AREIAS RECENTES DOS RIOS DA BACIA AMAZÔNICA: COMPOSIÇÕES PETROGRÁFICA, TEXTURAL E QUÍMICA

ELENA FRANZINELLI* & PAUL EDWIN POTTER**

ABSTRACT Thin section and chemical study of 95 sand samples from the Amazon River system in Brazil, Peru, Ecuador, and Colombia, a river system with great contrasts in climate and rock types, reveal that sands derived from the Andes are lithic arenites whereas sands derived from Precambrian terrains are much richer in quartz, as are sands in rivers draining Tertiary molasse. Sand becomes more mature downstream along the main stream of the Amazon-Solimões-Marañón so that a sample analyzed at the mouth does not accurately reflect headwater composition. Dilution by quartz-rich tributaries and quartz-rich Tertiary outcrops, possible differential elimination of rock fragments, and even possible weathering on the modern plain of the Amazon contribute to enhanced maturity downstream. River sands of Precambrian watersheds are coarser than those derived directly from either the Andes or from those derived from Tertiary molasse for two probable reasons: Precambrian granites have coarser quartz than the reworked quartz of a major geosyncline and, secondly, tropical weathering eliminates quartz-feldspathic rock fragments much more rapidly than quartz.

INTRODUÇÃO A Bacia Amazônica, com sua enorme extensão de terras, águas e florestas, oferece um campo particularmente interessante para o estudo de sedimentos recentes, em vista das grandes áreas ocupadas por depósitos continentais e por rochas de litologias diferentes, e de clima variável de tropical úmido, com pluviosidade média de 2 500 mm por ano, a relatividade seco e árido em algumas zonas limitadas.

Os sedimentos em suspensão foram estudados por Gibbs (1967) e Irion (1975), que investigaram e interpretaram a origem e a proveniência dos minerais de argilas. Sioli (1975) publicou uma revisão geral de geologia, climatologia e ecologia da Bacia Amazônica.

Irion (1976), mediante estudos de imagem de radar, concluiu que no Holoceno um extenso lago ocupava a região do curso atual do Rio Solimões-Amazonas. Baker (1978) relatou que as flutuações climáticas do Quaternário são a chave para entender a variabilidade dos processos fluviais na Amazônia. A expedição científica do navio oceanográfico *Alpha Helix* (1975-1976) trouxe novas contribuições ao conhecimento dos sedimentos transportados pelos rios da bacia. Dados da textura dos sedimentos do leito do rio são referidos por Nordin *et al.* (1980). Landim *et al.* (1978), estudando os minerais pesados de fundo do Rio Solimões-Amazonas, encontrou que a assembléia desses minerais se torna mais madura em direção à foz. Franzinelli & Potter (1982) analisaram sucitamente as possíveis causas responsáveis pela composição petrográfica de alguns dos maiores afluentes da bacia. Os mesmos autores (1983) apresentaram dados da petrologia, química e textura dos sedimentos arenosos recentes, relacionando-os às rochas matrizes e ao clima. No presente trabalho, procura-se ainda ressaltar as características texturais, petrográficas e químicas das areias recentes da Bacia Amazônica.

MÉTODOS E TÉCNICAS Foram estudadas 95 amostras, 25 do Rio Solimões-Amazonas e 70 dos principais afluentes. Das primeiras, cinco são amostras de fundo, coletadas pelos navios da Diretoria de Hidrografia e Navegação. Todas as outras 90 foram coletadas em pontos isolados em

bancos ou barras, transversais ou longitudinais ao rio durante trabalhos de campo, nas estações secas, entre 1976 e 1980. Esforços foram feitos para conseguir amostras bem representativas e distribuídas homogeneamente na bacia. As imagens de radar da bacia auxiliaram muito na escolha prévia dos locais de coleta. Pequena quantidade de cada amostra de areia foi solidificada com polietileno para possibilitar a confecção de lâminas petrográficas. Procedeu-se à coloração de cada lâmina para diferenciar os feldspatos potássicos. Depois, em cada lâmina procedeu-se à contagem de 200 grãos para a identificação da composição global e à recontagem de 100 grãos para a classificação de fragmentos de rochas (Tab. 1). Para a determinação das características texturais das areias foram medidas nas seções delgadas os eixos longos aparentes de 50 grãos para cada amostra, com auxílio de micrômetro, de acordo com a técnica descrita por Griffith (1967). O diâmetro médio e o grau de seleção das distribuições determinadas foram avaliados utilizando-se a fórmula de Folk & Ward (1957). A angulosidade, avaliada como sendo a porcentagem dos grãos angulosos (grãos com angulosidade 1 a 2 ou menos (Powers 1953, Fig. 1), foi estimada pela observação de 200 grãos. Análises químicas de 47 amostras foram efetuadas utilizando método de fluorescência de raios X nos laboratórios do Serviço Geológico do Estado de Illinois (Estados Unidos) pelos senhores John Kuhn e Leon Henderson.

