

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS NATURAIS DAS BACIAS DE
DRENAGEM SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO RIO
SOLIMÕES-AMAZONAS E SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS
BRASILEIROS**

ERIC LEANDRO SILVA PEREIRA

Manaus, Amazonas

Outubro, 2012

ERIC LEANDRO SILVA PEREIRA

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS NATURAIS DAS BACIAS DE
DRENAGEM SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO RIO
SOLIMÕES-AMAZONAS E SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS
BRASILEIROS**

Bruce Rider Forsberg, Ph.D.- Orientador

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/UEA) como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Clima e Ambiente

Manaus, Amazonas

Outubro, 2012



UEA
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DO
AMAZONAS

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA DA AMAZÔNIA - INPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS-UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE

INPA
INSTITUTO NACIONAL DE
PESQUISA DA AMAZÔNIA



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
ERIC LEANDRO SILVA PEREIRA ALUNO
DO CURSO DE MESTRADO EM CLIMA E
AMBIENTE.

Ao 22 dia do mês de Outubro do ano de 2012, às 09:00 horas, realizou-se na sala de aula do PPG-CLIAMB do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, sito à Avenida André Araújo n°. 2936, a sessão de defesa pública da dissertação de Mestrado do aluno Eric Leandro Silva Pereira, sob o Título “Influência das características naturais das bacias de drenagem sobre as propriedades físico-químicas do Rio Solimões/Amazonas e seus principais tributários brasileiros”, em complemento aos critérios exigidos para obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente, tendo como orientador o Professor Doutor Bruce Rider Forsberg, segundo encaminhamento da Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente e de acordo com os registros constantes na secretaria do Programa. A Banca Julgadora foi composta pelos seguintes membros: Professor Doutor Bruce Rider Forsberg (Presidente), Professora Doutora Tereza Cristina Souza de Oliveira (Membro Externo) e Professor Doutor Jair Max Furtunato Maia (Membro Externo). **Parecer:** Encerrando os trabalhos, os membros da Banca Julgadora APROVARAM a dissertação.

Prof. Dr. Bruce Rider Forsberg (INPA)
Presidente

Prof. Dr. Tereza Cristina Souza de Oliveira (UFAM)
Membro Externo

Prof. Dr. Jair Max Furtunato Maia (UEA)
Membro Externo

P436i Pereira, Eric Leandro Silva
Influência das características naturais das bacias de drenagem sobre as propriedades físico - químicas do Rio Solimões – Amazonas e seus principais tributários brasileiros / Eric Leandro Silva Pereira. --- Manaus: [s.n.], 2012.
44 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2012.
Orientador : Bruce Rider Forsberg.
Área de concentração : Clima e Ambiente

1. Bacias de drenagem. 2. Qualidade da água. 3. Naturais.
I.Título

CDD 551.8

Sinopse:

Foi estudada a influência das características naturais das bacias de drenagem sobre as propriedades físico-químicas do Rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros. As diferentes formas de carbono foram analisadas bem como nitrogênio, fósforo, sólidos em suspensão totais e pH.

Palavras-chave: Bacias de drenagem, qualidade da água, naturais.

Dedico este trabalho, especialmente a minha mãe Helena da Silva Pereira (*in memoriam*), meu exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade maravilhosa de poder conquistar essa vitória em minha vida , por ter me dado forças para superar os momentos de adversidade que surgiram ao longo desse projeto.

Ao meu grande amigo Dr. Gilvan Ferreira da Silva que me concedeu a oportunidade de ter vindo para Manaus e pelo apoio que sempre me deu nos momentos mais difíceis que passei.

Ao meu Orientador Dr. Bruce Rider Forsberg pelos ensinamentos , sabedoria e paciência e principalmente pela oportunidade desenvolver um trabalho tão especial e aprender um pouco sobre um ecossistema tão especial,e toda beleza que envolve os rios da Amazônia.

Aos meus colegas do curso de mestrado em Clima e Ambiente : Simone , Jurandir, Veber, Taiana, Ivaniel, Kelly, Anderson , Elisângela, Sabrina , e Suany pela companhia nessa jornada.

Ao meu amigo Veber Moura pelo apoio nas horas que precisei durante o curso.

Ao Dr. Antônio Ocimar Manzi pelo apoio dado aos estudantes como coordenador do curso Clima e Ambiente .

Ao Dr. Bruce Walker Nelson pelo apoio prestado quando necessitei de informações sobre ArcGIS.

Ao meu grande amigo Daniel de Souza por me ajudar nos momentos difíceis de minha vida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

As folhas das árvores servem para nos ensinar a cair sem alardes. **(Manoel de Barros)**

RESUMO

As características naturais da bacia de drenagem influenciam de maneira significativa a composição química da água. No presente trabalho foram avaliadas a influência do relevo, solos hidromórficos, áreas alagáveis na concentração e exporte de sedimentos, carbono, fósforo e nitrogênio e também o pH. Para a quantificação das características naturais foram usadas imagens de alta resolução integradas a um sistema de informações geográficas (SIG). Os parâmetros geoquímicos foram valores médios obtidos de cruzeiros do projeto CAMREX (Carbon in the Amazon River Experiment). Para avaliar a influência dos fatores naturais na qualidade da água foram realizadas análises de regressão linear múltipla (stepwise). O material particulado dos rios, sedimentos em suspensão totais (SST) e carbono orgânico particulado (COP), apresentaram forte correlação com a elevação média a montante das bacias de drenagem. A porcentagem de terras andinas exerce forte influência na composição química da água, enquanto que a porcentagem de terras de Escudo não se mostrou significativa no estudo. O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou correlação com a porcentagem de áreas alagáveis e podzóis hidromórficos a montante nas bacias de drenagem. O carbono inorgânico dissolvido (CID) e o fósforo total (PT), e nitrogênio total (NT) tiveram correlação significativa com o relevo a montante na bacia de drenagem. O pH apresentou correlação com o relevo que contribui com carbonatos de origem marinha e também porcentagem de podzóis hidromórficos que fornecem considerável quantidade de ácidos fúlvicos e húmicos para o sistema fluvial. Este trabalho abre uma nova perspectiva na previsão de qualidade da água para qualquer ponto da bacia amazônica, uma vez que atualmente se dispõe de imagens de alta resolução que permitem quantificar as características naturais da bacia e através das equações geradas pelos modelos quantificar as diferentes formas de C, P, N, e também pH e sedimentos.

ABSTRACT

The natural characteristics of the drainage basin significantly influence the chemical composition of the water. In the present study we evaluated the influence of relief, hydromorphic soils, floodplains and concentration in stream sediment, carbon, phosphorus and nitrogen and also the pH. To quantify the natural features were used high-resolution images integrated into a geographic information system (GIS). The geochemical parameters were average values Cruise CAMREX project. To evaluate the influence of natural factors on water quality analyzes were performed multiple linear regression (stepwise). Particulate matter from rivers, total suspended sediment (TSS) and particulate organic carbon (POC), were strongly correlated with the average slope upstream watershed. The percentage of Andean land exerts a strong influence on the chemical composition of water, while the percentage of land shell was not significant in the study. Dissolved organic carbon (DOC) correlated with the percentage of floodplains and hydromorphic podzols in upstream watersheds. The dissolved inorganic carbon (DIC) and total phosphorus (TP) and total nitrogen (TN) had significant correlation with the amount raised in the drainage basin. The pH correlated with the relief that helps with carbonates of marine origin and also percentage of hydromorphic podzols that provide considerable amount of humic and fulvic acids to the river system. This work opens a new perspective in predicting water quality at any point of the Amazon basin, since currently offers high-resolution images that allow quantifying the natural characteristics of the basin and through the equations generated by the models quantify the different forms of C, P, N, but also for the pH and sediments.

SUMÁRIO

1.Introdução	13
2.Objetivo	18
2.1.Objetivo Geral	18
2.2.Objetivos Específicos	18
2.3.Hipóteses	19
3.Materiais e Métodos	20
4.Resultados	28
4.1.Sólidos em suspensão totais (SST)	28
4.2.Carbono orgânico particulado (COP)	33
4.3.Carbono inorgânico dissolvido (CID)	35
4.4Carbono orgânico dissolvido (COD)	37
4.5.Fósforo Total (PT)	39
4.6.Nitrogênio Total (NT)	41
4.7.pH.....	43
5.Discussão.....	45
6.Conclusão	51
Referências Bibliográficas	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área do estudo indicando a bacia Amazônica, o rio Solimões-Amazonas, seus principais tributários brasileiros e os pontos de amostragem (estações CAMREX) para a caracterização das propriedades físico-químicas dos rios.

Figura 2. Topografia da bacia amazônica, derivada do modelo de elevação digital SRTM (NASA-EUA).

Figura 3. Principais províncias geoquímicas da bacia amazônica. Modificado de Fittkau

Figura 4. A distribuição de podzóis e areias hidromórficas na bacia amazônica. Projeto RADAM Brasil (1972).

Figura 5. A distribuição das áreas alagáveis fluviais na bacia amazônica. Dados de Hess *et al* (2002).

Figura 6. Rede de drenagem da bacia amazônica derivado do modelo de elevação SRTM pelo projeto HYDROSHEDS (USGS/WWF).

Figura.7. Correlação entre porcentagem de terras andinas (>500m) e elevação média a montante das bacias de drenagem.

Figura.8. Relação entre a vazão média e área de drenagem a montante para o rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.

Figura.9. Influência do relevo a montante na concentração de sólidos em suspensão totais (SST) nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.10. Influência do relevo a montante no exporte médio de sólidos em suspensão totais nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.11. Influência do relevo a montante na concentração de carbono orgânico particulado (COP) nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.12. Influência do relevo a montante no exporte de COP nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.13. Influência do relevo a montante na alcalinidade nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.14. Influência do relevo a montante na concentração do carbono inorgânico dissolvido (CID) nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.15. Influência do relevo a montante no exporte de carbono inorgânico dissolvido nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.16. Equivalência entre a concentração predita de carbono orgânico dissolvido (COD) e a concentração medida de carbono orgânico dissolvido.

Figura.17. Influência dos podzóis hidromórficos a montante no exporte de carbono orgânico dissolvido nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.18. Influência do relevo a montante na concentração de fósforo total (PT) nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.19. Influência do relevo a montante exporte de fósforo total (PT) nos principais tributários da bacia amazônica.

Figura.20. Equivalência entre a concentração predita de nitrogênio total (NT) e a concentração medida de nitrogênio total.

Figura.21. Equivalência entre o exporte de nitrogênio total predito e medido.

Figura.22. Equivalência entre o pH predito e medido.

