

## QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO E A MITIGAÇÃO DA MUDANÇA CLIMÁTICA

**Taiana Almeida de PAULA (1); Cláudia Magalhães do VALLE (1)\***

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas – CEFET-AM, Av. sete de setembro, 1975, Centro CEP 69020-120, Manaus/AM (92) 3621-6735, fax (92) 3635-1981; email: [taiana8@gmail.com](mailto:taiana8@gmail.com)

(\*) E-mail: [cmvalle@cefetam.edu.br](mailto:cmvalle@cefetam.edu.br)

### RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo principal quantificar o estoque de carbono do solo em três pontos de amostragens com diferentes tipos de solo no município de Manaus/Amazonas, dando ênfase à Química Ambiental discutindo o papel do carbono do solo na mitigação da mudança climática. As amostras foram coletadas nos meses de out/2006 e jul/2007. Foram realizadas análise granulométrica, umidade e densidade para a caracterização física, e determinação de pH, carbono orgânico, matéria orgânica e acidez potencial para a caracterização química. Foi observado maior estoque de carbono nos Argissolos seguido pelos Latossolos e por fim nos Espodossolos, o estoque de carbono do solo diminui exponencialmente com a profundidade. Os teores de carbono encontrado nas três áreas de coleta foram bastante diferentes: Distrito Industrial (11,80-37,85 g kg<sup>-1</sup>), Universidade Federal do Amazonas (14,56-23,43 g kg<sup>-1</sup>) e Avenida Grande Circular (3,64-21,76 g kg<sup>-1</sup>), observaram-se maiores variações do estoque de carbono entre os períodos de amostragens em áreas onde seu conteúdo foi maior, especialmente na área do Distrito Industrial (56%). A análise estatística revelou uma correlação entre os teores de carbono, matéria orgânica, argila e acidez potencial isso combinado com o teor de umidade. De modo geral observou-se que o estoque de carbono do solo se encontra em diferentes compartimentos com diferentes taxas de distribuição. Considerando que o interesse do Protocolo de Kyoto esta nas mudanças dos níveis de carbono num determinado compartimento do solo, conclui-se que este trabalho em muito contribuirá na discussão do papel do carbono na mitigação da mudança climática.

**Palavras-chave:** Efeito estufa, Estoque de carbono, Solo, Mudança climática.

## 1. INTRODUÇÃO

O planeta Terra sempre sofreu influência de seus habitantes, mas essa influência começou a modificar o ecossistema principalmente após a Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII. Com o crescimento da população, se fez necessário o desenvolvimento de tecnologias que possibilitassem uma maior produção de energia, uma dessas medidas criadas foi a queima de combustíveis fósseis, processo que está entre as principais fontes de poluentes atmosféricos, como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , compostos orgânicos voláteis e aerossóis (BAEDE et al., 2001).

O sistema climático é interativo e constituído por cinco grandes componentes, atmosfera, hidrosfera, criosfera, biosfera e superfície terrestre, influenciado por vários mecanismos externos no qual o Sol é o mais importante. Além disto, os efeitos diretos das atividades humanas no sistema climático são considerados como mecanismos externos (MACHADO, 2005).

Devido o estabelecimento em dezembro de 1997 do Protocolo de Kyoto<sup>1</sup>, o qual definiu metas de redução nas emissões de gases de efeito estufa para atmosfera. Nos últimos dez anos vem crescendo o interesse em estudar o ciclo do carbono e o impacto de  $\text{CO}_2$  e de outros gases antrópicos no regime climático, especialmente na temperatura.

Os ecossistemas terrestres que compreendem a vegetação e o solo são considerados atualmente como um grande sumidouro de carbono, especialmente os solos. Há varias maneiras pelo qual o manejo apropriado da biosfera, particularmente do solo, pode resultar em significativa redução no aumento dos gases de efeito estufa (GARRITY et al., 2001).

Há consenso na comunidade científica internacional sobre o seguinte aspecto: se não houver nenhuma ação mitigadora, os efeitos da mudança climática serão devastadores, onde ocorrerá aumento na incidência de temporais intercalados por anos de seca prolongada (FEARNSIDE, 2001). Assim, a mudança climática global poderá ser o problema ambiental mais crítico e complexo a ser enfrentado pela humanidade ao longo do século XXI.

Considerando estes fatos, a proposta deste trabalho é realizar um estudo quantitativo do estoque de carbono em três áreas distintas no município de Manaus/AM, dando ênfase à química ambiental discutindo o papel do carbono do solo na mitigação da mudança climática.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Ciclo do carbono

O ciclo do carbono (C) natural funciona da seguinte forma: o  $\text{CO}_2$  entra na atmosfera a partir da respiração dos animais e vegetais, da decomposição e queima das substâncias orgânicas e da atividade dos oceanos. A seguir, volta ao solo através da fotossíntese das plantas terrestres e dos plânctons oceânicos. O C na Terra está essencialmente na forma de compostos orgânicos e carbonatos ou sob a forma de gás ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera. O ciclo do C consiste na transferência deste elemento, por meio de queima, respiração, reações químicas, para a atmosfera ou para o mar e a sua reintegração na matéria orgânica (MO) (GAUDARD, 2007).