PROVENIÊNCIA DOS SEDIMENTOS Com o objetivo de melhor estudar as amostras e confrontá-las entre si, procuramos reuní-las em cinco grupos de acordo com sua área de proveniência. Os sedimentos provenientes dos Andes são transportados no rumo leste pelos afluentes da vertente atlântica dos Andes. Suas nascentes estão situadas nos contrafortes andinos em altitudes variáveis de centenas e localmente até milhares de metros ou em regiões de relevo baixo e em climas variáveis do seco e frio a quente e úmido. As rochas drenadas por esses rios são muito heterogêneas em tipos e idades. A maioria é constituída de sedimentos ou metassedimentos mesozóicos e parcialmente paleozóicos, e

* Departamento de Geociências, Universidade do Amazonas, - CEP 69000, Manaus, AM, Brasil.

** Department of Geology, University of Cincinnati, Cincinnati, 45221, Ohio, USA

Tabela 1 – Procedimento para contagem de grãos

QUARTZO	Monocristalino	Grãos únicos, com extinção ondulante ou reta.
	Policristalino	Dois ou mais cristais apresentando estruturas diferentes, excluindo-se arenitos e siltitos.
FELDSPATOS	Potássico	Todos os grãos de feldspato que se tornam amarelos quando coloridos artificialmente, inclusive ortoclásio, microclínio e sanidina.
	Plagioclásio	Todos os grãos com geminação albita e albita-Carlsbad, inclusive alterados.
FRAGMENTOS DE ROCHA	Cristalinas:	
	Plutônicas	Agregados grossos de quartzo, feldspato, micas, anfibólios etc. sem orientação preferencial.
	Metamórficas	A mesma composição das rochas plutônicas e mais algum mineral metamórfico característico; presença de orientação preferencial.
	Vulcânicas	Vidro vulcânico e texturas fluidais e tufáceas, espilitos e produtos de alteração de vidro.
	Sedimentares:	
	Argilosas	Agregados argilosos finamente granulados, freqüentemente acastanhados, contendo raros siltes e micas.
	Carbonáticas	Dolomitos e calcários com diferentes texturas; raros mármore.
	Siltitos	Agregados de grãos de tamanho silte, quantidade subordinada de argila, textura clástica.
	Arenitos	Agregados de grãos grossos, com textura clástica. Na maioria, são quartzo-arenitos ou grauvas. Podem também incluir alguns grãos lateríticos.
	Alteritos	Fragmentos altamente alterados, não sendo possível incluí-los em um dos tipos descritos acima. Podem ser fragmentos vulcânicos, lateríticos, argilosos ou de micaxistos quartzosos finamente granulados, todos altamente alterados.
	Silex	Mosaico de quartzo anedral, de tamanho muito fino a médio, dificilmente distinguível, geralmente produto de alteração do vidro das vulcânicas para substituição da calcita.
TEXTURA	Mica	Muscovita, biotita e clorita
	Minerais pesados	De diferentes tipos, todos com alta birrefringência.
		Mediana e seleção: Contagem de 50 grãos Porcentagem de angularidade: Contagem de 200 grãos

rochas ígneas e vulcânicas mesozóicas e terciárias. As águas desses rios transportam grande quantidade de sedimentos em suspensão, conferindo-lhes turbidez acentuada e cor creme-acastanhada.

Os rios que têm as nascentes em terrenos pré-cambrianos drenam rochas cristalinas graníticas e gnáissicas dos escudos das Guianas e do Brasil Central, com escassas contribuições locais de sedimentos antigos de formações de coberturas da plataforma. A vegetação é composta de floresta tropical e menos freqüentemente de campo natural. O relevo é pouco acentuado ou suave, localmente mais acentuado. As águas desses rios apresentam cor clara, exceção feita para o Rio Negro, às quais a grande quantidade de material orgânico doa a cor preta-marrom característica.

O terceiro grupo de rios considerados é o dos afluentes, que, apesar de ter as nascentes em áreas de rochas cristalinas dos escudos pré-cambrianos, atravessam a faixa dos depósitos sedimentares paleozóicos antes de alcançar o Rio Amazonas, à semelhança dos rios Trombetas e Tapajós, por exemplo, que apresentam águas com cores claras.

Outros grandes afluentes do Rio Solimões-Amazonas, como os rios Madeira, Içá e Japurá, possuem suas nascentes em terrenos andinos. Para alcançar o rio principal, percorrem terrenos de rochas cristalinas dos escudos também recebendo afluentes que nascem e têm seu curso desenvolvido

só em rochas cristalinas. Nos períodos de enchentes, esses rios trazem dos Andes quantidade considerável de carga sólida e adquirem aspecto lamacento; nos períodos de seca, as águas apresentam-se claras.

Os afluentes que o Rio Solimões recebe em seu curso médio, na margem direita, os rios Javari, Jutaf, Juruá e Purus, possuem nascentes e cursos totalmente desenvolvidos em depósitos terciários de topografia suave e cobertos pela floresta tropical, que apresentam características geomorfológicas diferentes dos outros rios e águas constantemente lamacentas.