1.INTRODUÇÃO

A bacia amazônica apresenta variações na nuance e composição química de suas águas, as quais estão associadas aos diferentes padrões de distribuição das condições geológicas e mineralógicas ao longo de toda sua extensão. Sioli (1950) foi pioneiro estabelecendo a primeira classificação das águas superficiais da Amazônia. Ele classificou as águas em três tipos, de acordo a carga sólida e dissolvida presentes na água dos rios, que são chamados por ele de rios de águas brancas, claras e pretas. Os rios de “águas brancas” são aqueles que apresentam águas turvas, coloração em vários matizes de ocre, ricos em material particulado em suspensão, e com origem principalmente nos Andes. Nesta categoria se enquadram os grandes rios de origem Andina e Sub-Andina. Já os rios de “águas claras” apresentam diferentes tonalidades de verde, com pouca quantidade de material em suspensão e são mais pobres em nutrientes que os rios de “águas brancas”. Os rios de “águas pretas” apresentam água transparente, cor verde escuro e marrom e têm níveis extremamente baixos de nutrientes, (Sioli,1984).

Ungemach (1972) realizou estudos de caracterização das águas no rio Negro em Manaus, e concluiu que a concentração de componentes dissolvidos e de matéria orgânica fluvial aumenta e diminui de acordo o movimento da cota do rio. Schmidt (1972a) também determinou concentrações de material suspenso e teores de diversas substâncias dissolvidas no Rio Negro em Manaus. Ele relacionou os resultados encontrados as variações do nível do rio e as condições de precipitação. Comparando a composição química de igarapés da região da rodovia BR-174 (Manaus-Venezuela), Schimdt (1972b) relacionou a qualidade das águas com a geologia daquela região. A caracterização das águas de acordo com Fittkau (1971), está relacionada a regiões geoquímicas na bacia amazônica, que foram subdivididas por ele em três: região andina e pré-andina (área periférica Oeste) com predomínio das águas brancas; áreas periféricas Norte e sul que são regiões relativamente pobres em nutrientes, abrangendo as águas pretas e claras; região da Amazônia Central de pobreza geoquímica extrema, com predomínio das águas pretas. Essa divisão geoquímica proposta por Fittkau (1971), segundo Furch

(1984), é refletida na composição química das águas que drenam diferentes regiões. Entretanto, mesmo dentro da uniformidade de cada região geoquímica existem variações locais na química das águas.

O substrato litológico e os regimes de erosão são os principais fatores que controlam a química das águas superficiais, segundo Stallard & Edmond (1983). Eles classificaram as águas de acordo com a carga total de cátions. Um dos estudos de grande destaque com relação à caracterização das águas está o de Gibbs (1967), que fez uma amostragem de água e sedimentos em 16 tributários da bacia amazônica. O autor avaliou os fatores que controlam a composição dos sólidos suspensos e dissolvidos que são transportados pelo rio Amazonas. O autor destacou a importância do relevo como regulador da geoquímica do sistema, e que mais de 80% de sua carga sólida e suspensa tem origem Andina. Em estudos na bacia do rio Branco, Ferreira *et al* (2007) apontam a queda média de elevação da bacia de drenagem como causa mais provável da variação na concentração média de sedimentos totais em suspensão entre os tributários. A respeito da caracterização das águas, Sioli (1950) enfatizou apenas a classificação das águas em brancas, claras e pretas. Posteriormente Gibbs (1967), Stallard e Edmond (1983) e, posteriormente, Ferreira *et al* (2007) numa abordagem mais mecanística, relacionam a variabilidade nas propriedades químicas da água às características específicas da bacia de drenagem, como substrato geológico e relevo.

Os sólidos em suspensão são oriundos de diversas formas de erosão do solo e rochas, e são transportados para as partes mais baixas dos terrenos e canais fluviais. O escoamento de água nos próprios rios também produz erosão das margens e leito, e os sólidos desses processos são integrados ao escoamento. Os sedimentos transportados ao longo dos rios exercem também importante papel no transporte de nutrientes. Medido no município de Óbidos próximo do ponto de máxima descarga de sedimentos, a carga de sedimentos do Amazonas é em média cerca de 1200 milhões de toneladas por ano. As quantidades de sedimentos que são transferidos a cada ano entre o canal principal e a planície de inundação são enormes, (Meade, 2007). Segundo Meade (1994), a fonte de descarga líquida para o rio Amazonas difere da fonte de sedimentos para o mesmo. A fonte de descarga líquida se deve ao escoamento superficial das áreas a jusante da bacia que é aproximadamente

70%. Já a produção de sedimentos não se dá de forma homogênea, o que reflete as distintas taxas de erosão em diferentes partes da bacia hidrográfica.

O rio principal e seus afluentes exercem importante papel na geoquímica das florestas alagadas, por meio do regime hidrológico, erosão e deposição de sedimentos, na transferência de substâncias dissolvidas e organismos, (Yunk, 1997). Variações sazonais no nível da água provocadas pelo degelo dos Andes, precipitação, caracterizam o pulso de inundação. Neste processo há transferência de nutrientes e sedimentos entre o canal principal e a planície de inundação. O pulso de inundação é responsável pela complexidade dos sistemas aquáticos amazônicos. Segundo Richards *et al* (2002) as variações nas taxas de sedimentação e erosão implica em uma variedade de habitats característicos das florestas alagadas.

O carbono é um dos principais elementos na biogeoquímica dos rios. E se encontra presente nos sistemas aquáticos continentais, nas formas orgânicas como carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico particulado (COP), sendo a soma destas duas o carbono orgânico total (COT). e na forma inorgânica como carbono inorgânico dissolvido (CID). O COD é cerca de 70% do COT, segundo Moreira-Turcq *et al* (2003). A biogeoquímica do carbono no canal principal e reflexo dos processos que ocorrem na bacia de drenagem em escalas de espaço e tempo, (Richey *et al* 1990). A fração grosseira da matéria orgânica particulada transportada no canal principal e seus principais tributários é composta por recém formado de restos de folha e madeira. E a fração fina é relativamente antiga, degradada e rica em nitrogênio imobilizado e tem origem principalmente dos solos. Ao longo do canal principal geralmente a fração fina da matéria orgânica predomina, (Hedges *et al*, 1986). Segundo Moreira-Turcq *et al* (2003), o expor te médio de carbono orgânico do Rio Amazonas para o oceano esta entre 8 e 10%. O carbono inorgânico presente nos ecossistemas aquáticos está nas formas de CO_2 e CO_3^{2-} e HCO_3^- . As formas carbonato e bicarbonato se encontram presentes em maior ou menor percentagem dependendo do pH da água, além disso, conferem alcalinidade as águas. O transporte fluvial de CID é controlado pelos processos envolvidos na erosão química das rochas que compõe a bacia de drenagem, (Mortatti, 2006).

A produtividade primária nos ecossistemas fluviais é limitada principalmente por fósforo (P) e nitrogênio (N). As formas encontradas de P são fósforo total dissolvido (PTD) que é dividida em fósforo solúvel reativo (PSR) e fósforo orgânico dissolvido (POD). As concentrações de partículas orgânicas de P e N no rio Amazonas são inferiores à média mundial, e as formas inorgânicas são mais elevadas. Em virtude da grande descarga de águas do rio Amazonas o transporte de N total e P para o oceano é uma fração significativa do transporte destes elementos no rio. O rio Amazonas é responsável por cerca de 7% do P particulado transportado, de 10% do fósforo orgânico dissolvido (POD) e um terço do PO_4 natural transportado. O rio é também bastante significativo no transporte global de nitrogênio. Embora os valores das concentrações de N e P sejam típicos no rio, sua elevada descarga faz com que o exporte desses elementos para o oceano seja significativo para o ciclo global desses elementos, (Devol *et al*, 1991).

Os solos da Amazônia, em especial os hidromórficos, exercem influência na química da água. Segundo Klinge (1965) os podzóis tropicais estão associados com os rios de águas pretas. Substâncias húmicas solúveis são responsáveis pela coloração de águas pretas na bacia amazônica, (Leehner, 1980). Dentro desse contexto, Chauvel *et al* (1966) atribuem a natureza distinta dos sedimentos do rio Negro a deposição de partículas minerais combinadas e substâncias húmicas. As substâncias húmicas no sistema do rio Amazonas, são derivadas predominantemente de plantas vasculares, sendo, portanto de origem terrestre, (Ertel, 1986). A concentração de húmus na superfície do solo e sua diminuição com a profundidade, indicam que as pequenas moléculas orgânicas precursoras das substâncias húmicas migram pouco em profundidade, (Volkoff, 1981). Em solos onde há drenagem lenta e encharcamento periódico, a lixiviação dos ácidos fúlvicos livres para as camadas inferiores será menor. Dessa forma o húmus superficial é bastante rico em ácidos fúlvicos. Ainda, segundo Volkoff (1981), a interpretação das características próprias dos húmus dos solos com drenagem deficiente é ainda bastante incerta, devendo-se apenas ressaltar a maior riqueza em ácidos húmicos dos solos hidromórficos. A identificação de compostos específicos abre nova perspectiva para traçar a origem “podzólica” da matéria orgânica nas bacias de drenagem, (Bardy *et al*, 2011).

A combinação física (relevo), química (solos) e fatores bióticos (cobertura vegetal), e microbiota do solo, as quais desempenham importante papel na decomposição da liteira, determinam os tipos de águas que escoam na Amazônia (Sioli, 1984). Assim, partindo da idéia proposta por Sioli e dos estudos realizados por Gibbs 1967, Stallard and Edmond 1983, aliando a isso o uso de imagens de radar de alta resolução e dados geoquímicos confiáveis pode-se fazer um refinamento dos trabalhos realizados anteriormente. Dessa forma é possível compreender os processos que ocorrem na bacia de drenagem, e a influência destes nos parâmetros físico-químicos do rio Amazonas e seus principais tributários.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Investigar a influência das características naturais da bacia de drenagem sobre as propriedades físico-químicas do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.

2.2. Objetivos específicos

1. Investigar os fatores que controlam a concentração e exporte dos sólidos em suspensão totais do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.
2. Investigar os fatores que controlam a concentração e exporte do carbono orgânico particulado do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.
3. Investigar os fatores que controlam a concentração e exporte do carbono orgânico dissolvido do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.
4. Investigar os fatores que controlam a concentração e exporte do carbono inorgânico dissolvido do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.
5. Investigar os fatores que controlam o pH do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.
6. Investigar os fatores que controlam a concentração e exporte do fósforo total do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.
7. Investigar os fatores que controlam a concentração e exporte do nitrogênio total do rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.

