



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**TESE DE DOUTORADO**

**TRANSFERÊNCIA QUÍMICA NA CADEIA SOLO - MANDIOCA -  
CABELO HUMANO NA REGIÃO DE CAXIUANÃ (ESTADO DO PARÁ) E  
SUA IMPORTÂNCIA AMBIENTAL**

**Tese apresentada por:**

**MARCILÉIA SILVA DO CARMO**

---

**BELÉM  
2008**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Carmo, Mariléia Silva

C287t            Transferência química na cadeia solo-mandioca-cabelo humano na região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância ambiental/ Mariléia Silva do Carmo – 2008

238 f. : il.

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

Orientador, Marcondes Lima da Costa, Co-orientador Dirse Clara Kern.

1. Solo. 2. Terra Preta. 3. Fertilidade. 4. Mandioca. 5. Mineralograma. 6. Fator de Transferência. I. Universidade Federal do Pará. II.Costa, Marcondes Lima da, Orient. III. Kern, Dirse Clara, Co-orient. IV. Título.

CDD 20º ed.: 631.422

---



**Universidade Federal do Pará**

**Instituto de Geociências**

**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**TRANSFERÊNCIA QUÍMICA NA CADEIA SOLO - MANDIOCA  
- CABELO HUMANO NA REGIÃO DE CAXIUANÃ (ESTADO  
DO PARÁ) E SUA IMPORTÂNCIA AMBIENTAL**

TESE APRESENTADA POR

**MARCILÉIA SILVA DO CARMO**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em  
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **02/ 05/ 2008**

Co-orientadora: **Dra. Dirse Clara Kern**

Comitê de Tese:

MARCONDES LIMA DA COSTA – (Orientador)

CARLOS ERNESTO GONCALVES R. SCHAEFER

WENCESLAU GERALDES TEIXEIRA

MARIA DE LOURDES PINHEIRO RUIVO

VANDA PORPINO LEMOS

Belém

## RESUMO

A região de Caxiuanã, localizada no estado do Pará, se destaca pela ocorrência de vários sítios com solos tipo Terra Preta Amazônica (TPA). São solos caracterizados pela cor preta, pela presença de fragmentos cerâmicos e pelas concentrações elevadas de Ca, Mg, Mn, P, Zn e C, quando comparados com os solos amazônicos. São solos férteis, utilizados para agricultura de subsistência, principalmente a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Com o objetivo de conhecer as características físicas, químicas, mineralógicas e de fertilidade destes solos e as inter-relações entre estes e os solos adjacentes (AD), cultivados ou não com mandioca, bem como a capacidade de adsorção de seus nutrientes e possíveis metais potencialmente tóxicos pela mandioca e sua transferência para o corpo humano através da análise do cabelo (mineralograma) desenvolveu-se o presente trabalho. Para tal foram selecionados sítios com TPA com e sem roçado de mandioca (TPA/CR e TPA/SR) e solos adjacentes aos mesmos também com roçado ou sem roçado de mandioca (AD/CR e AD/SR). Nos sítios com TPA e sem TPA foram coletadas amostras de solos e de mandioca incluindo as raízes (tubérculos), folhas e tucupi. Amostras de cabelo humano foram coletadas dos ribeirinhos que consomem a mandioca dos roçados estudados, denominados aqui de família TPA para aqueles dos roçados em TPA e família AD para aqueles em roçados em AD. As amostras de solo foram submetidas à análise granulométrica por via úmida, mineralógica por difração de raios X, e química por ICP-MS (elementos maiores, menores e traços) além da análise de sua fertilidade. Nas amostras de mandioca (raízes e folhas) foram determinados por ICP-MS os macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S), micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Co, B, Cu, Mo e Ni), não nutrientes e os elementos tóxicos (Pb, Cd, Ce, Sn, Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Al, Na, Hg, Se e As). Nas amostras de cabelo foram determinados também por ICP-MS os elementos essenciais (S, Ca, Zn, Mg, Cu, Se, Sr, Mn, B, I, Cr, V, Co e Mo), adicionais (P, Fe, Na e K) e tóxicos (Pb, Bi, Al, Ba, Hg, Ni, Sn, Sb, As, Cd, Ag, U e Th), que caracterizam o mineralograma, e que correspondem em grande parte aos elementos analisados nos solos e mandioca. A mineralogia dos solos está representada principalmente por quartzo, caulinita e hematita + goethita, e acessórios como anatásio, muscovita/ illita e zircão. Desta forma são constituídos principalmente por  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , além de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e Zr. A tendência à diminuição dos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e o aumento de  $\text{SiO}_2$  e Perda ao Fogo dos horizontes B em direção aos horizontes A estão plenamente compatíveis com a evolução clássica dos solos sob clima tropical com cobertura de floresta tropical. As TPAs aqui estudadas apresentam perfil pedológico similar às demais TPAs da região