As emissões de C são influenciadas por fatores de origem humana e natural. Por exemplo, uma erupção vulcânica de grandes dimensões pode fazer aumentar temporariamente a concentração de C na atmosfera. É muito importante ter presente, que apesar de alguns sistemas naturais constituírem grandes reservatórios de C (como o oceano), a dinâmica do seu ciclo é, sobretudo controlada pelos sistemas que têm capacidade de trocá-lo ativamente com a atmosfera, como é o caso da vegetação e do solo. Já o oceano tem baixa capacidade de sumidouro porque a molécula de  $\text{CO}_2$  não se dissolve facilmente na água e grande parte dos oceanos tem uma baixa produtividade de MO, isto é, as plantas que ali vivem, por exemplo, algas, são poucas e com a fotossíntese limitada pela falta de nutrientes e pela fraca penetração da luz. Por outro lado, a fotossíntese que ocorre nas plantas terrestres é responsável pela retenção de C atmosférico no material vegetal e, eventualmente, na MO no solo (PACHECO; HELENE, 1990).

---

<sup>1</sup> O Protocolo de Kioto foi o resultado da 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada no Japão, em 1997. Entrou em vigor em fevereiro/2005.

Além das emissões de CO<sub>2</sub> pela indústria e pelo sistema de transportes, as alterações de uso do solo, nomeadamente, a transformação de florestas em zonas agrícolas, constituem uma fonte líquida de CO<sub>2</sub> para a atmosfera a nível global. Estima-se que cerca de 20% da floresta desapareceu durante os últimos 140 anos em resultado da conversão de floresta em agricultura, para satisfazer as necessidades alimentares de uma população em crescimento. A exploração intensiva de culturas agrícolas, que têm uma baixa taxa de retenção de C, a que se junta o crescente uso de fertilizantes, são também responsáveis pelo aumento dos gases de estufa CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub> na atmosfera. A floresta, em contrapartida, pode acumular, a longo prazo, grandes quantidades de C, quer no material vegetal, quer na MO do solo. As florestas são, em larga medida, os reservatórios de C mais importante da biosfera em termos globais. Uma redução global da área destes ecossistemas naturais terá impactos negativos sobre a capacidade de sumidouro da biosfera (GAUDARD, 2007).

## 2.2. Efeito estufa

Como qualquer outro corpo aquecido, a Terra emite energia; a quantidade de energia emitida deve ser igual à quantidade de energia liberada para que a temperatura se mantenha constante. A energia emitida pela Terra se encontra na região do infravermelho (IR), apresentando comprimento de onda entre 4–50 µm; essa região é chamada de IR térmico porque a energia emitida é uma forma de calor (BAIRD, 2002).

Alguns gases presentes podem absorver temporariamente luz infravermelha de comprimentos de onda específica, assim nem todo o IR emitido pela superfície da Terra e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Logo após sua absorção pelas moléculas presentes no ar, como CO<sub>2</sub> e vapor d'água, a luz infravermelha é reemitida em todas as direções, de modo completamente aleatório. Deste modo, uma parte do IR térmico é direcionada de volta em direção à superfície, sendo reabsorvida, e conseqüentemente provocando o aquecimento adicional, esse fenômeno, o redirecionamento ou desvio do IR térmico em direção à Terra, é chamado de **efeito estufa** (BAIRD, 2002).

O efeito estufa é um processo natural ocasionado pelo acúmulo de gases, que formam uma barreira que impede o calor do Sol de sair da atmosfera. Esse fenômeno é o que mantém o planeta aquecido e possibilita a vida na Terra. Entretanto, quando a concentração desses gases é excessiva, mais calor fica retido na atmosfera, provocando o aquecimento global (IPCC, 2005).

A saúde humana será posta em risco pelo aquecimento global, é provável que ocorra ondas de calor extremo durante os verões, e conseqüentemente, menos onda de frio durante o inverno. É previsível um aumento da presença de insetos portadores de doenças, como malária em regiões em que os habitantes não desenvolveram qualquer imunidade, ou intensificando a transmissão em regiões onde essa enfermidade já é preponderante. Sociedades mais pobres e menos desenvolvidas seriam as mais vulneráveis a tais problemas. A habilidade das pessoas em adaptar-se às mudanças climáticas depende de fatores como riqueza, tecnologia, infra-estrutura e acesso aos recursos naturais. Além disso, as sociedades mais pobres do mundo dependem mais de recursos como: hídricos e agrícolas, justamente os sistemas que mais deverão sofrer os efeitos da mudança do clima (BAIRD, 2002; IPCC, 2005).