2.3.Hipóteses

Partindo da hipótese geral, proposta pelo Sioli (1956), de que a composição físico-química da água de um rio depende das características biogeoquímicas e geomorfológicas da sua bacia de drenagem, e que o nível de cada componente físico-químico depende de características específicas desta bacia, no presente trabalho as seguintes hipóteses (H_1) serão testadas, com relação as componentes físico-químicas específicas:

1. A concentração de sólidos em suspensão totais (SST) depende predominantemente da diferença média em elevação ,porcentagem de terras andinas e de escudos.
2. A concentração do carbono orgânico particulado (COP), por ser associada diretamente ao SST, também depende destes mesmos fatores.
3. A concentração do fósforo total (PT), por ser associada predominantemente ao SST (Schmidt *et al* 1972), depende destes mesmos fatores.
4. A concentração do carbono orgânico dissolvido (COD) depende da densidade de áreas alagáveis e podzóis hidromórficos na bacia de drenagem a montante do ponto da medida.
5. A concentração do carbono inorgânico dissolvido (CID) depende da porcentagem de terras andinas (>500m) e de escudo na bacia de drenagem a montante do ponto da medida.
6. A concentração do nitrogênio total (NT) depende da diferença média em elevação, da densidade de podzóis hidromórficos, da densidade de áreas alagáveis e da proporção de terras andinas e de escudo na bacia de drenagem a montante do ponto da medida.
7. O pH do rio depende da proporção de áreas alagáveis, podzóis hidromórficos, terras andinas e terras de escudo na bacia de drenagem a montante do ponto da medida.

3.MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo – a área deste estudo inclui toda a bacia amazônica. Especificamente, serão estudados o rio Solimões-Amazonas, seus principais tributários brasileiros e as áreas drenadas por estes rios (Fig 1). O rio Solimões-Amazonas drena uma área de aproximadamente 6 milhões de km² e carrega aproximadamente 18% da água e 10% do sedimento transportado por rios globalmente (Dai e Trenberth 2002; Meade *et al.* 1985; Syvitski *et al* 2005).

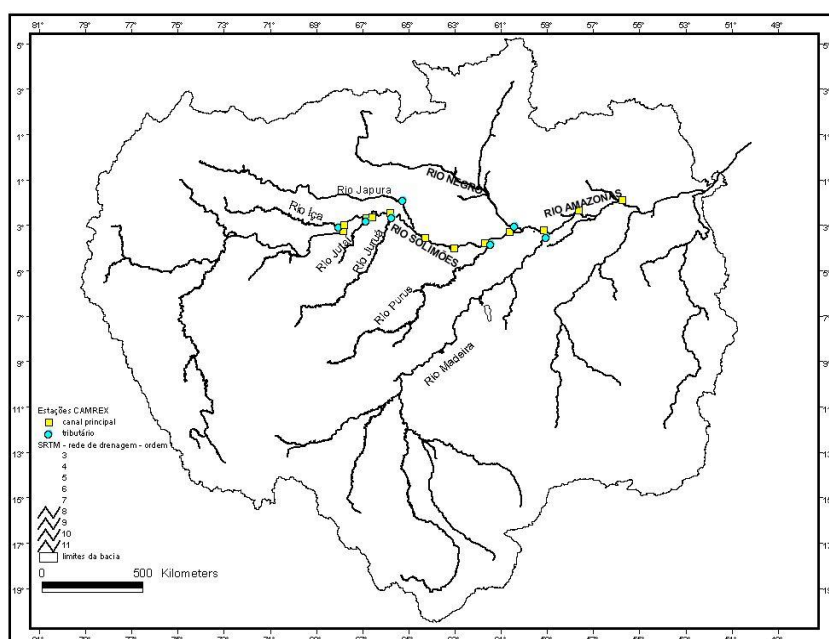


Figura 1. Área do estudo indicando a bacia Amazônica, o rio Solimões-Amazonas, seus principais tributários brasileiros e os pontos de amostragem (estações CAMREX) para a caracterização das propriedades físico-químicas dos rios.

As características físico-químicas da água fluvial variam consideravelmente ao longo do canal principal do rio Solimões-Amazonas e entre seus principais tributários, (Sioli,1984; Stallard & Edmond,1983). Esta variação se deve principalmente a diferenças nas características geomorfológicas e geoquímicas entre as respectivas sub-bacias de drenagem. A quantificação destas relações é o objetivo principal deste estudo. Variações topográficas influem fortemente na taxa natural de erosão e portando na concentração e transporte de sedimentos nos rios. Os principais elementos de relevo na bacia são a Cordilheira dos Andes no Oeste e Sul - Oeste da bacia e os escudos guianense

e brasileiro no Norte e Sudeste da bacia, respectivamente (Fig. 2). Variações na química inorgânica dos rios refletem diferenças na geoquímica dos solos

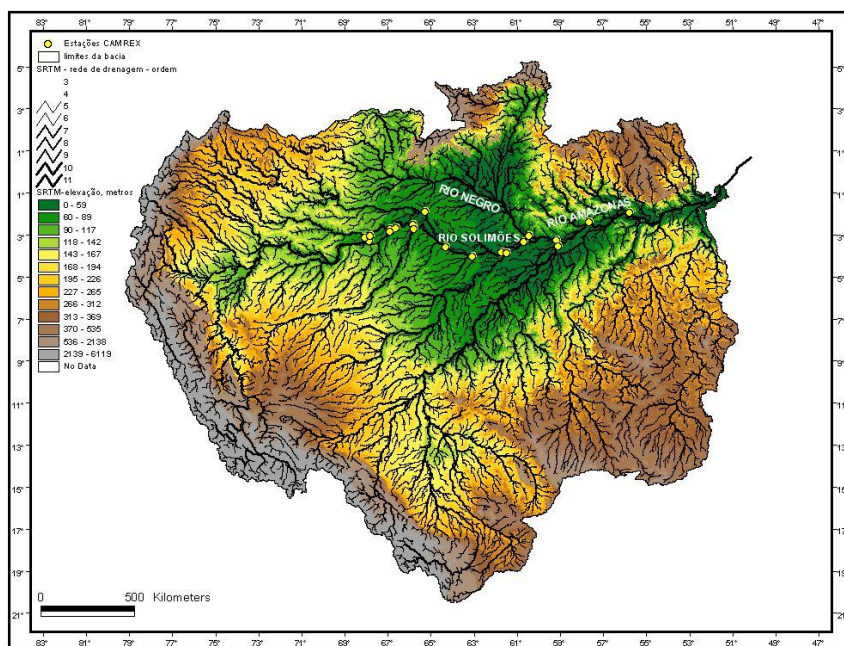


Figura 2. Topografia da bacia do Amazonica, derivada do modelo de elevação digital SRTM (NASA-EUA).

superficiais. Três províncias com características geoquímicas distintas foram identificadas na bacia Amazônica por Fittkau (1971), identificadas na Figura 3.



Figura 3. Principais províncias geoquímicas da bacia amazônica. Modificado de Fittkau 1971.

A região andina é coberta por sedimentos de origem marinha, ricas em sais, nutrientes e minerais secundários e os rios que drenam essas áreas são ricos nestes minerais. A bacia sedimentária central é coberta predominantemente por sedimentos fluvio-lacustes altamente intemperizados e os rios que drenam esta área são geralmente pobres em sais, nutrientes e minerais dissolvidos (Sioli,1984). Os escudos guianense e brasileiro são cobertos de solos derivados de substratos ígneos que são relativamente pobres em sais minerais. Seus rios têm níveis intermediários de sais, nutrientes e minerais. O material orgânico particulado nos rios amazônicos é derivado predominantemente dos solos florestais que estão encontrados em todas as províncias geoquímicas. Ele entra no sistema fluvial por via de erosão o que ocorre mais em áreas montanhosas. O material orgânico dissolvido nos rios estudados é derivado principalmente de podzóis hidromórficos e áreas alagáveis fluviais. Estes habitats são encontrados predominantemente em áreas de baixa elevação e suas distribuições são indicadas nas Figuras 4 e 5.

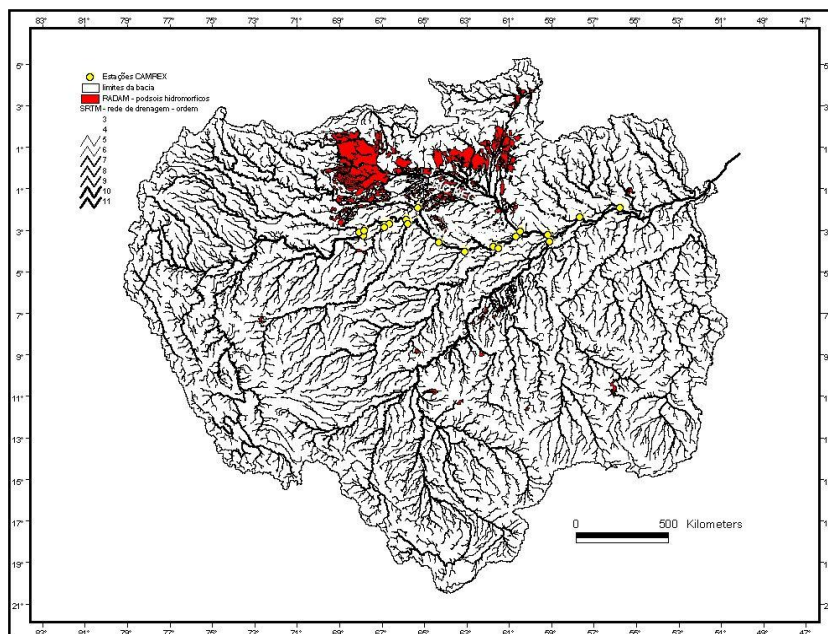


Figura 4. A distribuição de podzóis e áreas hidromórficas na bacia Amazônica. Projeto RADAM Brasil (1972).

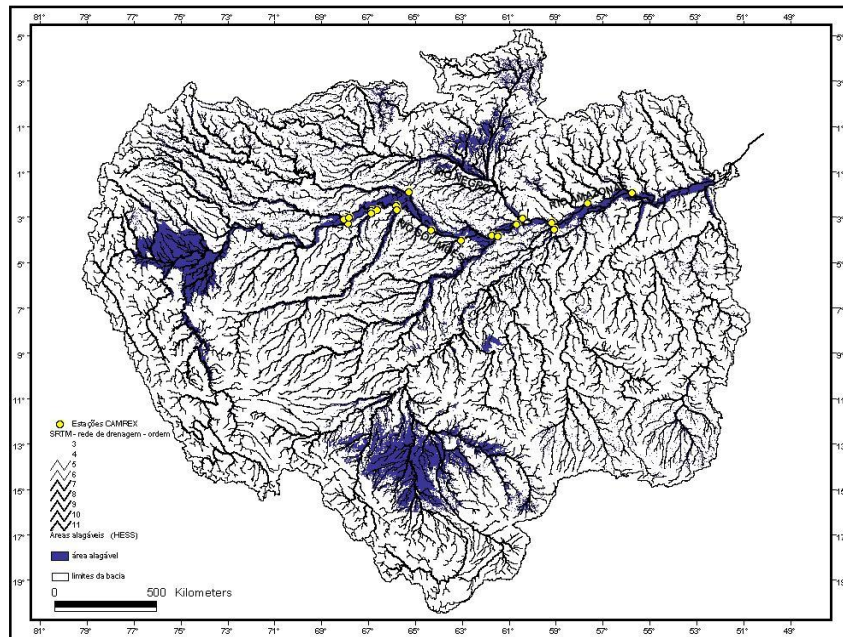


Figura 5. A distribuição da áreas alagáveis fluviais na bacia Amazônica. Dados de Hess *et al* (2002).