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS GERAIS As amostras consideradas estão representadas no diagrama triangular do quartzo (Q), feldspato (F) e fragmentos de rochas (FR) (Fig. 2), de acordo com a classificação de Pettijohn *et al.* (1972). Os pontos representativos de amostras estão localizados no diagrama triangular em uma área que do vértice FR vai-se concentrando em direção ao Q. Isso indica que os fragmentos de rochas sempre predominam sobre o feldspato e que a composição geral vai-se tornando gradualmente mais rica em quartzo. Duas razões foram apontadas por Franzinelli & Potter (1983) para justificar esta variação: o predomínio do intemperismo físico nas cabeceiras situadas nos Andes, aliado ao clima e relevo, origi-

Figura 1 – Mapa de localização das amostras

das Guianas e Brasil Central elimina na fonte a maioria dos feldspatos e fragmentos de rochas, e favorece enriquecimento em quartzo, dando composição média (92:3:4) para a relação Q: F: RF.

Ao longo do Rio Solimões-Amazonas ocorre um progressivo aumento na maturidade das areias, como mostra o gráfico da Fig. 3. A diminuição dos fragmentos de rochas e do feldspato é menos acentuada ao longo de seu percurso até pouco mais de 2 000 km da união de Ucajali-Maranhão e mais acentuada em direção ao Atlântico, especialmente nos últimos 1 000 km, se bem que nossa amostragem nesse trecho não seja muito freqüente. As causas da diminuição desses elementos seriam inúmeras, como, por exemplo, a maior facilidade de desagregação dos fragmentos de rochas durante o transporte, com conseqüente diminuição do tamanho; e diluição pelo aporte de consideráveis quantidades de areias quartzosas pelos afluentes do baixo curso como os rios Trombetas, Tapajós e Xingu. Material quartzoso é também adicionado provindo da erosão dos terraços pleistocênicos de composição arenosa que localmente ocorrem em suas margens.

Potter (1978), após exaustivos estudos petrográficos sobre areias de rios modernos, observou que o aumento da maturidade, em direção à foz, é mais acentuado nas areias de rios tropicais, de baixa declividade, com planícies de inundações extensas, onde a possibilidade de ataque pelas águas superficiais é máxima. Walker *et al.* (1978) descreveram mudanças diagenéticas em depósitos de planície de

Figura 2 – Diagrama triangular de composição das amostras (amostras com mesma composição estão superpostas)

nando uma grande quantidade de fragmentos de rochas que são trazidos pelo rio principal, sendo a composição média da relação Q:F:RF nas cabeceiras (29:9:62); ao contrário, o intemperismo tropical nas rochas cristalinas dos escudos

Figura 3 - Variação longitudinal da composição Q:F:FR ao longo do Rio Solimões-Amazonas

inundação do sudoeste dos Estados Unidos e no noroeste do México. Não são conhecidos estudos sobre o intemperismo que ocorre na planície aluvial do Rio Solimões-Amazonas para poder avaliar a possível contribuição de areias quartzosas das várzeas no aumento progressivo da maturidade mineralógica das areias do rio.

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E ÁREAS DE PROVENIÊNCIA

Dois grupos de amostras possuem proveniência múltipla: rochas cristalinas pré-cambrianas dos escudos-rochas sedimentares paleozóicas e rochas pré-cambrianas-rochas de diferentes litologias e idades dos Andes. De acordo com observações anteriores de Franzinelli & Potter (1982), os rios com nascentes em áreas de rochas cristalinas ou de rochas sedimentares antigas possuem areias quartzosas maduras, às vezes excepcionalmente maduras. Algumas amostras do Rio Negro ou do Tapajós constam de grãos de quartzo monocristalino. De uma maneira geral, estes grãos não possuem inclusões e podem apresentar só tênues pigmentações limoníticas ao longo de fraturas internas ou finas incrustações limoníticas na superfície. Cerca de três quartos dessas areias são arenitos quartzosos, menos de um quarto é arenito sublítico e só uma amostra é de arenito subarcosiano.

O feldspato potássico predomina sobre o plagioclásio, sendo o conteúdo médio do feldspato de 3%. Das amostras 8% não possuem feldspato, que varia entre os valores 0% e 8%. Os fragmentos de rochas são muito escassos: um terço das amostras não apresenta fragmentos e dois terços possuem de 0% a 2% de fragmentos. Estes constam principalmente de ferricretes derivados de crostas limoníticas. Os ferricretes apresentam aspecto de agregados ferruginosos com fragmentos de quartzo de tamanho silte ou areia (Fig. 4E e 4P).

Fraturas preenchidas por hematita e pequenas cavidades de dissolução, que são muito comuns (Fig. 4A, 4B, 4C e 4D) são outras evidências de intemperismo químico da areia. De fato, de acordo com Clearly & Conolly (1971), Fauck (1972) e Claisse (1972), as cavidades de dissolução do quartzo são excelentes índices de intemperismo químico em clima tropical.