## 2.3. O carbono do solo

O estoque de C de um solo sob vegetação natural representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização. A qualidade do C da vegetação depende muito do clima (principalmente temperatura do ar e chuvas), do tipo de vegetação e da fertilidade do solo (solos férteis resultam em plantas maiores que contêm mais C a ser depositado no solo). Os processos de transformação do C são fortemente influenciados pelo clima, tipo e qualidade da MO e suas associações químicas e físico-químicas com os componentes minerais do solo (MACHADO, 2005).

Em solos sob vegetação natural, a preservação da MO tende a ser máxima, pois o revolvimento do solo é mínimo, sendo o aporte de C nas florestas mais elevado do que em áreas cultivadas. Em áreas cultivadas, os teores de MO, via de regra, diminuem, já que as frações orgânicas são mais expostas ao ataque de microrganismos, em função do maior revolvimento e desestruturação do solo.

Os três principais processos responsáveis pelo seqüestro de C nos solos são a humificação, agregação e sedimentação, e os processos responsáveis pelas perdas de C no solo são: a erosão, decomposição volatilização e lixiviação. Um dos fatores que está sendo enfatizados como o mais importante nos processos de seqüestro do C no solo é a agregação do solo realizada pela ação de fungos e substâncias orgânicas

proveniente das raízes, outro fator observado no Brasil foi a adoção do plantio direto, pois favoreceu a agregação do solo (KIEHL, 1979).

## 2.4. Mitigação

Previsões climáticas têm levado várias organizações a propor regras de conduta, com a finalidade de minimizar a emissão dos gases causadores do efeito estufa – GEEs. A redução dos GEEs é uma das metas do Protocolo de Kyoto. Para possibilitar a implementação de seus propósitos, o Protocolo de Kyoto estabeleceu mecanismos comerciais como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um ponto importante desse projeto é o resgate de emissões e fixação de carbono através das florestas, denominados projetos de “seqüestro de carbono”. Esse tipo de projeto, além de reduzir CO<sub>2</sub> da atmosfera, contribui para o desenvolvimento sustentável, provendo diversos bens e produtos úteis ao homem (COTTA; TONELLO, 2005).

As medidas de redução do efeito estufa no MDL são: redução de emissão através de aumento da eficiência energética, do uso de fontes e combustíveis renováveis, adotando melhores tecnologias e sistemas para o setor de transporte e para o processo produtivo de modo geral; resgate de imissões por meio de sumidouros e da estocagem dos gases de efeito estufa, a injeção de CO<sub>2</sub> em reservatórios geológicos ou em atividades relacionadas ao uso da terra, como o florestamento e o reflorestamento (COTTA; TONELLO, 2005).

O Brasil tem vantagens e desvantagem na participação no Protocolo de Kyoto, as três grandes vantagens são: ser um país de renda média, o que o deixa fora dos compromissos de redução de emissões de C correspondente aos países desenvolvidos; ter uma matriz energética com forte peso na hidroeletricidade e possuir em seu território 16% das florestas mundiais. A grande desvantagem é ter uma grande emissão do C derivada do uso da queimada na agricultura tradicional e do desmatamento na Amazônia. As emissões de C no Brasil são aproximadamente 2,5% das emissões mundiais: aproximadamente 25% vindo da indústria e agricultura moderna e 75% vindo da agricultura tradicional (VIOLA; LEIS, 2002).

## 3. MATERIAIS E METODOS

### 3.1. Área de estudo

#### 3.1.1. Localização geográfica da área de estudo

Manaus está localizada a leste (latitude: 2°57' – 3°10' e longitude: 59°53' – 60°07'); do Estado do Amazonas (Figura 1), com área territorial de 14.337 km<sup>2</sup>. O Amazonas está localizado na região Norte, sua posição geográfica é limitada pelas latitudes: norte - 02°08'30" e sul - 09°49'00", longitudes: leste - 56°04'50" e oeste - 73°48'46"; é o Estado com maior área territorial do Brasil com 1.577.820,2 km<sup>2</sup> (www.pmm.am.gov.br).