Abordagem Geral - Para investigar a influência da variação nas características das bacias de drenagem sobre as propriedades físico-químicas dos rios amazônicos, foram usados métodos geo-espaciais para quantificar estas características e relacioná-las estatisticamente aos valores médios de parâmetros físico-químicos dos rios, disponíveis na base de dados históricos do projeto CAMREX – Carbon in the Amazon River Experiment (Convênio INPA – UW/EUA). Os parâmetros físico-químicos (variáveis dependentes) que foram investigados incluem, pH, sedimentos e as principais formas dos elementos bioativos C, P e N, especificamente:

- SST = Sólidos em suspensão totais, mg/l
- COP = carbono orgânico particulado, mgC/l
- COD = carbono orgânico dissolvido, mgC/l
- CID = carbono inorgânico dissolvido, mgC/l
- FT = fósforo total, mgP/l
- NT = nitrogênio total, mgN/l
- pH = $-\log[H^+]$

As características das bacias de drenagem (variáveis independentes) que foram quantificadas e descritas na Tabela 2 incluem:

- ΔE = a diferença média em elevação entre o ponto de coleta e a bacia a montante;
- %TA = a porcentagem de terras andinas na bacia a montante do ponto de coleta;
- %S = a porcentagem de escudo na bacia a montante do ponto de coleta
- %AA = a porcentagem de áreas alagáveis fluviais a montante do ponto de coleta;
- %PH = a porcentagem de podzóis hidromórficos a montante do ponto de coleta

Dados físico-químicos dos rios – Os dados físico-químicos dos rios utilizados na análise foram adquiridos em 18 estações fluviométricas (Fig. 1) durante 13 excursões fluviais realizadas pelo projeto CAMREX (Convênio INPA/UW) durante o período de 1982 – 1991 cobrindo diversos estágios da hidrografia e amostrando aproximadamente 2000 km pelo canal principal e principais tributários da bacia. As concentrações utilizadas na análise foram valores médios dos cruzeiros realizados nesse período. As coletas abrangeram diferentes períodos do ano. A seção do rio foi dividida em 18 verticais equidistantes onde alternadamente em nove delas foram coletadas amostras de água para análise química e nas outras nove foram coletadas amostras para sedimentos, de modo que foi feita uma integração de todo perfil da coluna d'água (Richey, 1986).

Quantificação das características das bacias de drenagem – as características de bacia indicadas acima foram quantificadas e integradas espacialmente na bacia de drenagem a montante de cada ponto de coleta. Os limites da bacia de drenagem a montante de cada ponto de coleta foram delimitados em SIG (ARCGIS 9.3, ESRI, Inc.), utilizando a rede de drenagem derivada do modelo digital de elevação SRTM (shuttle radar topographic

mission – NASA/EUA) pelo projeto HYDROSHEDS (USGS/WWF). Esta rede de drenagem, indicado na Figura 6, inclui todos os canais, iguais ou maiores do que terceira ordem.

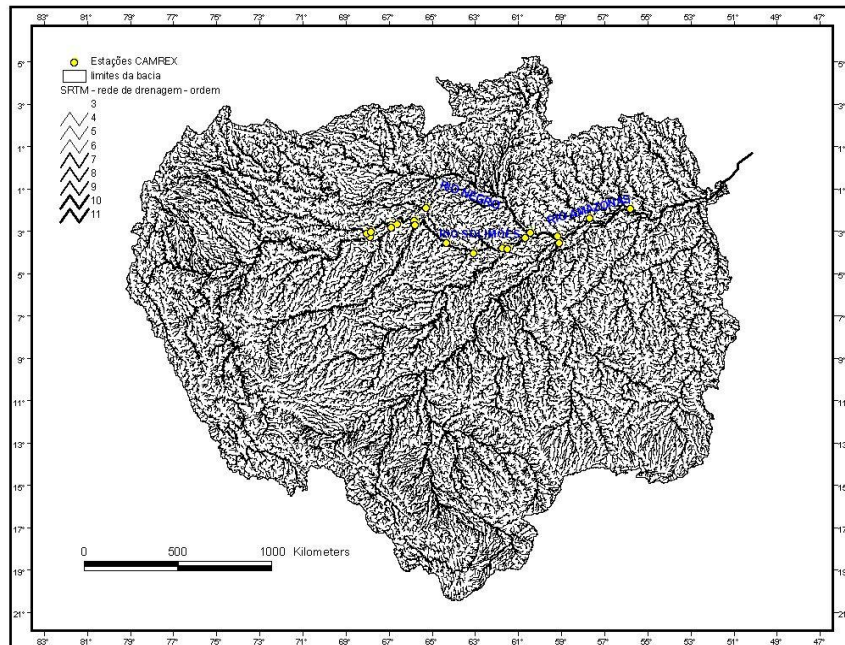


Figura 6. Rede de drenagem da bacia Amazônica derivado do modelo de elevação SRTM pelo projeto HYDROSHEDS (USGS/WWF).

Para a delimitação das sub-bacias foram criados *shapefiles* através da extensão *ET GeoWizards* do Arc Gis 9.3 para cada uma das 18 sub-bacias da área de estudo. Foi configurado o tipo de vetor (polígono), o local e nome de seu vetor e definido o sistema de coordenada.

A diferença média em elevação entre o ponto de coleta e a bacia a montante, ΔE , será estimada segunda a equação:

$$\Delta E = E(\text{bacia})_{\text{média}} - E(\text{ponto}) \quad (1)$$

onde,

ΔE = a diferença média de elevação;

$E(\text{bacia})_{\text{média}}$ = a média da elevação a montante do ponto da medida;

$E(\text{ponto})$ = a elevação no ponto da medida fluviométrica.

Os valores do $E(\text{ponto})$ e $E(\text{bacia})_{\text{média}}$ foram estimados utilizando o modelo digital de elevação SRTM (Fig.2), integrado espacialmente em SIG. O modelo digital de elevação SRTM têm uma resolução espacial de 3 arcsegundos (aproximadamente 100m) e uma resolução vertical de 1 – 4m.

Com os *shapefiles* criados foram feito recortes do modelo digital de elevação para cada sub-bacia através da ferramenta *clip management* em *Data Management Tools*, de modo que obteve-se a elevação média de cada sub-bacia para os recortes feitos. De posse da elevação média das sub-bacias de drenagem e da elevação no ponto de coleta, calculou-se a elevação média para cada uma das sub-bacias.

A porcentagem de terras andinas na bacia a montante do ponto de coleta, %TA, foi estimada a partir da integração das áreas da região Oeste e Sul-Oeste da bacia Amazônica com elevação superior a 500 m em SIG. O modelo digital de elevação SRTM foi utilizado para delimitar estas áreas. Foi feita uma classificação das áreas da região Oeste e Sul-Oeste pela ferramenta *reclassify* em *3D Analyst Tools* onde se classificou as áreas com elevações maiores e menores que 500m gerando duas classes de elevação. Em seguida pode se calcular a porcentagem de terras andinas para cada sub-bacia da área de estudo.

A porcentagem de escudo na bacia a montante do ponto de coleta, %S, foi estimada a partir da integração das áreas da região Norte e Sudeste da bacia amazônica com elevação superior a 500 m. O modelo digital de elevação SRTM foi utilizado para delimitar estas áreas. Foi feita uma classificação dessas áreas em 2 classes e em seguida calculada a porcentagem de área de escudos para cada sub-bacia.

A porcentagem de área alagável fluvial a montante do ponto de coleta, %W, foi estimada a partir da integração das áreas alagáveis definidas na máscara de áreas alagáveis desenvolvido para a bacia amazônica por Hess *et al*, (2002). Esta máscara foi criada a partir da análise de um mosaico de imagens de radar, banda L, do satélite JERS-1, adquirido durante o período da cheia de 1996, e tem uma resolução espacial de 3 arcsegundos (aproximadamente 100 m). Na ferramenta clip em Analysis Tools foi feito o

recorte do *shapefile* de áreas alagáveis para cada *shapefile* que delimita as sub-bacias. Em seguida usando a ferramenta *Union* foi feita a junção das feições de ambos *shapefiles*. Na extensão *XTools Pro* do ArcGis 9.3 em *Table operations* foi realizada o cálculo da área das áreas alagáveis para cada sub-bacia, o sistema de coordenadas foi definido em *Albers Equal Area* para obtermos a área em m². De posse da área das áreas alagáveis, calculou-se a porcentagem desta para cada sub-bacia.

A porcentagem de podzóis hidromórficos a montante do ponto de coleta, %PH, foi estimada a partir da integração de polígonos desta classe de solo, definidos pelo projeto RADAM BRASIL (1972). Um recorte dos polígonos de podzóis hidromórficos para cada sub-bacia foi feito usando a ferramenta *clip* em *Analysis Tools* e em seguida a união das feições com a ferramenta *Union*. E finalmente em *XTools Pro* foi calculada a área de podzóis para cada sub-bacia.

Análise de dados - A normalidade de todas as variáveis dependentes e independentes foram avaliadas com o teste Shapiro-Wilk e todas apresentaram-se dentro da normalidade. A influencia quantitativa das diferentes características das bacias sobre os níveis de cada parâmetro físico-químico fluvial foi investigada com “step-wise” regressão múltipla. Somente as variáveis que contribuem significativamente para a variação de cada parâmetro físico-químico foram incluídas na equação de regressão final. Todas as análises estatísticas foram efetuadas com o software SPSS 13.0.