Análises químicas indicaram teores de sílica de 96,8% a 95,7% para as areias derivadas de rochas pré-cambrianas e pré-cambrianas e paleozóicas, respectivamente. As areias

Figura 4 - Fotomicrografias de alguns fragmentos de rochas: A e B, quartzo com fraturas preenchidas por hematita; C e D, cavidade de dissolução; E e F, fragmentos de ferricretes, grãos hematíticos com alguns fragmentos de quartzo; G, metassiltito com micas provavelmente recrystalizadas; H, fragmento de rocha metamórfica, micácea, apresentando recrystalização; I, J e K, fragmentos de rochas vulcânicas

mais puras são as do Rio Negro, que apresentaram 98,6% de SiO_2 . Todas essas areias apresentam traços de CaO e a razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ está situada entre 11,2 e 0,01, sendo a média 2,3. O teor de ferro total é inferior a 1% e a razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, que é um importante parâmetro químico de maturidade dos arenitos, é 122 para as areias derivadas de rochas pré-cambrianas e 283 para as areias derivadas de rochas pré-cambrianas e paleozóicas. As diferenças de composição entre as areias originadas de terrenos pré-cambrianos e pré-cambrianos e paleozóicos são pequenas, sendo que no segundo grupo prevalecem grãos de quartzo monocristalino e as areias apresentam grau superior de maturidade. De acordo com Blatt (1982), os grãos de quartzo monocristalino apresentam maior resistência ao intemperismo. Provavelmente, o intemperismo das rochas sedimentares antigas favorece a formação de areias com grãos de quartzo monocristalino e com grau de maturidade superior. Também do ponto de vista químico ocorrem algumas diferenças entre os dois grupos: as areias derivadas de rochas pré-cambrianas possuem razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 3,2$, diferindo bastante o valor 1,3 encontrado para as areias do outro grupo. As areias originadas de áreas de rochas pré-cambrianas e paleozóicas apresentam também teor maior de ferro total. Os valores da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ são de 283 para as areias derivadas, de rochas pré-cambrianas e paleozóicas, e de 122 para o outro

grupo. É provável que a diferença entre os dois seja devido à contribuição das rochas sedimentares paleozóicas. O valor máximo de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, na Bacia Amazônica, foi encontrado em uma amostra de areia do Rio Jari, proveniente de áreas pré-cambrianas e paleozóicas.

As areias dos rios que nascem nos Andes e percorrem áreas de terrenos pré-cambrianos possuem composição muito diferente e apresentam composição média de arenitos líticos. A quantidade média de quartzo (Tab. 2) é 67% e de feldspato, 7%, sendo que o feldspato potássico é 3,5 vezes mais abundante que o plagioclásio. A maioria dos cristais de plagioclásio é zonada, que indica origem vulcânica. A frequência de fragmentos de rocha é de 21%, e são, na maioria, de rochas xistosas de baixo grau, finamente granuladas, apresentando estruturas foliadas e com minerais de quartzo, mica e feldspato (Fig. 4F e 4H). Fragmentos de rochas vulcânicas (Fig. 4I e 4K) também ocorrem, às vezes, mais frequentes que os de rochas xistosas. Algumas amostras possuem fragmentos de rochas sedimentares, siltitos e arenitos. Fragmentos de rochas carbonáticas são muito raros. O teor da sílica é de 90% e o do cálcio é muito baixo, sendo a média de cerca de 0,1%. A razão média de $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ é de 2,3, e a média do ferro total é de aproximadamente 2%, ocorrendo a maior parte nos fragmentos de rochas vulcânicas.

As areias dos afluentes andinos e do Rio Solimões-Amazonas apresentam, em média, 51% de quartzo, 6% de feldspato e 35% de fragmentos de rochas. O feldspato varia de 0% a 16% e a razão feldspato potássico para plagioclásio é de 3:2. Este grupo de areias corresponde então a arenito lítico. A média das razões $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ é de 20, correspondendo ao valor mais baixo para as areias da Bacia Amazônica. A composição das areias provenientes dos Andes apresenta grande variação. Nas nascentes e ao longo do Rio Solimões-Amazonas até a confluência com o Rio Negro, os fragmentos de rochas são muito abundantes; mais ao leste, a quantidade de fragmentos diminui. Se bem que 75% das areias dos Andes e do Rio Solimões-Amazonas sejam de arenitos líticos, 15% são arenitos sub-líticos e 10% são quartzo-arenitos. Landim *et al.* (1978) também observaram um aumento de maturidade da assembléia dos minerais pesados ao longo do Rio Solimões-Amazonas, quando a associação de hiperstênio, augita e anfibólio muda, rumo leste, para uma associação mais estável com turmalina e zircão. Os afluentes andinos próximos às nascentes apresentam areias