com conteúdo de C orgânico alto e similar às demais TPAs nos horizontes A. As concentrações de Ca, Mg, Mn, Zn e P totais são relativamente altas quando comparadas aos solos em geral da Amazônia, uma das grandes distinções entre solo tipo TPA e a própria área adjacente, e comparáveis aos solos TPA de Caxiuanã e de outras regiões da Amazônia. No entanto os teores de P disponíveis são mais baixos, creditados ao uso continuado da TPA para agricultura de roçado. Portanto é provável que o uso da TPA para agricultura tipo roçado esteja progressivamente exaurindo as suas reservas de nutrientes, como era de se esperar, porém de forma menos intensa do que os solos comuns da Amazônia. As análises químicas da mandioca mostram que os macronutrientes e micronutrientes se concentram principalmente nas folhas, com suas concentrações praticamente independentes do solo em que foi cultivada, TPA ou AD. Na raiz (película, casca e polpa) as concentrações desses elementos, que são mais baixas do que nas folhas, se concentram preferencialmente na película. Os elementos não nutrientes e tóxicos presentes na mandioca, ao contrário dos nutrientes, se concentram preferencialmente nas películas, seguidos por folhas, casca e polpa. A polpa, que é a parte da mandioca consumida na dieta humana, é, portanto a mais pobre nos macro e micronutrientes, bem como nos elementos não nutrientes e tóxicos. O tucupi, a fase líquida, apresenta baixas concentrações dos elementos analisados (nutrientes, não nutrientes e tóxicos), enquanto o seu extrato sólido é formado especialmente de C, K, Mg, P e Ca, além de Na, como oxalatos e fosfatos. O fator de transferência (FT) dos solos para mandioca cultivada tanto em TPA como em AD foi elevado para os macronutrientes (K, Ca, Mg e P), principalmente nas folhas, e médio para micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Co, Mo e Ni) sendo maior na mandioca cultivada na AD devido ao menor conteúdo desses elementos nos solos AD e também pelo fato de que a mandioca subtrai do solo apenas o necessário para sua função fisiológica básica. Desta forma se torna evidente porque a TPA, muito mais rica em nutrientes, é mais adequada para a agricultura, empregada para o cultivo continuado de mandioca. O mineralograma do cabelo das famílias pesquisadas de Caxiuanã mostra que a variância das concentrações dos elementos essenciais e adicionais é maior na família TPA do que na AD, enquanto que suas concentrações médias se equiparam nas duas famílias. Por outro lado os elementos tóxicos estão em concentrações relativamente mais elevadas na família AD, principalmente, Pb e Al. Os elementos essenciais e adicionais estão abaixo dos valores normais de referência enquanto que os tóxicos apenas os elementos Al, Pb, Sb e Ba, que estão acima da faixa dos valores normais. As concentrações dos elementos essenciais e adicionais são