4.RESULTADOS

4.1.Sólidos em suspensão totais (SST)

As bacias que drenam as porções oeste e sul-oeste da bacia amazônica apresentaram maiores porcentagens de terras andinas sendo que algumas bacias como do rio Negro , Jutai, Juruá e Purús não drenam terras andinas. Em relação a porcentagem de terras de escudos grande parte das bacias delimitadas não apresentaram terras de escudos nas suas áreas de drenagem exceto as bacias do rio Negro, rio Amazonas (S.José do Amajari), rio Amazonas (Costa do Paurá), rio Madeira, e rio Amazonas (Óbidos). Em relação á area de drenagem as bacias com maiores áreas foram Amazonas (Óbidos) e Amazonas (Costa do Paurá) e as bacias do Iça e Jutai apresentaram menores áreas de drenagem. A porcentagem de áreas alagáveis paras as bacias está distribuida de forma mais homogênea entre as bacias estudadas. Com relação a porcentagem de podzóis hidromórficos podemos notar que grande parte desta classe de solo está concentrada na bacia do rio Negro (Tabela 1).

Tabela 1. características de cada ponto de medida calculadas por uso do SIG.

Nome	Lat.	Lon.	[km]	ΔE [m]	Drenagem [10 ³ x km ²]	%TA	%S	%AA	%PH
Vargem Grande	-3.28	-67.85	0	1093	1020	40	0	15	0
Rio Ica	-3.03	-68.20	16	178	120	4	0	19	0
S. Antonio do Ica	-3.01	-67.89	20	995	1140	36	0	15	0
Xibeco	-2.58	-67.19	184	990	1148	36	0	15	0
Rio Jutai	-2.80	-67.02	195	80	78	0	0	13	1
Tupe	-2.50	-65.86	384	928	1226	33	0	15	0
Rio Jurua	-2.72	-65.80	402	167	180	0	0	11	0
Rio Japura	-1.81	-65.69	543	229	261	6	0	14	3
Jutica	-3.64	-64.23	692	731	1724	25	0	15	1
Itapeua	-4.04	-63.01	869	716	1773	24	0	15	1
Anori	-3.81	-61.61	1063	709	1803	23	0	16	1
Rio Purus	-3.74	-61.43	1073	145	376	0	0	11	0
Manacapuru	-3.33	-60.56	1203	610	2201	19	0	15	1
Rio Negro	-3.06	-60.30	1289	163	718	0	9	17	19
S. Jose Amajari	-3.24	-58.98	1411	507	2925	15	9	15	5
Rio Madeira	-3.44	-58.79	1439	513	1322	15	2	16	0
Paura	-2.39	-57.44	1661	496	4378	14	2	16	4
Obidos	-1.93	-55.52	1946	472	4671	13	2	15	3

A influência do relevo na concentração de sólidos em suspensão e sais dissolvidos foi descrita por Stallard e Edmond (1983), Stallard (1985) e Gibbs (1967) para tributários da bacia amazônica. Para avaliar as implicações do relevo na concentração e exporte de sólidos em suspensão para o rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros, foram incluídas como variáveis independentes no modelo de regressão a porcentagem de terras andinas, porcentagem de escudos, elevação média e foram usadas médias da concentração de SST do projeto CAMREX (1982-1991). Pelo resultado da regressão stepwise, a porcentagem de escudos não foi significativa tanto para a concentração de sólidos totais quanto para o exporte de sólidos totais por área de drenagem. A porcentagem de terras andinas e elevação média ambas foram significativas estatisticamente para o modelo com p -valor < 0.001 , sendo a elevação média escolhida como variável preditora uma vez que muitas pesquisas (Stallard 1985; Gibbs 1967; Ferreira *et al* 2007) apontaram o relevo como principal fator que controla as diferenças nas concentrações de sedimentos em suspensão em tributários do rio Amazonas, e além disso há uma correlação quase perfeita entre elevação média e porcentagem de terras andinas. Essa correlação apresentou R^2 igual a 0.994 e p -valor < 0.001 (Figura 7). Os maiores valores para concentração de sólidos em suspensão totais foram observados no rio Solimões na estação Vargem Grande e os menores valores observados no rio Negro. Assim para a modelagem da concentração e exporte de SST por área de drenagem foi estabelecida como variável independente a elevação média.

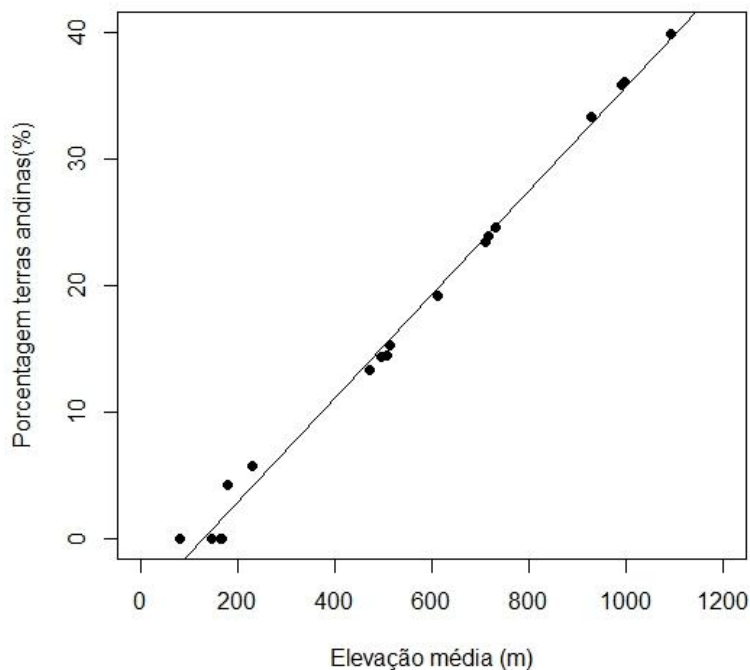


Figura 7. Correlação entre Porcentagem de terras andinas (>500m) e a elevação média a montante das bacias de drenagem.

A correlação da descarga e área de drenagem é positiva e apresentou um R^2 de 0.935 , p-valor <0.001 (Figura 8). Relação similar a descrita por Forsberg *et al* (1988). Os rios Madeira, Amazonas em Óbidos e Costa do Paurá apresentaram um pequeno desvio em relação a linha de regressão. Essa relação sugere que o escoamento superficial é relativamente constante para os tributários estudados. Os baixos valores para as estações de Óbidos e Paurá é devido a influência do rio Madeira, o qual está incluído nos seus valores de descarga. Essa relação sugere também que no geral os maiores valores de vazão estão associados as maiores bacias de drenagem uma vez que os tributários analisados estão todos dentro de uma mesma região climática. Dessa forma como a descarga é diretamente proporcional a área de captação de cada bacia , o quociente do fluxo de massa pela área da bacia de drenagem (exporte) eliminará o efeito do volume de água sobre o fluxo de massa.

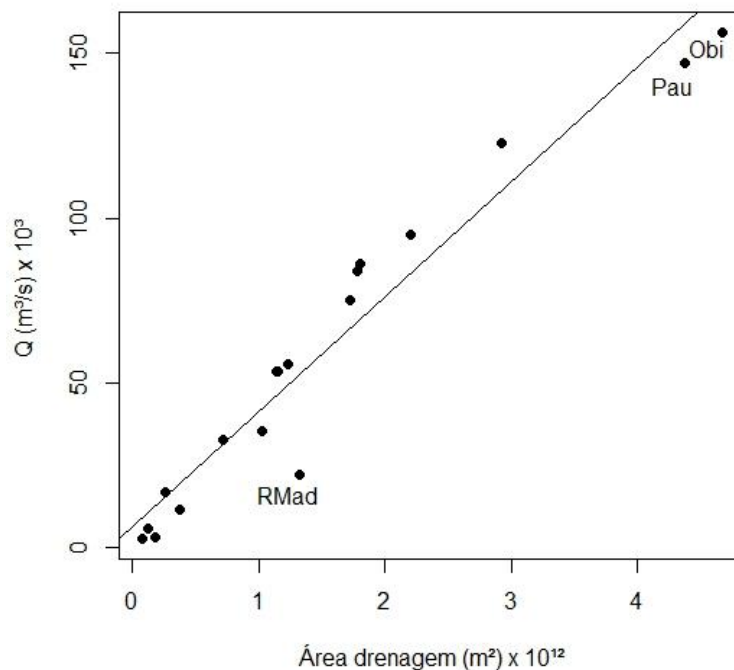


Figura 8. Relação entre a vazão média e área de drenagem a montante para o rio Solimões-Amazonas e seus principais tributários brasileiros.

Com p -valor $< 0,001$ aceitamos a hipótese H_1 e a concentração de SST pode ser modelada por uma reta com a variável preditora elevação média. O coeficiente de determinação R^2 foi igual a 0,907 para o modelo da concentração de sólidos totais com a elevação média como variável independente, confirmando a correlação entre as variáveis em questão. O gráfico de dispersão (Figura 9) mostra a tendência linear ao longo da linha de regressão com exceção dos “outliers” que são os tributários Madeira e Juruá.

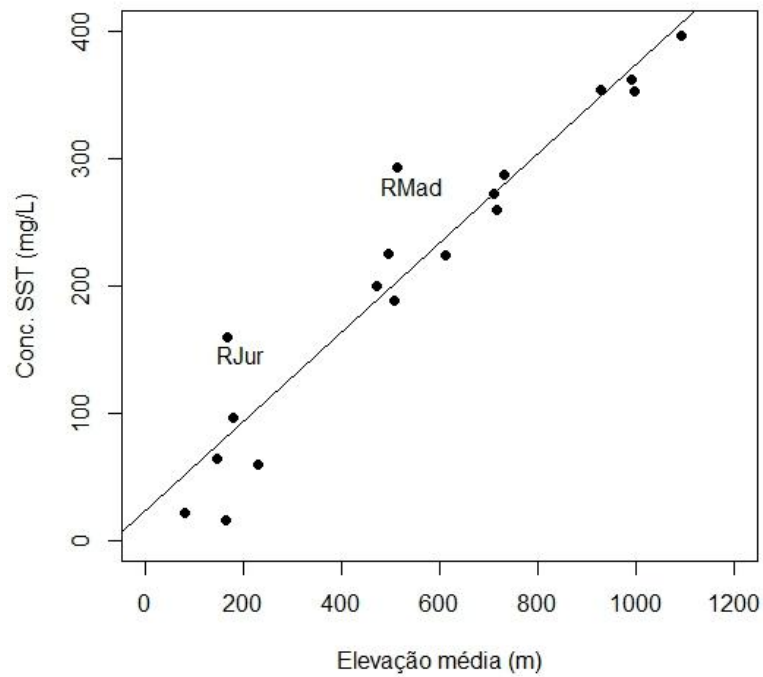


Figura 9. Influência do relevo a montante na concentração de sólidos em suspensão totais (SST) nos principais tributários da bacia amazônica.