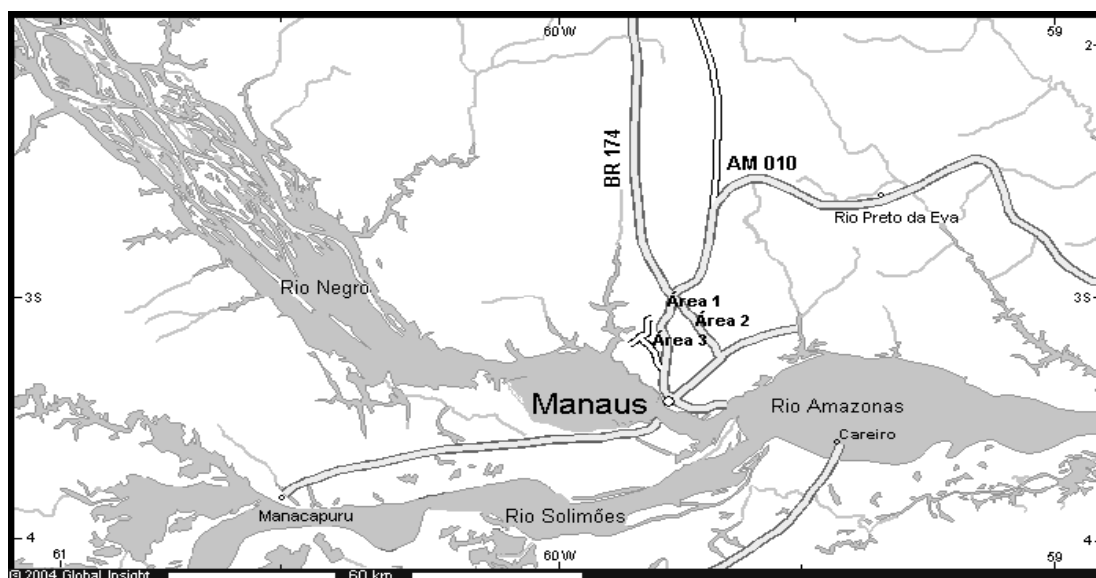


Figura 1 - Localização geográfica das áreas de estudo 1, 2 e 3, na cidade de Manaus, (Fonte:www.multimap.com).

### 3.1.2. Procedimento de amostragem

Foram realizadas quatro amostragens de outubro/2006 e julho/2007, resultando em 24 amostras. Na primeira amostragem, fez-se o reconhecimento da área e a escolha dos locais de coleta, identificação das amostras, com descrições dos locais amostrados, tipo de solo, cor (usando o sistema Munsell Color Charts, 1975) e localização geográfica usando um GPS (Global Position System). Nas demais amostragem, foram repetidos os procedimentos da primeira. Os solos foram coletados em profundidade (perfil do solo), com auxílio de uma pequena pá e um trado metálico do tipo “caneco”, em intervalos de 20 cm. As amostras foram homogeneizadas e armazenadas em saco de plástico.

A tabela 1 apresenta um resumo dos três pontos amostrados, nas três áreas de coleta, indicando sua localização geográfica, a cor Munsell, tipo de solo, profundidade do perfil e o total geral das amostras coletadas, assim como o código que será usado para cada amostra ao longo deste trabalho.

**Tabela 1 – Localização geográfica das áreas de coleta, cor Munsell, tipo de solo e profundidade coletada nas três áreas do município de Manaus.**

Área coletada	Solo <sup>a</sup>	Coordenadas	Pontos de coleta	PP <sup>b</sup> (cm)	Cor Munsell	Nº de amostras
Avenida Grande Circular	Espodossolos	03 <sup>0</sup> 05' 61" S 59 <sup>0</sup> 57' 56" W	AGC	0-20	10 YR 7/4 amarelo	8
				20-40		
Universidade Federal do Amazonas	Latossolos	03 <sup>0</sup> 05' 57" S 59 <sup>0</sup> 57' 62" W	UFAM	0-20	5 Y 5/3 bruno-amarelado	8
				20-40		
Distrito Industrial	Argissolos	03 <sup>0</sup> 05' 88" S 59 <sup>0</sup> 57' 62" W	DI	0-20	5 Y 6/1 amarelo-claro-acinzentado	8
				20-40		
Quantidade total de amostras coletadas						24

<sup>a</sup> De acordo com a classificação brasileira de solos (Embrapa, 1999a).

<sup>b</sup> PP = profundidade do perfil em cm.

## 3.2. Procedimentos Analíticos

### 3.2.1. Preparação das amostras

Uma parte das amostras coletadas foram deixadas na forma *in natura*, e o restante secada ao ar à temperatura ambiente, desagregadas manualmente e peneiradas em uma peneira de malha de 2 mm de abertura e homogeneizadas, sendo denominadas terra fina seca ao ar (TFSA).

### 3.2.2. Análise de caracterização física e química

As análises de caracterização física e química são rotineiras em análises de solos e possibilitam uma comparação entre as amostras, e foram realizadas conforme metodologia descrita pela Embrapa (1999b) no laboratório de análise de solo da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas.

## 4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Foram realizadas análise granulométrica, umidade e densidade para a caracterização física, e determinação de pH, C orgânico, MO, alumínio trocável e acidez potencial para a caracterização química (Tabela 2).

