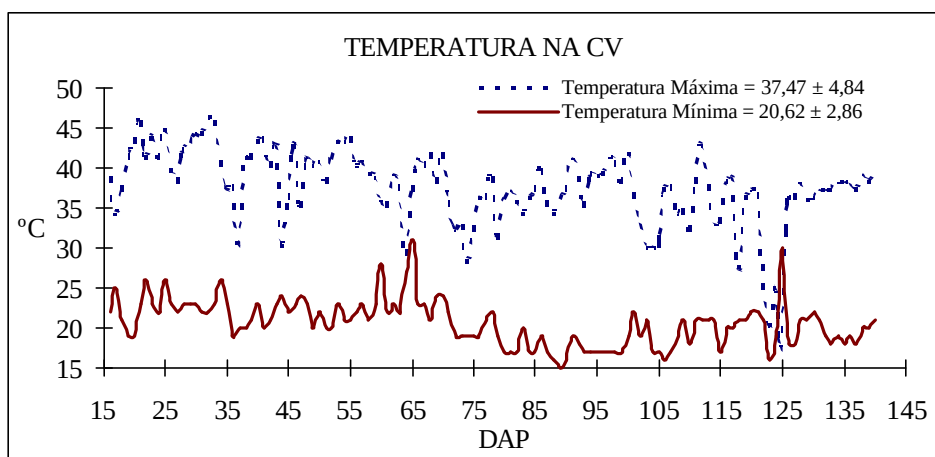
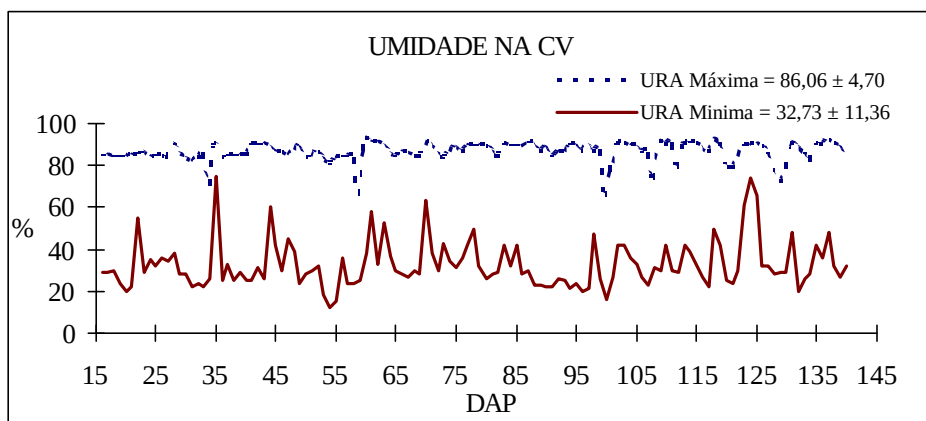
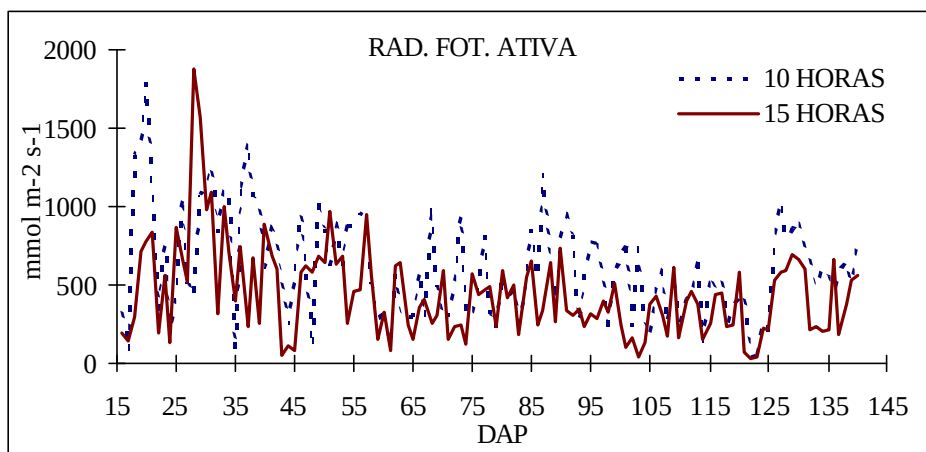
7.1. ANEXO 1

Composição da solução nutritiva utilizada para estudo do desenvolvimento.

Solução-estoque		Relação Estoque/ Solução	Solução nutritiva	
Componentes	Concentração		Nutrientes	Concentração
	g/litro	mL/litro		mg/litro
(NH ₄) ₂ SO ₄	56.6	1.0	N-NO ₃ ⁻	48.00
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	202.3	2.0	N-NH ₄ ⁺	12.00
CaCl ₂ (anidro)	90.9	4.0	Ca	200.0
K ₂ SO ₄	55.8	7.6	K	200.0
MgSO ₄ .7H ₂ O	136.9	3.0	Mg	40.5
KH ₂ PO ₄	35.1	1.0	P	8.0
FeSO ₄ .7H ₂ O	24.1	1.0	S	151.0
Na EDTA	25.1		Cl	234.0
MnCl ₂ .7H ₂ O	2.34	1.0	Fe	4.95
H ₂ BO ₂	2.04		Mn	0.67
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.88		B	0.36
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.20		Zn	0.20
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.26		Cu	0.05
			Mo	0.11

7.2. ANEXO 2

Radiação, umidade e temperatura na casa de vegetação.



7.3. ANEXO 3

Análise química e granulométrica do solo utilizado para incubação.

	Prof. (cm)	pH H ₂ O	Complexo sortivo				N	C	C/N	P
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Al ⁺⁺⁺	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹
			cmol _c kg ⁻¹							
LVA	0-15	4,7	20	8	3,1	20	2	19,8	10	7

Análise granulométrica						
		%				
Prof. (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte grossa	Silte fina	Argila	
LVA	0-15	33	18	10	11	28