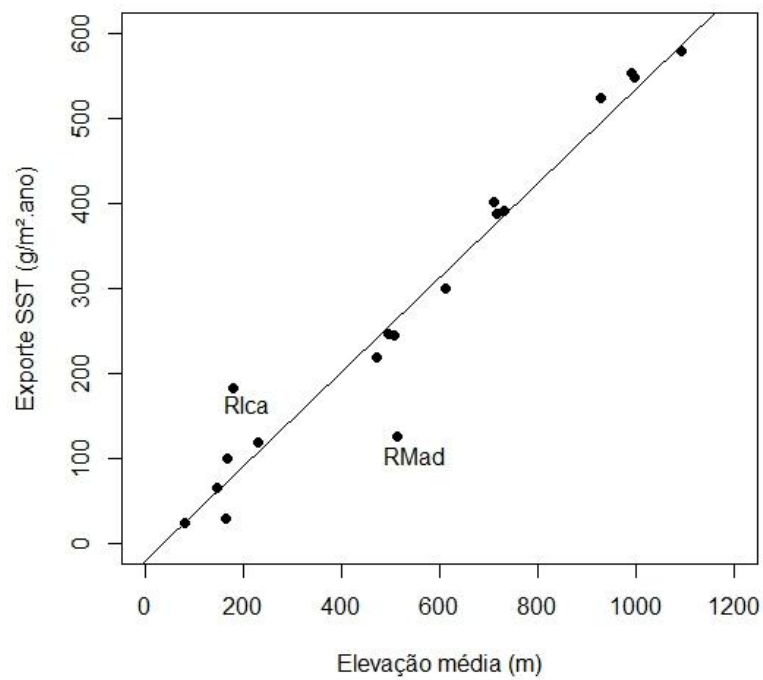


Figura 10. Influência do relevo a montante no exporte médio de sólidos em suspensão totais nos principais tributários da bacia amazônica.

Para o expor de SST (Figura 10) obteve-se R^2 de 0.94, e também podemos observar um melhor ajuste dos pontos na linha de regressão, devido a eliminação das variações quando se incluiu os diferentes valores de escoamento para cada sub-bacia. As duas variáveis dependentes correlacionaram positivamente com a elevação média das bacias de drenagem a montante, o que aponta a erosão associada a variações no relevo como a provável causa das variações na concentração de SST como também no expor de SST.

4.2. Carbono orgânico particulado (COP)

No modelo de regressão para avaliar a variável dependente concentração média de COP dos tributários estudados foram incluídos na regressão a porcentagem de terras andinas, porcentagem de escudos e elevação média como variáveis independentes devido ao fato do COP estar associado ao SST. A variabilidade da concentração do COP assim como o SST também foi explicada pela elevação média, sendo que a porcentagem de escudos não foi significativa. A concentração de carbono orgânico particulado (COP) correlacionou-se positivamente com a elevação média como podemos notar pela Figura 11. O R^2 foi de 0.932 e p-valor < 0.001 . Com a execução do rio Negro todos os pontos se ajustaram de forma satisfatória a linha de regressão. O padrão apresentado para a concentração de COP foi similar a concentração de SST quando correlacionado a elevação média. Maiores valores de elevação estão relacionados a valores elevados de COP. Pode-se notar que o Rio Negro apresentou comportamento similar a correlação de SST com a elevação média. Para o expor de COP foram incluídas como variáveis independentes a porcentagem de terras andinas, porcentagem de escudos e a elevação média no modelo para explicar a variação no expor de COP. A porcentagem de escudos não foi significativa. Para a regressão linear foi escolhida a elevação média como variável independente com um R^2 ajustado de 0.852, sendo a variável independente significativa com p-valor < 0.001 . A Figura 12 mostra a correlação entre o expor de COP e a elevação média.

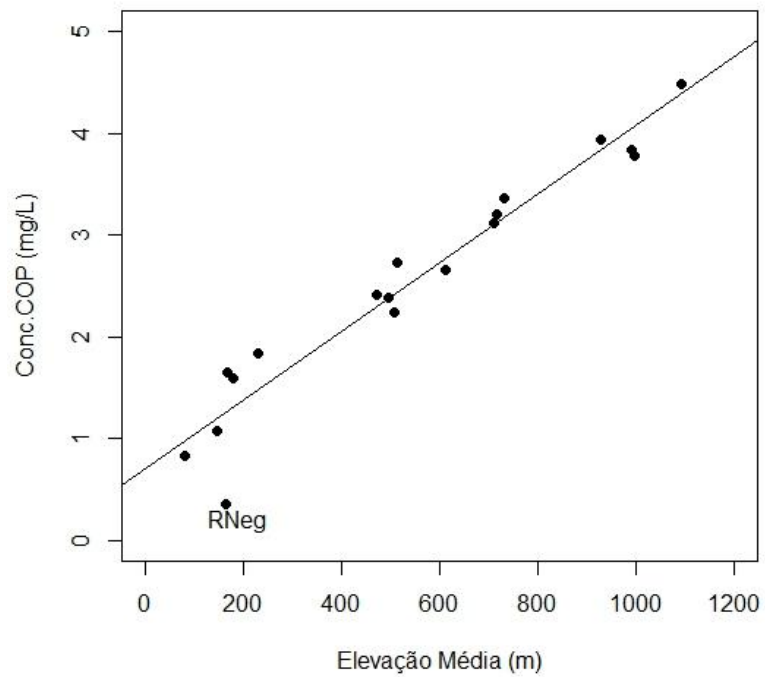


Figura 11. Influência do relevo a montante na concentração de carbono orgânico particulado (COP) nos principais tributários da bacia amazônica.

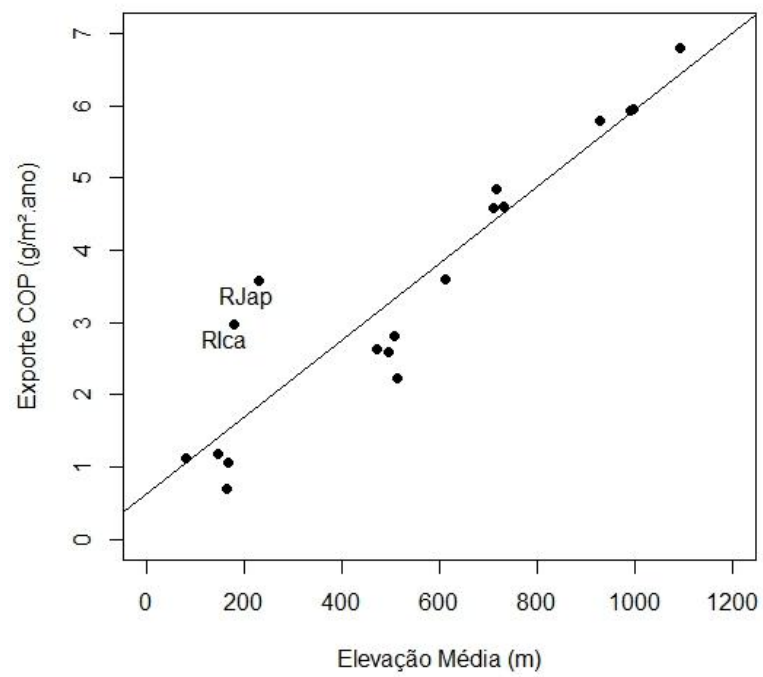


Figura 12. Influência do relevo a montante no exporte de COP nos principais tributários da bacia amazônica.

4.3. Carbono inorgânico dissolvido (CID)

A concentração de carbono inorgânico dissolvido (CID) variou entre os tributários e os que apresentavam maior porcentagem de terras andinas em suas bacias de drenagem tinham maiores valores de CID. Por ser uma componente do carbono inorgânico, a alcalinidade apresentou comportamento similar ao mesmo. A correlação da alcalinidade (variável dependente) e porcentagem de terras andinas (variável independente) apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0.70 e p-valor < 0.001 com o rio Juruá se comportando como “outlier” no gráfico de dispersão (Figura 13). O coeficiente de determinação (R^2) para a concentração do DIC teve um valor 0.55 e p-valor < 0.0001 e os tributário Juruá apresentou o mesmo padrão de dispersão da alcalinidade (Figura 14).

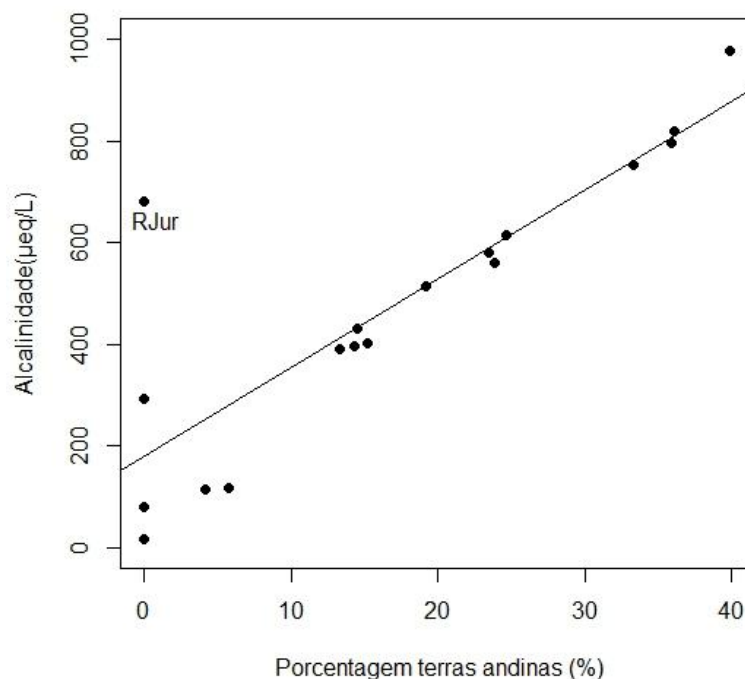


Figura 13. Influência do relevo a montante na alcalinidade nos principais tributários da bacia amazônica.

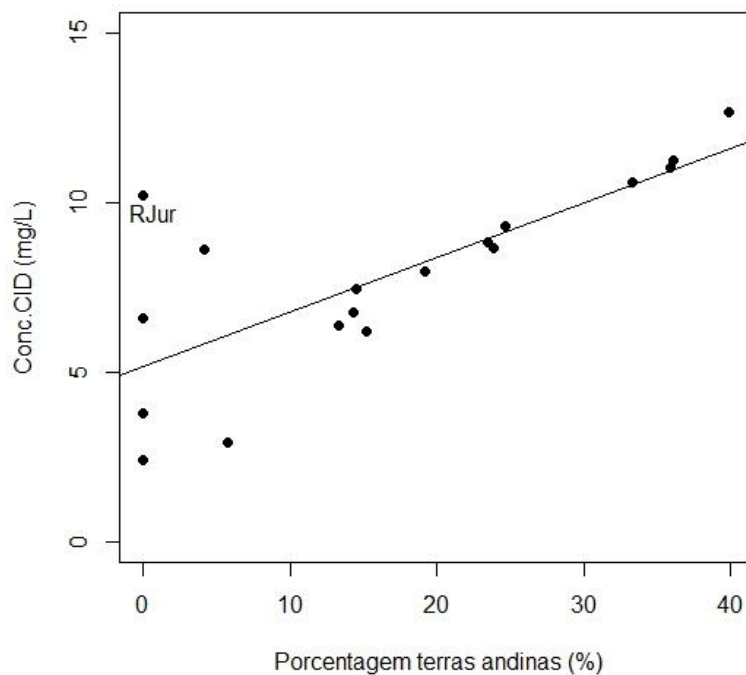


Fig 14. Influência do relevo a montante na concentração do carbono inorgânico dissolvido (CID) nos principais tributários da bacia amazônica.