Os resultados da análise granulométrica (teores de argila, silte e areia) foram utilizados para classificar texturalmente os solos coletados nas três áreas de coleta (Figura 1), de acordo com o triângulo textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

**Tabela 2 - Resultados das análises químicas e físicas.**

Local de Coleta	Amostra/ Perfil (cm)	Fração do solo (%)			Classe Textural	(%) U	(g/cm <sup>3</sup> ) D	pH		DpH	(cmol kg <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	(g kg <sup>-1</sup> )	
		Argila	Silte	Areia				H <sub>2</sub> O	KCl		H+Al	C	MO
Universidade Federal do Amazonas	UFAM-0-20-1 <sup>a</sup>	46,43	4,10	19,47	Argiloso	1,80	1,25	4,21	3,47	-0,76	6,60	18,30	31,55
	UFAM-20-40-1 <sup>a</sup>	54,20	7,92	37,88		1,80	1,21	4,23	3,47	-0,76	7,87	16,55	28,55
	UFAM-0-20-2 <sup>a</sup>	50,21	8,85	40,94		6,91	1,08	4,64	3,94	0,71	7,76	14,56	25,10
	UFAM-20-40-2 <sup>a</sup>	47,13	8,40	44,47		11,45	1,01	4,46	4,00	-0,46	5,82	26,43	45,57
	UFAM-0-20-3 <sup>a</sup>	43,45	7,21	49,57		7,73	1,07	4,39	3,73	-0,66	5,07	19,58	34,02
	UFAM-20-40-3 <sup>a</sup>	45,30	7,17	48,04		5,67	1,07	4,35	3,70	-0,65	5,36	22,59	28,94
	UFAM-0-20-4 <sup>a</sup>	49,11	5,76	45,14		5,26	1,02	4,26	3,75	-0,51	5,57	14,94	30,93
	UFAM-20-40-4 <sup>a</sup>	44,16	5,47	49,90		5,21	1,05	4,62	4,05	-0,57	5,68	15,35	26,46
Distrito Industria	DI-0-20-1 <sup>a</sup>	29,73	3,95	67,32	Franco Argilo-arenoso	1,49	1,23	4,36	3,62	-0,74	8,50	16,10	27,76
	DI-20-40-1 <sup>a</sup>	32,02	4,56	62,62		1,28	1,23	4,47	3,63	-0,84	5,61	11,98	20,65
	DI-0-20-2 <sup>a</sup>	35,27	6,54	58,19		9,03	1,08	4,66	4,23	-0,43	4,95	37,85	65,27
	DI-20-40-2 <sup>a</sup>	31,03	2,83	40,36		8,39	1,09	4,56	4,21	-0,35	5,28	35,00	60,38
	DI-0-20-3 <sup>a</sup>	33,24	6,76	60,00		6,66	1,11	4,59	3,85	-0,74	5,25	22,17	38,22
	DI-20-40-3 <sup>a</sup>	35,22	4,65	60,14		1,74	1,09	4,58	3,87	-0,71	5,35	24,03	14,43
	DI-0-20-4 <sup>a</sup>	29,62	3,56	66,83		5,20	1,13	4,75	4,16	-0,59	5,98	15,35	26,46
	DI-20-40-4 <sup>a</sup>	33,63	5,44	60,94		5,23	1,09	4,89	4,24	-0,65	5,37	11,80	20,35
Avenida Grande Circular	AGC-0-20-1 <sup>a</sup>	19,38	2,60	18,02	Franco arenoso	0,38	1,46	5,25	3,95	-1,08	1,57	7,10	12,09
	AGC-20-40-1 <sup>a</sup>	19,28	3,52	77,17		0,79	1,44	5,20	4,53	-1,15	1,73	7,84	10,07
	AGC-0-20-2 <sup>a</sup>	21,16	7,51	71,33		4,26	1,28	5,40	4,41	-0,99	1,98	4,53	7,81
	AGC-20-40-2 <sup>a</sup>	21,46	2,67	76,65		3,09	1,31	5,65	4,74	-0,93	1,49	3,64	6,28
	AGC-0-20-3 <sup>a</sup>	10,02	5,36	84,62		5,38	1,25	4,48	3,82	-0,66	3,63	21,76	37,51
	AGC-20-40-3 <sup>a</sup>	11,01	4,45	84,53		1,04	1,34	4,45	3,84	-0,61	4,78	17,51	30,18
	AGC-0-20-4 <sup>a</sup>	9,46	5,85	84,69		5,09	1,36	4,63	4,17	-0,47	3,96	7,08	12,21
	AGC-20-40-4 <sup>a</sup>	13,20	4,75	82,05		5,12	1,30	4,66	4,28	-0,39	4,13	7,35	12,62

<sup>a</sup>(cmol kg<sup>-1</sup>) = centímol de carga por quilograma, nesta unidade o c=centi=0,01; mol=mol de carga; o k=quilo=1000, o g=grama (unidade de massa);

<sup>b</sup>ND = não detectado;

Os resultados representam uma média = duas repetições (duplicata).