cumulativas com a idade. Fe, Al e Bi por sua vez estão mais concentrados nas crianças, suscetíveis, portanto a elementos tóxicos (Al e Bi). Segundo o sexo, os elementos essenciais, adicionais e tóxicos concentram-se preferencialmente no sexo feminino. Quanto ao hábito de fumar os fumantes se destacam pelas concentrações mais baixas dos elementos essenciais e adicionais, principalmente, Mg, Zn, Ca, Sr, Se, Co e P, e altas dos elementos tóxicos Ni, Pb, Sb e As. Isto sugere que o hábito de fumar possivelmente inibe a absorção da maioria dos elementos essenciais a formação capilar. Entre várias crianças foram encontradas concentrações elevadas de Ni, Pb, Sb e As, devido à possível convivência com fumantes, sendo considerados fumantes passivos. Entre as associações geoquímicas identificadas Hg-Sb-Ag-Zn-Bi-Pb-Se-Cd reflete os indivíduos com hábito de fumar. Os dados obtidos neste trabalho e a sua discussão mostram que os solos TPA são de fato férteis e os solos adjacentes (AD) são relativamente muito pobres e por serem mais ricos em nutrientes os solos TPA permitem o cultivo continuado de mandioca que subtrai do solo apenas o necessário para sua função fisiológica. A polpa da mandioca, parte mais consumida pelo homem, pobre em macro e micronutrientes, contribui para a dieta pobre da população ribeirinha de Caxiuanã. A composição química da mandioca não mostrou dependência com o tipo de solo, se TPA ou AD. A composição química do cabelo (mineralograma) da população de Caxiuanã alimentando-se de mandioca cultivada em TPA e AD confirma a dieta alimentar pobre. O mineralograma mostra também que o principal fator externo de contaminação é o fumo, e talvez os utensílios de cozinha feitos de alumínio. O mineralograma assim se apresenta como uma valiosa ferramenta para se avaliar impactos ambientais relativos à saúde humana. Portanto, os problemas relacionados à saúde humana na região de Caxiuanã são devidos à pobre dieta alimentar e ao hábito de fumar, pois os seus solos não apresentam evidências de impactos antrópicos e nem de anomalias geogênicas.

Palavras-Chave: Solo. Terra Preta. Fertilidade. Mandioca. Mineralograma. Fator de Transferência

## ABSTRACT

In the area of Caxiuanã, State of Pará, stands out the occurrence of several sites with soils type Amazon Dark Earth (TPA). They are dark soils characterized by the presence of ceramic fragments and high concentrations of Ca, Mg, Mn, P, Zn and C, when compared with other soils of Amazonia. They are fertile soils used for subsistence agriculture, mainly the cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In attempt to know the physical, chemical, mineralogical and fertility characteristics of these soils and the interrelations between these and the adjacent areas (AD), cultivated or not with cassava, as well as the capacity of adsorption of nutrients and possible potentially toxic metals by the cassava and the transfer to the human body using hair analysis (mineralogram) the present work was developed. Aiming these results, sites were selected with TPA with and without cassava *roçado* (TPA/CR and TPA/SR) and adjacent areas also with or without cassava *roçado* (AD/CR and AD/SR). Samples of soils and cassava including the roots (tubers), leaves and *tucupi* were collected in the ranches with AD and without AD. Samples of human hair were collected of the riverine population that consumes the cassava of the studied *roçados*, here denominated: TPA family, those who live in TPA/CR areas; and AD family, those who live in AD/CR areas. The soil samples were submitted to grain size (humid-via), mineralogical (XRD), and chemical (ICP-MS of major, minor and trace elements) besides the fertility analysis. In the cassava samples (roots and leaves) the macronutrients (P, K, Ca, Mg, S), micronutrients (Fe, Mn, Zn, Co, B, Cu, Mo and Ni), non-nutrients and the toxic elements (Pb, Cd, Ce, Sn, Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Al, Na, Hg, Se and As) were determinate by ICP-MS. In hair samples, the essential (S, Ca, Zn, Mg, Cu, Se, Sr, Mn, B, I, Cr, V, Co and Mo), additional (P, Fe, Na and K) and toxic elements (Pb, Bi, Al, Ba, Hg, Ni, Sn, Sb, As, Cd, Ag, U and Th) were also determinate by ICP-MS, what characterize the mineralogram, and correspond to most of elements analyzed in the soils and cassava. The soils are mainly composed by quartz, kaolinite and hematite + goethite, and accessories as anatase, muscovite / illite and zircon. This way they are constituted mainly by SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, besides Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O and Zr. The tendency to the decrease of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentrations and the increase of SiO<sub>2</sub> concentrations and lots of ignition from B-horizons to A-horizons is really according to the classic evolution of the soils under tropical climate with tropical forest covering. The studied ADEs present pedologic profile similar to other TPAs with high contents of organic carbon and to other TPAs in A-horizons. The