O expor de CID apresentou um melhor valor do R^2 que foi de 0.607 e os pontos se ajustaram melhor a linha de regressão com a exceção dos rios Madeira e Iça, como podemos notar na Figura 15. A variável independente elevação média teve p -valor < 0.001 tanto para concentração e expor de CID. Podemos notar uma relação proporcional entre porcentagem de terras andinas e concentração de carbono orgânico dissolvido.

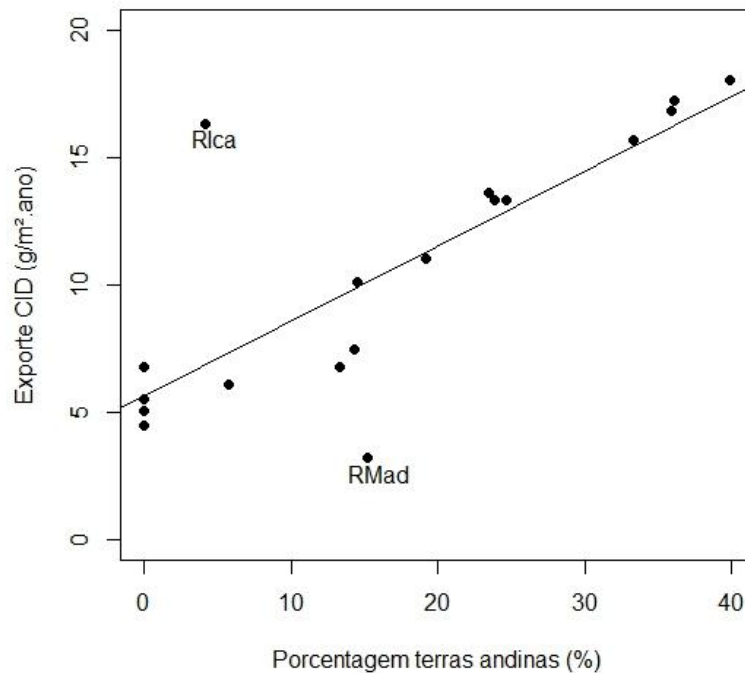


Figura 15. Influência do relevo a montante no exporte de carbono inorgânico dissolvido nos principais tributários da bacia amazônica.

4.4. Carbono orgânico dissolvido (COD)

A concentração de carbono orgânico dissolvido teve uma correlação significativa com a porcentagem de podzóis, p-valor <0.001, e com a porcentagem de áreas alagáveis significativa com p-valor < 0.05. O R^2 ajustado foi de 0.897. Os rios Japurá, Jutuí e Juruá apresentaram desvios em torno da linha de equivalência da concentração estimada e observada de COD, (Figura 16). O rio Negro apresentou maior valor médio de concentração de carbono orgânico dissolvido como podemos notar na Figura 16 comportando-se como outlier no modelo de regressão. Pode-se notar o comportamento do rio Negro como "outlier" no modelo, uma vez que a bacia do rio Negro apresenta maior parte da distribuição de podzóis hidromórficos o que resulta no elevado valor de COD nas águas do rio Negro, comportamento distinto dos outros tributários

observados os quais apresentam menores concentrações de carbono orgânico dissolvido quando comparado aos valores observados no rio Negro.

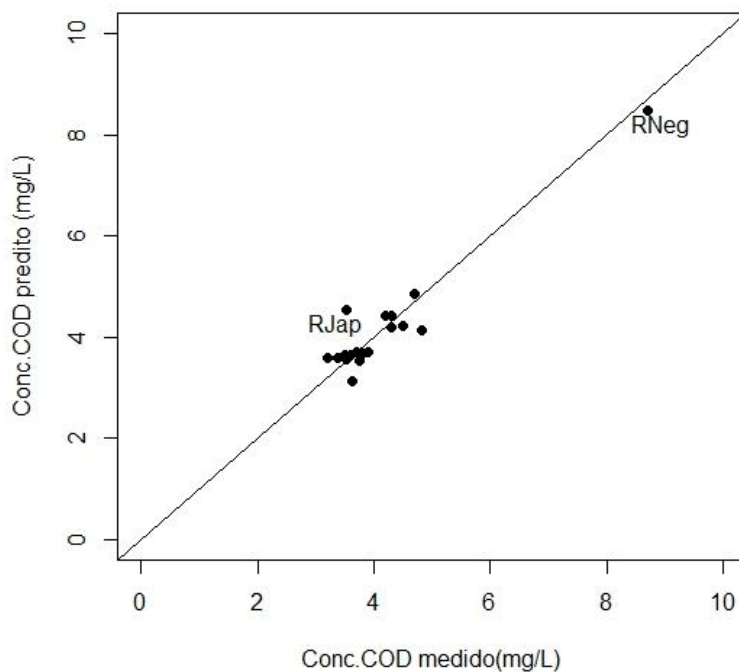


Figura 16. Equivalência entre a concentração predita de carbono orgânico dissolvido (COD) e a concentração medida de carbono orgânico dissolvido.

O expor te de COD por área de drenagem (Figura 17) correlacionou-se apenas com a porcentagem de podzóis hidromórficos ($p < 0.001$) ocasionando uma redução no valor de R^2 que foi de 0.679. Para esse modelo a porcentagem de áreas alagáveis não se mostrou significativa. Pode-se observar a maior média de expor te de carbono orgânico dissolvido por área de drenagem para a bacia do rio Negro que apresentou maior valor em relação as outras bacias analisadas.

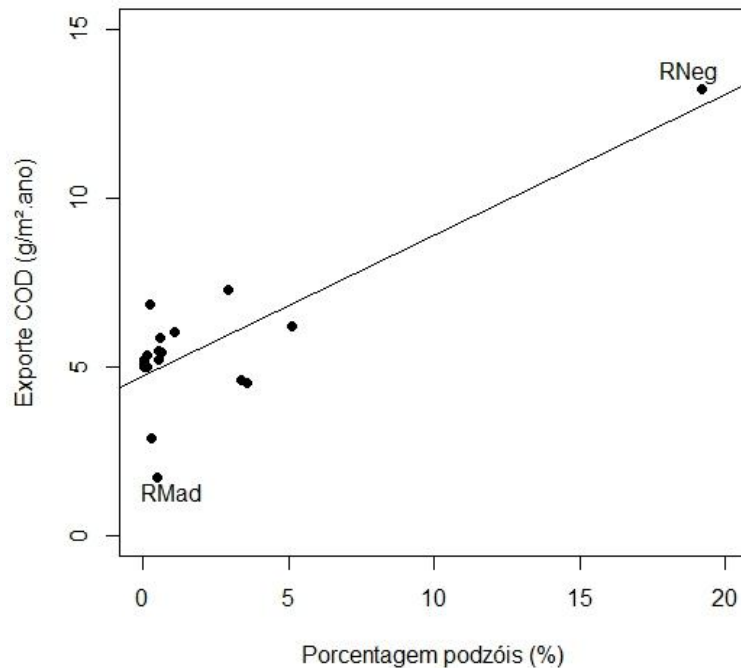


Figura 17. Influência dos podzóis hidromórficos a montante no exporte de carbono orgânico dissolvido nos principais tributários da bacia amazônica.

5. Fósforo total (PT)

Como variáveis preditoras da concentração e exporte de fósforo total foram incluídas a porcentagem de terras andinas porcentagem de escudos e elevação média. A porcentagem de escudos não foi significativa e a elevação média foi escolhida como variável preditora. Os rios que drenam os andes são ricos em concentrações de nutrientes inorgânicos em comparação com os rios que drenam os escudos e a planície amazônica (Forsberg *et al*, 1988), e esse comportamento é observado nas correlações apresentadas para as variáveis concentração e exporte de fósforo total, respectivamente. Tal fato era esperada uma vez que as fontes de fósforo têm origem nos Andes (Stallard & Edmond, 1983; Gibbs, 1967).

A concentração e exporte de fósforo total apresentaram comportamento similar ao apresentado pelo SST. Para a concentração de fósforo como

variável independente a elevação média, com p-valor < 0,001 obteve-se um R^2 de 0.863 e o Rio Madeira foi um outlier observado, (Figura 18)

A variável exporte de fósforo total apresentou R^2 de 0.962, p-valor <0.001 e como podemos observar no gráfico (Figura 19) o melhor ajuste dos pontos a linha de regressão. Nesse modelo tivemos o rio Iça e Negro apresentaram uma maior variação em torno da linha de regressão.

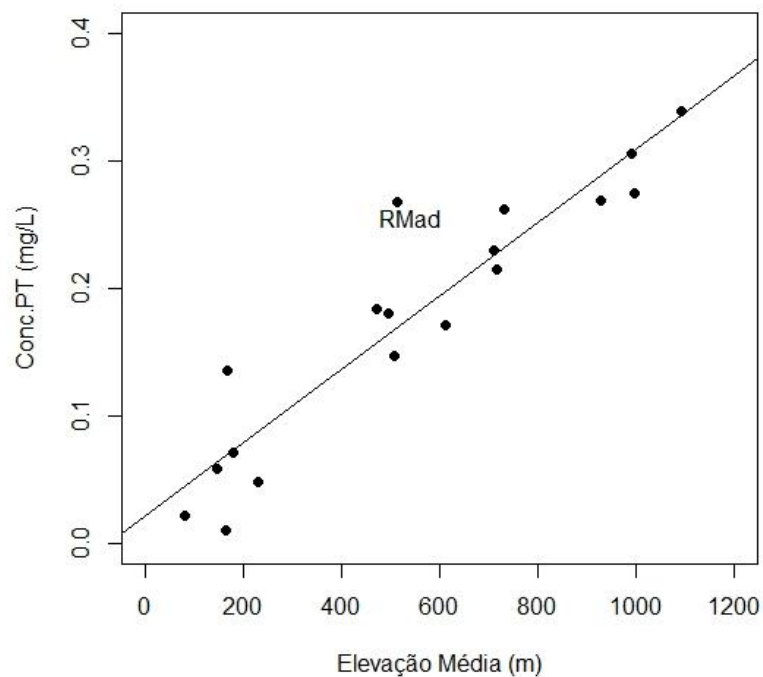


Figura 18. Influência do relevo a montante na concentração de fósforo total (PT) nos principais tributários da bacia amazônica.