Observa-se que as amostras da AGC apresentam um domínio de teor de areia; o que era esperado, pois esse tipo de solo contém pequena concentração de MO, de acordo com a seguinte correlação: % C x Areia total = correlação negativa; maior o percentual de areia total, menor o percentual de C orgânico, portanto, solo mais arenoso, mais pobre em MO, observa-se ainda que nesta área as frações argila, silte e areia não mostraram grandes variações.

Na área da UFAM os resultados encontrados foram diferentes dos da AGC, na classificação textural, havendo predominância da fração argila. Na área do DI o teor de areia se encontra menor quando relacionada ao solo coletado na área da AGC, mas não quando comparado ao solo da UFAM, que apresenta um teor de areia e de argila em equilíbrio, porém alto. Sendo esperado nesta área uma maior concentração de C orgânico, visto que o C orgânico e o teor de argila têm uma correlação positiva, o que foi observado em quase todas as amostras.

Com relação às características químicas, observa-se que os valores de pH das amostras da AGC são menos ácidas que as demais variando entre 4,45-5,65 em H<sub>2</sub>O e 3,82-4,74 em KCl. Já nas outras duas áreas, o valor encontrado foi mais ácido variando entre 4,21-4,64 em H<sub>2</sub>O e 3,47-4,00 em KCl, na UFAM e de 4,36-4,75 em H<sub>2</sub>O e 3,62-4,23 em KCl, no DI.

Por meio dos parâmetros de pH<sub>H2O</sub> e pH<sub>KCl</sub> (Tabela 2), calculou-se o ΔpH (ΔpH = pH<sub>KCl</sub> – pH<sub>H2O</sub>) utilizado para se obter uma estimativa da carga líquida do solo. Todas as amostras de solo apresentaram um ΔpH negativo (pH<sub>KCl</sub> < pH<sub>H2O</sub>), o que indica uma predominância de cargas negativas, adsorvendo maior quantidade de cátions do que de ânions (VALLE et al., 2005).

Os resultados dos teores de C e MO foram, em geral, baixos nas amostras da AGC, que são bastante arenosas. Entretanto, nas amostras da UFAM e DI os teores foram altos variando entre 14,56-26,43 g kg<sup>-1</sup> para C e 25,10-45,57 g kg<sup>-1</sup> para MO, e 11,80-37,85 g kg<sup>-1</sup> para C e 20,35-65,27 g kg<sup>-1</sup> para MO, respectivamente. Com relação à variação da MO nos perfis, a tendência natural é diminuir com a profundidade, o que foi observado em quase todos os perfis de amostragem com exceção das camadas: UFAM-20-40-2<sup>a</sup> e AGC-20-40-4<sup>a</sup>. Considerando o alto teor de MO do DI, é importante ressaltar que parte dessa MO é proveniente da descarga de esgoto doméstico, em sua maioria *in natura*, e de efluente industrial, os quais são despejados nos leitos dos igarapés dessa área (VALLE et al., 2005). Portanto, essa MO deve ter composição e distribuição bastante diferente da encontrada nas amostras da UFAM e da AGC.

Acidez potencial corresponde ao H<sup>+</sup> não trocável (que pode ser liberado à solução do solo se o pH tender a aumentar), e Al<sup>3+</sup> trocável (que pode se hidrolisar na solução do solo acidificando o solo). As fontes de acidez no solo são: ácido carbônico, fertilizantes acidificantes (especialmente aqueles com nitrogênio na forma amoniacal), mineralização dos compostos orgânicos (pela liberação do amônio e formação de ácidos orgânicos), adsorção de cátions pelas raízes das plantas e hidrólise do Al<sup>3+</sup> (KIEHL, 1979).

O comportamento da acidez potencial foi aparentemente similar aos de argila, C e MO, apresentando baixos teores nas amostras da AGC, variando entre 1,49-4,78 cmol kg<sup>-1</sup>. Entretanto, nas amostras da UFAM e DI os teores foram altos variando entre 5,07-7,87 cmol kg<sup>-1</sup> e 4,95-8,50 cmol kg<sup>-1</sup>, respectivamente. O que indica uma correlação entre esses parâmetros.

Outra característica que se observa na literatura é a correlação positiva entre o teor de umidade e o teor de MO, maior umidade equivalente, significa mais água, menor temperatura, melhor condições para acúmulo de MO e percentual de C (YU, 2004), este fato foi observado nestas amostras.

Foi calculado o estoque de carbono/EC (Tabela 3), utilizando a equação 1, referente às amostras coletadas.

$$EC = C \times \rho \times p/10 \quad [Eq. 01]$$

Sendo  $\rho$  = densidade aparente, expressa em g/cm<sup>3</sup>, e  $p$  = profundidade do perfil em cm.