altamente imaturas. Amostras do Rio Ucajali-Marañón têm razão Q: F: FR de 27: 15: 57. Areias do Rio Solimões-Amazonas, na divisa com Peru, Colômbia e Brasil, apresentam valores de 46: 8: 46 para esta razão (Tab. 3). Nestas areias, os fragmentos de rochas vulcânicas são comuns, perfazendo 60% da composição total de algumas amostras. Interessante é a ocorrência de fragmentos de púmice, que, em determinadas épocas do ano, flutuam no rio, à jusante de Manaus, mostrando a existência de afloramentos deste tipo de rocha em algum afluente. Mas os fragmentos mais comuns são de metassiltitos e metarenitos foliados (Fig. 4G e 4H). As micas de alguns grãos apresentam recristalização, alguns não são alterados, mas a maioria é intemperizada com manchas ferruginosas. Não existem grãos carbonáticos. Análises químicas dessas areias refletem grande imaturidade (Tab. 3). A razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de amostras de areias do Rio Solimões-Amazonas na divisa com Peru, Colômbia e Brasil é 8, e a razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ é só 0,9. As areias dos afluentes do alto curso do Rio Solimões-Amazonas são mais ricas em fragmentos de rochas, como mostram as análises das areias de alguns rios do Equador. Nos rios Chicama, Napo, Quito e Zamora, os fragmentos de rochas perfazem 88% e a mica 10% da composição total. Sem dúvida, a maior variabilidade e abundância de fragmentos de rochas na bacia ocorre nas areias dos afluentes que têm nascentes nos Andes.

Do baixo curso do Rio Amazonas foram analisadas somente cinco amostras, coletadas a jusante de Santarém. Elas exibem grande variação na composição. Algumas areias têm composição de arenito sub-lítico e outras, de quartzo-arenito. Os quartzo-arenitos, na maioria, estão relacionados com afloramentos arenosos terciários das margens do rio e outros resultam da contaminação pelos afluentes que trazem grandes quantidades de areias quartzosas. A razão Q:F:FR dessas amostras é 81:3:16 e a razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ é 32 (Tab. 3).

O grupo de sedimentos de rios que percorrem terrenos de idade terciária é constituído de areias ricas em quartzo, pobres em feldspatos e baixos conteúdos de fragmentos de rochas (Tab. 2). O teor médio de quartzo é de 87%, sendo comuns as cavidades de dissolução. O feldspato varia de 0% a 6%, sendo 2% o valor médio. Cerca de um quarto das amostras não possui feldspato e, quando presente, o feldspato potássico é cinco vezes mais abundante que o plagioclásio. Os fragmentos de rochas ocorrem em média 11% e

Tabela 2 – Médias dos valores dos parâmetros petrográficos e químicos de acordo com a proveniência das amostras (Franzini & Potter 1983)

Procedência (%)	Quartzo total	Quartzo monocris.	Quartzo policris.	Feldspato total	Feldspato potássico	Feldspato sódico-cálcico	Fragmentos de rochas	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	FeO
Pré-Cambriano (21,7)	92	80	12	3	3	0 (0,3)	4	0,02	0,34	0,40	0,41	0,10
Pré-Cambriano - Paleozóico (13-11)	94	86	8	3	3	0 (0,4)	3	0,05	0,23	0,77	0,60	0,35
Pré-Cambriano Andes (9,5)	67	60	7	8	6	2	21	0,14	0,89	0,93	1,31	0,60
Andes (33,17)	51	46	5	7	4	3	36	1,64	1,10	1,43	1,60	2,53
Terciário (12,5)	87	81	6	2	2	0 (0,3)	10	0,1	0,52	0,42	0,24	0,38
Total (88,45)												

(21,7) Número de amostras para petrografia e química.

Tabela 3 – Correlação dos valores médios das análises petrográficas e químicas do Rio Solimões-Amazonas na confluência do Ucajali-Marañón e próximo à foz (Franzinelli & Potter, 1983)

Local (n.º de amostras)	PETROLOGIA (%)								
	Q:F:FR	a	b	c	d	e	f	g	h
Brasil: Divisa com Peru (7)	46:8:46	1,4	57,0	26,8	2,3	0	2,6	2,3	6,7
Rio Amazonas (Pará)	81:3:16	2,0	62,6	10,7	15,0	0	2,6	4,3	1,0
	QUÍMICA (%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
Brasil: Divisa com Peru (3)	75,32	9,94	1,65	2,59	2,03	1,20	0,06	5,46	0,07
Rio Amazonas (Pará)	86,91	5,44	1,81	0,31	0,72	0,58	0,04	0,54	0,05
	QUÍMICA (%)								
	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	H ₂ O ⁺	S	SiO ₂ /Al ₂ O ₃			
Brasil: Divisa com Peru (3)	1,52	1,30	0,35	1,65	0,02	7,8			
Rio Amazonas (Pará)	0,88	0,90	0,17	0,62	0,01	24,9			

a - Plutônica, b - Metamórfica, c - Vulcânica, d - Argilosa, e - Carbonática, f - Siltosa, g - Arenosa, h - Alterito

são, na maioria, de rochas metamórficas. Destas areias, 42% apresentam composição de quartzo-arenito, 16% de arenito sublítico e 42% de arenito lítico. Os arenitos maduros ou submaduros terciários, submetidos a profundo intemperismo químico, podem ser responsáveis pela maturidade das areias recentes que deles derivam. Quimicamente, essas areias têm teores muito baixos de CaO, cerca de 0,5% de ferro total e razão $K_2O/Na_2O = 1,2$ (Tab. 3). A razão SiO_2/Al_2O_3 é de cerca de 75, sendo mais alta que a correspondente das areias dos rios que nascem nos Andes e de rios de terrenos andinos e pré-cambrianos e mais baixa que a mesma razão das areias derivadas de terrenos do pré-cambriano e do pré-cambriano e paleozóico.

CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS De acordo com o método de Griffith (1967) e Davies & Ethridge (1975), foram medidos os eixos maiores de 50 grãos de cada amostra. Segundo Nordin *et al.* (1980), para mais de 100 amostras de areias coletadas no trecho entre Iquitos, no Peru, e a foz do Rio Amazonas, o diâmetro médio seria de 1,94 ϕ (0,26 mm). O diâmetro médio das amostras por nós estudadas, incluindo as amostras arenosas dos afluentes e do rio principal, é mais grosso e mostrou valor 1,45 ϕ (0,38 mm). Este fato sugere a influência das areias mais grossas provenientes de terrenos pré-cambrianos. A diferença dos valores encontrados também mostra as dificuldades de amostragem de um rio para fins de estudos de granulometria.

O gráfico da Fig. 5 evidencia que as areias derivadas de rochas pré-cambrianas e paleozóicas são mais grossas que as derivadas de terrenos andinos e terciários. O diâmetro médio das areias do primeiro grupo distribui-se entre 0,78 e 2,91 ϕ (0,13 e 0,58 mm), sendo que o valor da mediana é de 1,25 ϕ (0,42 mm). Esses sedimentos são, então, areias médias com tendência a areia grossa. As areias derivadas de áreas terciárias distribuem-se entre 1,30 e 2,30 ϕ (0,20 e 0,41 mm), sendo o valor da mediana de 1,70 ϕ (0,31 mm), e pertencem também à classe de areia média. As areias de rios que percorrem áreas de rochas cristalinas pré-cambrianas são as mais grossas. Em relação à granulometria, observa-se que as areias de áreas terciárias são mais similares às areias de áreas andinas que de áreas pré-cambrianas. Dois fatores são responsáveis para esta situação. Os gra-

Figura 5 – Curvas acumulativas das médias das granulometrias médias e dos graus de seleção (Folk & Ward, 1957). Entre parênteses têm-se os números das amostras

nitos e os granulitos pré-cambrianos possuem quartzo mais grosso que o quartzo retrabalhado no geossinclínio andino, e o intemperismo químico, como observaram Franzinelli & Potter (1982), elimina rapidamente os fragmentos quartzo-feldspáticos das rochas dos escudos. A grande semelhança de granulometria entre areias derivadas de terrenos terciários e andinos sugere afinidade genética, se bem que as composições não apresentam similaridade, talvez por causa do retrabalhamento sofrido pelos depósitos terciários, das quais as areias recentes derivam. O grau de seleção mostra pequena diferença entre os grupos de areias derivadas de rochas pré-cambrianas e pré-cambrianas e paleozóicas, terciárias e andinas (Fig. 5). A média geral da seleção é 0,50, indicando que as areias dos rios da bacia são de moderadamente a bem selecionadas. Os valores encontrados para os graus de seleção coincidem com valores referidos na literatura para os grandes rios (Kumar & Singh 1978) e a granulometria das areias analisadas coincide com os exemplos citados por Shea (1974).

ANGULOSIDADE Quase todas as areias dos rios da bacia são bem angulosas (Tab. 4 e Fig. 6). As mais angulosas são as provenientes dos Andes. O valor da mediana para as areias que provêm dos Andes é de 86% e o da média, de 79%. As frequências dos grãos angulosos caem para 25% a 30% nas proximidades da foz do Rio Amazonas. Esses valores sugerem diluição pelas areias terciárias das margens e

Tabela 4 – Porcentagem de angulosidade dos grãos

Proveniência (n.º de amostras)	Valor máximo	Valor mínimo	Mediana	Média 90º	Percentil
Andes (32)	98	25	86	79	97
Terciário (11)	86	40	63	66	87
Pré-Cambriano (19)	99	40	79	74	94
Pré-Cambriano e Paleozóico (12)	99	8	71	65	96
Pré-Cambriano e Andes (8)	97	36	75	74	96
Média	96	30	75	—	94
Média dos grandes rios (36*)	99	39	81	—	95

*Potter (1978, p. 432-433)

Figura 6 – Fotomicrografias de microscópio eletrônico de varredura de areias recentes de rios da Bacia Amazônica: A, Rio Amazonas x 100 (proveniência: Andes); B, Rio Solimões x 100 (proveniência: Andes); C, Rio Tocantins x 50 (proveniência: Pré-Cambriano e Paleozóico); D, Rio Negro x 100 (proveniência: Pré-cambriano). Observar as diferenças de angulosidade entre as areias derivadas dos Andes e dos escudos

suprimento lateral pelos afluentes. As areias originadas de terrenos terciários são as menos angulosas e possuem mediana de 63% e média de 66% de grãos angulosos. Esses valores indicam, de acordo com Cleary & Connolly (1971), intemperismo *in situ*, ou retrabalhamento de arenitos preexistentes, previamente arredondados. A baixa angulosidade dessas areias concorda com sua baixa maturidade petrográfica. A angulosidade dos outros grupos de areias é intermediária

entre as areias originadas nos Andes e nos terrenos terciários, se bem que uma amostra do Rio Trombetas possua só 8% de grãos angulosos, talvez devido à grande contribuição de arenito maduro do paleozóico.