concentrations of total Ca, Mg, Mn, Zn and P are relatively high when compared to the Amazonian soils, one of the great distinctions among TPA soil and the adjacent area, and compared to the TPA soils of Caxiuanã and other areas of Amazonia. However, the available P contents are lower, due to the continuous use of TPA in agriculture of *roçado*. Therefore, as expected, it is probable that the use of TPA in agriculture of *roçado* is progressively exhausting the nutrient reserves, but in less intensity than the common soils of Amazonia. The chemical analyses of the cassava show that the macronutrients and micronutrients are mainly concentrated in the leaves, and the concentrations do not depend on the soil in which it was cultivated, TPA or AD. In the root (pellicle, skin and pulp) with lower contents than in the leaves, the analyzed elements are mainly concentrated in the pellicle. The non-nutrient and toxic elements found in the cassava are mainly concentrated in the pellicles, followed by the leaves, skin and pulp. The pulp - the part of the cassava used in the human diet - therefore is impoverished in macro and micronutrients, as well as in non-nutrient and toxic elements. The *tucupi* - the liquid phase - presents low concentrations of the analyzed elements (nutrients, non-nutrients and toxic), while the solid extract is especially composed by C, K, Mg, P and Ca, besides Na, as oxalates and phosphates. The transfer factor (TF) from the soils to the cassava cultivated in TPA and AD areas was elevated in relation to macronutrients (K, Ca, Mg and P), mainly in the leaves, and medium to micronutrients (Fe, Mn, Zn, Co, Mo and Ni) being higher in the cassava cultivated in AD areas due to the lower content of those elements in AD soils and also to the fact that the cassava absorbs only the substances necessary to the basic physiologic function. This way, it's evident why TPA, much enriched in nutrients, is more appropriate for the agriculture in continuous cultivation of cassava. The hair mineralogram of the researched families of Caxiuanã shows that the variance of the concentrations of the essential and additional elements is higher in TPA than in AD family, while the average concentrations were similar in the two families. On the other hand, the concentrations of toxic elements are relatively higher in the AD family, mainly Pb and Al. The essential and additional elements contents are below the reference values while the toxic elements Al, Pb, Sb and Ba, are above the range of normal values. The concentrations of the essential and additional elements are cumulative with the age. The concentrations of Fe, Al and Bi are higher in the children, therefore susceptible to toxic elements (Al and Bi). According to the sex, the essential, additional and toxic elements are more concentrate in women. The concentrations of essential and additional elements, mainly Mg, Zn, Ca, Sr, Se, Co and P are



lower, and of toxic elements Ni, Pb, Sb and As are higher in smokers. This suggests that the habit of smoking possibly inhibits the absorption of most of the elements essential to the capillary formation. Probably due to the possible coexistence with smokers, high concentrations of Ni, Pb, Sb and As were found in among several children, being considered passive smokers. Among the identified geochemical associations, Hg-Sb-Ag-Zn-Bi-Pb-Se-Cd association reflects the smokers. The obtained data of this work and its discussion show that the TPA soils are in fact fertile and the adjacent areas (AD) are relatively impoverished, and the TPA soils enriched in nutrients allow the continuous cultivation of cassava that absorbs from the soil only the necessary for its physiologic function. The pulp of the cassava leaves - more consumed by the man, impoverished in macro and micronutrients - contributes to the poor diet of the riverine population of Caxiuanã. The chemical composition of the cassava didn't show dependence with the soil type (TPA or AD). The chemical composition of the hair of the population of Caxiuanã that feed on cassava cultivated in TPA and AD areas confirms the poor alimentary diet. The mineralogram also shows that the principal external factor of contamination is the tobacco, and perhaps the kitchen aluminum utensils. So the mineralogram is used as a valuable tool to evaluate environmental impacts related to the human health. Therefore, the problems related to the human health in the area of Caxiuanã are in part due to the poor alimentary diet and the habit of smoking, because the soils don't present evidences of anthropic impacts neither of geogenic anomalies.

Key words: Soil. Dark earth. Fertility. Cassava. Mineralogram. Transfer Factor