Observa-se que o EC tem o mesmo comportamento da MO, diminui exponencialmente com a profundidade. Em geral, 39-70% do C total na camada de 0-100 cm de solo mineral, está presente nos primeiros 30 cm e 58-81% nos primeiros 50 cm. Perdas ou aportes do EC do solo são maiores no horizonte superficial, que abrangem o intervalo de 0 a 15 cm (MACHADO, 2005), portanto uma variação significativa é de se esperar quando comparados os valores de teor de carbono nas camadas de solo amostradas. As maiores variações

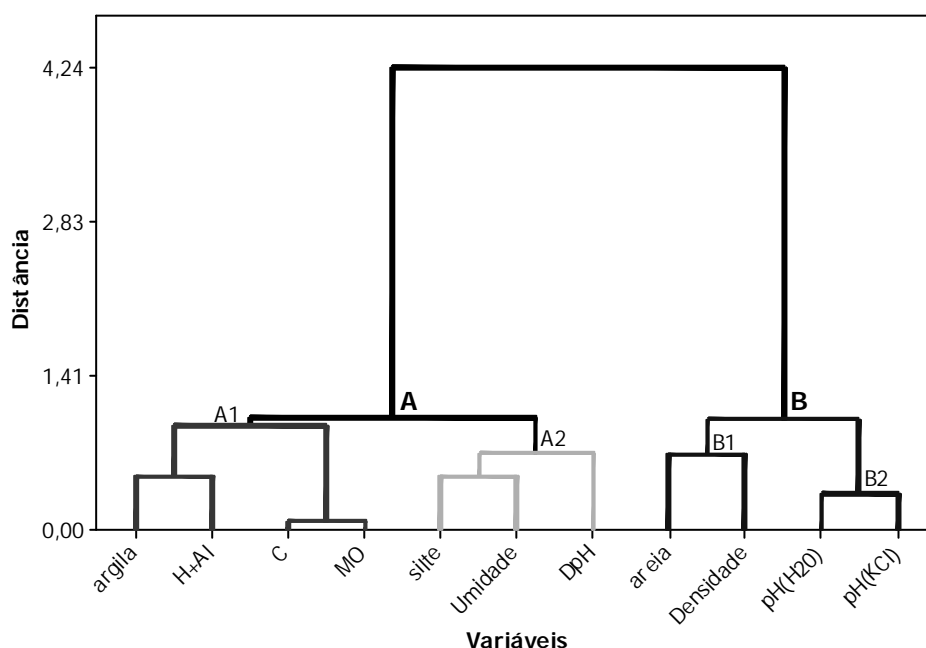
do EC de carbono entre os períodos de amostragens se deu em áreas onde seu conteúdo foi maior, especialmente na área do DI (56%), como pode ser observado na tabela 3.

**Tabela 3 - Estoque de carbono nas amostras coletadas.**

Amostra	EC (Mg C ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Amostra	EC (Mg C ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Amostra	EC (Mg C ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>
UFAM-0-20-1 <sup>a</sup>	45,75	DI-0-20-1 <sup>a</sup>	39,61	AGC-0-20-1 <sup>a</sup>	20,73
UFAM-20-40-1 <sup>a</sup>	40,05	DI-20-40-1 <sup>a</sup>	29,47	AGC-20-40-1 <sup>a</sup>	22,58
UFAM-0-20-2 <sup>a</sup>	31,45	DI-0-20-2 <sup>a</sup>	81,76	AGC-0-20-2 <sup>a</sup>	11,60
UFAM-20-40-2 <sup>a</sup>	53,39	DI-20-40-2 <sup>a</sup>	76,30	AGC-20-40-2 <sup>a</sup>	9,54
UFAM-0-20-3 <sup>a</sup>	41,90	DI-0-20-3 <sup>a</sup>	49,22	AGC-0-20-3 <sup>a</sup>	54,40
UFAM-20-40-3 <sup>a</sup>	48,34	DI-20-40-3 <sup>a</sup>	52,39	AGC-20-40-3 <sup>a</sup>	46,93
UFAM-0-20-4 <sup>a</sup>	30,48	DI-0-20-4 <sup>a</sup>	34,69	AGC-0-20-4 <sup>a</sup>	19,26
UFAM-20-40-4 <sup>a</sup>	32,24	DI-20-40-4 <sup>a</sup>	25,72	AGC-20-40-4 <sup>a</sup>	19,11

<sup>a</sup>(Mg C ha<sup>-1</sup>)=mega grama de carbono por hectare.

Foi construído um dendrograma (Figura 2) das variáveis utilizando a análise de agrupamento hierárquico (HCA), pois a proximidade ou agrupamento entre duas ou mais variáveis aponta uma correlação entre estas variáveis do conjunto de dados estudados (MOITA NETO, 1998), visando estabelecer um grau de correlação entre as variáveis.