CORES Na Tab. 5 procuramos sumarizar observações de cores de 50 amostras usando a carta de cores de Goddard *et al.* (1975), e confrontando as cores com valores médios de ferro total. As areias de rios de terrenos pré-cambrianos e pré-cambriano e paleozóicos e terciários possuem, aproximadamente; as mesmas tonalidades de cores de marrom-amarelado mais claro ou mais escuro. Nessas amostras, o teor de ferro total é de 1%. As areias provenientes dos Andes e dos Andes e pré-cambriano apresentam coloração mais escura e teor de ferro total de 4,1%, as do primeiro grupo, e de 1,9% as do segundo grupo. Acredita-se que a composição mineralógica, com anfibólio, piroxênios e fragmentos vulcânicos, contribua para o aumento de teor de ferro.

Tabela 5 – Cores e teores de ferro das areias recentes do Rio Solimões-Amazonas e afluentes.

Proveniência (número de amostras)	Cores mais frequentes	Média Fe ₂ O ₃ /Feo
Pré-Cambriano (20)	Marrom-amarelado (10YR 5/4) seguido por cinza rosado (5YR 8/1) e cinza amarelado (5YR 8/1)	0,38 0,20
Pré-Cambriano, Paleozóico (10)	Laranja acinzentado (10YR 7/4) seguido por marrom amarelado (10YR 4/2)	,64 ,30
Andes (23)	Marrom amarelado escuro (10YR 4/2)	1,60 2,53
Andes-Pré-Cambriano (9)	Marrom amarelado escuro (10YR 4/2) seguido por marrom-amarelado claro (10YR 5/4)	1,21 0,80
Terciário (11)	Marom amarelado claro (10YR 5/4), marrom amarelado (10YR 6/2) e laranja acinzentado (10YR 7/4)	0,24 0,38

* Determinação das cores efetuada com areias secas e com auxílio de Rock Color Chart (Goddard *et al.* 1975).

CONCLUSÕES

Por este estudo pode-se concluir que:

- As areias recentes da Bacia Amazônica apresentam composição diferente nas nascentes dos afluentes ou no baixo curso do Rio Amazonas.
- Areias quartzosas predominam na composição dos afluentes, que provêm dos escudos pré-cambrianos, pois as condições de relevo baixo e a exposição ao intemperismo tropical eliminam rapidamente os feldspatos e os fragmentos de rochas. Os fragmentos de rochas predominam na composição das areias dos afluentes andinos, sendo que a natureza dos fragmentos depende da composição da rocha fonte.
- Ao longo do Rio Solimões-Amazonas, o teor de quartzo aumenta, os fragmentos de rochas diminuem e o teor de feldspato sofre sensíveis variações nos últimos 1 000 km de percurso. Próximo à divisa Peru-Brasil, as areias do Rio Solimões são líticas, sendo a relação Q: F: FR igual a 47: 8: 45. Os fragmentos de rochas predominantes são metassedimentares ou vulcânicos. Próximo a foz, após percorrerem 3 000 km, as areias passam a ser sublíticas

e quartzo-arenosas, com composição média Q: F: FR igual a 85:3:11.

- Os graus de seleção, variáveis de moderadamente a bem selecionados, são homogêneos para areias de rios de toda a Bacia Amazônica.

- As areias derivadas de terrenos pré-cambrianos são mais grossas que as de terrenos andinos ou terciários. Em relação à granulometria, as areias de áreas terciárias são similares às de áreas andinas. As areias da bacia são angulosas. A angulosidade dos grãos é mais acentuada nas areias provenientes dos Andes e menos proeminentes nas originadas de sedimentos terciários. A angulosidade das areias provenientes de terrenos pré-cambrianos é intermediária entre as areias originadas dos Andes e dos terrenos terciários. As areias derivadas de terrenos pré-cambrianos, pré-cambrianos e paleozóicos e terciários possuem cores de amarelado a marrom enquanto as areias originadas nos Andes mostram colorações mais escuras por conter teores mais elevados de ferro.

Agradecimentos Os autores expressam seus agradecimentos à Comissão de Levantamento da Amazônia da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, Belém do Pará, às prefeituras de Santo Antônio de Itá, e Carauari, e à Emater-AM, seções de Manacapuru, Tefé e Coari, pela colaboração prestada durante a fase de amostragem; ao Projeto Radam-Brasil, do Ministério das Minas e Energia, pela doação de imagens de radar da bacia; aos técnicos do Grupo de Estudos de Recursos Hídricos do IDESP, Belém do Pará, pelas valiosas críticas e sugestões; ao Dr. David Nash e aos geólogos Thomas Metarko, John Hollich e Steven Woodward do Departamento de Geologia da Universidade de Cincinnati, EUA, pela colaboração no tratamento estatístico dos dados; ao Centro de Pesquisas de Amaco-Company, Tulsa, Oklahoma, EUA, pelas fotomicrografias de areias da Bacia Amazônica; e aos três anônimos revisores do Corpo Consultivo da *Revista Brasileira de Geociências*, pela paciente tarefa de revisão do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, V.R. - 1978 - Adjustment of fluvial systems to climate and source terrain in tropical and sub-tropical environments. In: MIAL, A.D. ed. *Fluvial sedimentology*. Can. Soc. Pet. Geol. Mem. 5, p. 211-230.
- BLATT, H. - 1982 - *Sedimentary Petrology*. San Francisco, W.H. Freeman, 264 p.
- CLAISSE, M.G. - 1972 - Étude de l'alteration du quartz en milieu tropical humide. *C.R. Acad. Sci. Paris*, v. 274, Ser. D, p. 2956-2959.
- CLEARLY, W.J. & CONOLLY, J.R. - 1971 - Distribution and genesis of quartz in piedmont coastal plain environment. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82: 2755-2766.
- DAVIES, D.K. & ETHERIDGE, F.G. - 1975 - Sandstone composition and depositional environment. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 59: 239-264.
- FAUCK, R. - 1972 - Les sols rouges sur sables et sur grés d'Afrique occidentale: *O.R.S.T.O.M. Mem.* 61, 257 p.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. - 1957 - Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27: 3-26.
- FRANZINELLI, E. & POTTER, P.E. - 1982 - Caracterização petrográfica e textural de sedimentos arenosos recentes dos rios da Bacia Amazônica. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNICA, 1, Belém, 1982, *Atas...* Belém, SBG, p. 89-99.
- FRANZINELLI, E. & POTTER, P.E. - 1983 - Petrology, chemistry, and texture of modern river sands of the Amazon River System. *J. Geol.*, 91: 23-29.
- GIBBS, R.J. - 1967 - The geochemistry of the Amazon River System. Part I. The factors that control the salinity and composition and concentration of the suspended solids. *Geol. Soc. America Bull.*, 78: 1203-1232.
- GODDARD, E.N.; TRASK, P.D.; DE FORD, R.K.; ROVE, O.N.; SINGEWALD, Jr., T.; OVERBECK, R.M. - 1975 - *Rock-color chart*. Geol. Soc. America, Boudes.
- GRIFFITHS, J.C. - 1967 - *Scientific method in the analysis of sediments*. New York, MacGraw Hill, 508 p.
- IRION, G. - 1975 - Los primeros resultados de las investigaciones de sedimentación y perfiles de erosión en la región amazónica. *Universitäts*, 12: 256-257.
- IRION, G. - 1976 - Quarternary sediments of the upper Amazonas lowlands of Brazil. *Biogeographica*, (7): 163-167.
- KRASHENINNIKOV, G.F. - 1968 - Basic principles of classification of sedimentary rocks and recent sediments. In: INT. GEOL. CONGR., 23, *Proceedings...* Prague, IUGS, Sect. 8, p. 147-154.
- KUMAR, S. & SINGH, I.B. - 1978 - Sedimentological study of Gomti River sediments. Uttar Pradesh, India. Example of a river in alluvial plain. *Senckenbergiana marit.*, 10: 145-211.
- LANDIM, P.M.; BÓSIO, N.J.; WU, F.T.; MEYER, Jr., A.E. & CASTRO, P.R.M. - 1978 - Heavy minerals from the Amazon bed. *E.O.S.*, 59: 277.
- MEADE, R.H.; NORDIN Jr., C.F.; CURTIS, W.F.; COSTA RODRIGUES, F.M.; DO VALE, C.M. & EDMOND, J.M. - 1979 - Sediment loads in the Amazon River. *Nature*, 278: 161-163.
- NORDIN, Jr., C.F.; MEADE, R.H.; CURTIS, W.F.; BÓSIO, N.J. & LANDIM, P.M.B. - 1980 - Size distribution of Amazon River bed sediment. *Nature*, 285: 52-53.
- PETTJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. - 1972 - *Sand and Sandstone*. New York, Springer-Verlag, 618 p.
- POTTER, P.E. - 1978 - Petrology and chemistry of modern big river sands. *J. Geol.*, 86: 423-449.
- POWERS, M.C. - 1953 - A new roundness scale for sedimentary particles. *Sed. Petrol.*, 23: 117-119.
- SHEA, J.H. - 1974 - Deficiencies of clastic particles of certain sizes. *J. Sed. Petrol.*, 44: 958-1003.
- SIOLI, H. - 1975 - Tropical river: the Amazon. In: WHITTON, B.A., ed., *River Ecology*. Berkeley and Los Angeles, Univ. California Press, p. 461-488 (Studies in Ecology, v. 2).
- WALKER, T.R.; WAUGH, B.; GRONE, A.J. - 1978 - Diagenesis in first-cycle alluvium of Cenozoic age, southwestern United States and northwestern Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89: 19-32.

MANUSCRITO

Recebido em 1 de dezembro de 1983
Revisão aceita em 8 de outubro de 1985