**Figura 2 – Dendrograma obtido por HCA das variáveis de todas as amostras.**

Analisando o dendrograma podemos ver a formação de dois grandes grupos (A e B), ambos os grupos foram divididos em dois subgrupos (A1 e A2; B1 e B2, respectivamente). Os conjuntos de agrupamentos sugerem correlações entre as variáveis, por exemplo, o subgrupo A1 mostra que há uma correlação entre as variáveis argila, acidez potencial, C e MO isso combinado com o subgrupo A2, teores de umidade, silte e  $\Delta pH$ , confirmando as correlações observadas anteriormente.



## 5. CONCLUSÃO

Os Argissolos apresentaram maiores teores de carbono, estes solos têm boa representatividade na região. Os menores teores foram encontrados nos Espodosolos, o que pode ser atribuído, em parte, ao fato dessa área ter sofrido desflorestamento, aumentando assim a ocorrência de transferência de carbono para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>, resultando no aumento dos gases de efeito estufa.

Com o desmatamento, ocorre um desequilíbrio drástico, reduzindo o teor de MO e conseqüentemente de carbono no solo, se não houver um manejo apropriado do solo, a tendência será um desequilíbrio nos níveis desses dois parâmetros. Se houver adições temporárias de adubação orgânica, o equilíbrio se refaz. Assim, é claro que ecossistemas com grande biomassa e com o solo pouco perturbado, como as florestas, retêm o carbono numa escala temporal muito maior.

De modo geral observou-se que o estoque de carbono do solo se encontra em diferentes compartimentos com diferentes taxas de distribuição. Considerando que o interesse do protocolo de Kyoto está nas mudanças dos níveis de carbono num determinado compartimento do solo, conclui-se que este trabalho em muito contribuiu na discussão do papel do carbono na mitigação da mudança climática.

## REFERÊNCIAS

BAEDE, P.P.M.; AHLONSOU, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D. **Climete Change**. In: The Scientific Basis. HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. Cambridge: Cambridge University Press, chap. 1. **2001**.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 622 p, **2002**.

COTTA, M.K; TONELLO, K.C. **Os projetos Florestais no Contexto das Mudanças Climática**. Agrener, 8 p, **2005**.

VALLE, C.M., SANTANA, G.P., AUGUSTI, R., EGREJA FILHO, F.B., WINDMÖLLER, C.C. **Speciation and quantification of mercury in Oxisol, Ultisol and Spodosol from Amazon (Manaus, Brazil)**. Chemosphere 58: 779-792, **2005**.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 412 p, **1999a**.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análises de Solo e Planta**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 212p, **1999b**.

FEARNSIDE, P. M. **Ecological Economics**. 39: 167-173, **2001**.

GARRITY, D.; FISHER, M **Proceedings of the Workshop on Tropical Agriculture in Transition: Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions, Center for Development Research**. Bonn, Germany, **2001**.

GAUDARD, D.M. **A origem do Mercado de Crédito do Carbono**. Ministério de Minas e Energia, Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/artigos>> Acesso em 30 de março de **2007**.

IGO, F. L. **Solos, Formação e Conservação**. São Paulo: Melhoramentos, 157 p, **1992**.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/um/ipccwgl1s.pdf>> Acesso em: 11 de março de **2007**.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia, Relações Solo – Planta**. São Paulo: Agronômica. Cap. 15, **1979**.

Localização Geográfica do Estado do Amazonas, disponível em: <<http://www.pmm.am.gov.br>> acesso em 03 de março 2007.

MACHADO, P.O. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Quim. Nova, v. 28(2): 239-334, **2005**.

MOITA, G.C.; MOITA NETO, J.M. **Uma Introdução à análise exploratória de dados multivariados**. Quim. Nova, 21(4): 467-469, **1998**.

MUNSELL Color Charts, 1975. Baltimore, Md., Munsell Color. Mabeth Division of Kollmogen Corporation, 22 p.

VIOLA, E.; LEIS, H.R. **Governabilidade Global Pos-utópica, Meio Ambiente e Mudança Climática** (Paper preparado para o seminário de "De Rio a Johannesburgo – La Transición hacia el Desarrollo Sustentable: Perspectivas de América Latina y el Caribe", **2002**.

YU, C.M. **Sequestro Florestal do carbono no Brasil – Dimensões políticas socioeconômicas e ecológica**. In: SANQUETA, C. et al., (Eds.) *Fixação de carbono: Atualidades, projetos e pesquisas*. Curitiba: Laboratório de Inventário Florestal-UFPR/Instituto Ecoplan, p. 1-24, **2004**.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à FAPEAM pelo financiamento do projeto. Agradecem também ao contínuo apoio do CEFET-AM.