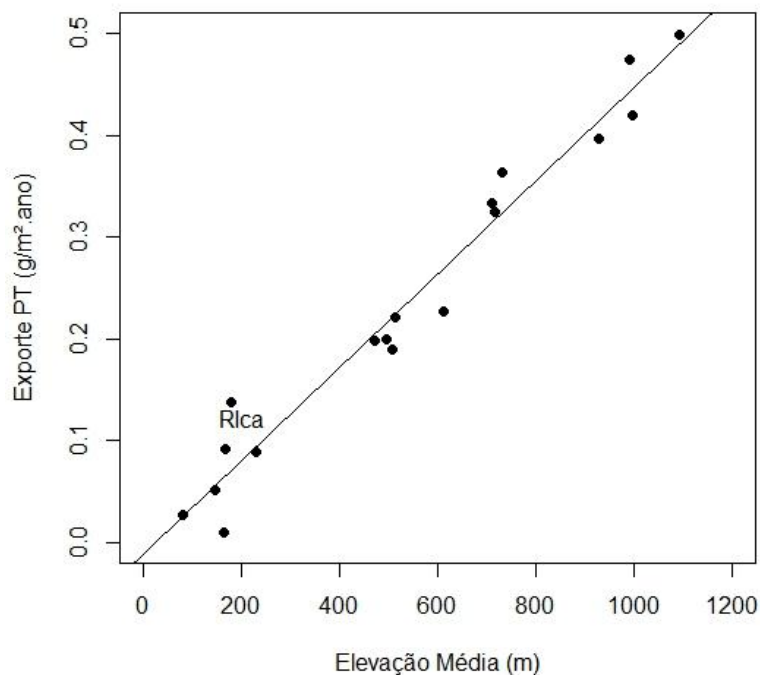


Figura 19 . Influência do relevo a montante exporte de fósforo total (PT) nos principais tributários da bacia amazônica.

4.6.Nitrogênio Total (NT)

O parâmetro concentração de nitrogênio total (NT) teve como variáveis independentes significativas para o modelo a elevação média com p-valor < 0.01, a porcentagem de terras andinas que teve p-valor < 0.05 e por fim a porcentagem de podzóis hidromórficos com p-valor < 0.001. Essas três variáveis foram incluídas no modelo de regressão múltipla que gerou um R^2 ajustado de 0.92. Podemos notar no gráfico de equivalência da concentração estimada contra a concentração observada (Figura 20) que os pontos se ajustaram de forma satisfatória a linha de equivalência.

Para o exporte de nitrogênio total o R^2 ajustado é de 0.84 com ambas variáveis independentes significativas. Dessa forma optou-se para o modelo de regressão múltipla, sendo a variável dependente o exporte de nitrogênio total e as variáveis independentes a porcentagem de terras andinas e a elevação média.

O exorte de NT (Figura 21) foi correlacionado com a elevação média (p-valor < 0.005) e com a porcentagem de terras andinas (p-valor <0.001).

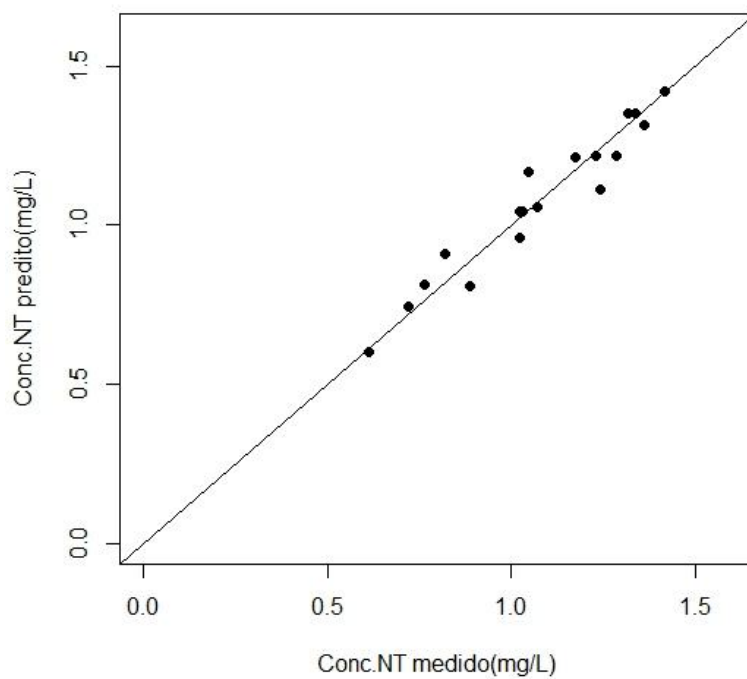


Figura 20. Equivalência entre a concentração predita de nitrogênio total (NT) e a concentração medida de nitrogênio total.

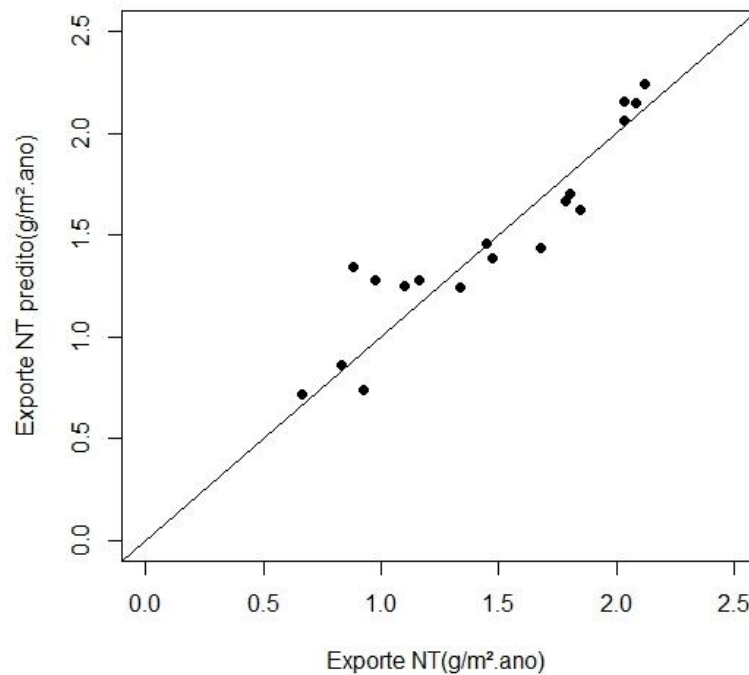


Figura 21. Equivalência entre o exporte de nitrogênio total predito e medido.

4.7.pH

O pH, pela análise de regressão linear múltipla (RLM) stepwise apresentou uma correlação significativa tanto com a elevação média ($p < 0,001$) e porcentagem de terras andinas ($p < 0,001$) como para a porcentagem de podzóis hidromórficos ($p < 0,001$). O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0.936. Dessa forma essas três variáveis foram incluídas no modelo para estimar o pH através da equação (tab.1) de regressão. Podemos notar na figura 22 que o pH estimado apresentou valores muito próximos do pH observado.

As equações dos modelos de regressão apresentados, as variáveis de cada modelo, bem como o coeficiente de correção estão apresentados na tabela 2.

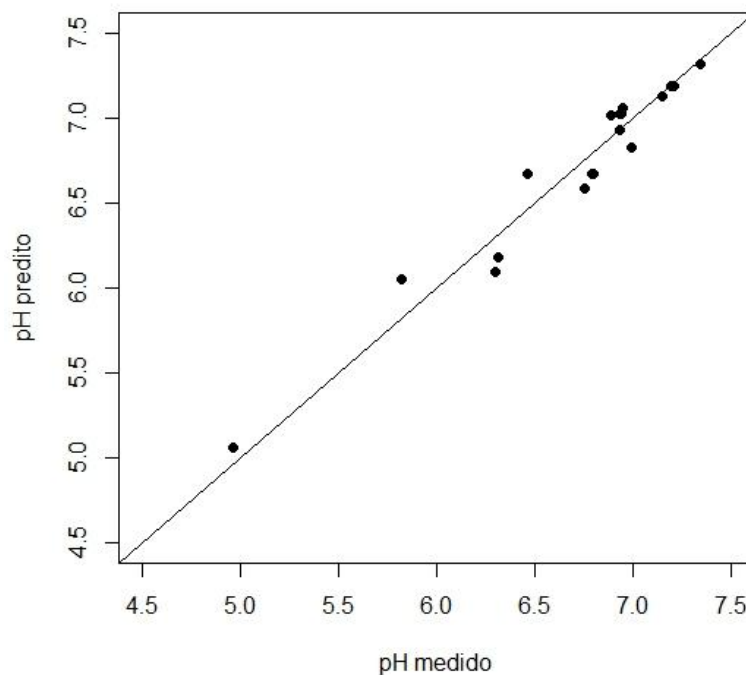


Figura 22. Equivalência entre o pH predito e medido.

Tabela 2. Equações da regressão para estimativa do pH e das concentrações e exporte por área de drenagem de SST,COP,COD, CID,PT,NT .

Variável dependente	Variável independente	R2 ajustado	Equação do modelo
Conc SST	ΔE	0.901	Conc SST= 23.072 + 0.3513* ΔE
Exporte SST	ΔE	0.936	Exporte SST=-19.9547 + 0.5551* ΔE
Conc COP	ΔE	0.927	Conc. COP=0.705 + 0.003* ΔE
Exporte COP	ΔE	0.852	Exporte COP=0.623 +0.0053* ΔE
Conc. COD	%PH, %AA	0.898	Conc. COD=-.6640-0.1396*%AA+0.2675*%PH
Exporte COD	%PH	0.658	Exporte COD=4.7017+ 0.4178*%PH
Conc. CID	%TA	0.550	Conc. CID=5.1629+0.1608*%TA
Exporte CID	%TA	0.607	Exporte CID=5.647+0.2939*%TA
Conc PT	ΔE	0.854	Conc. PT=0.0219+0.0003* ΔE
Exporte PT	ΔE	0.960	Exporte PT=-0.0113 + 0.0004* ΔE
Conc NT	ΔE ,%TA e %PH	0.920	Conc. NT=0.58148+0.0023* ΔE -0.0420*%TA - 0.0185*%PH
Exporte NT	ΔE ,%TA	0.845	Exporte NT =1.7971 -0.0065* ΔE + 0.1892*%TA
pH	ΔE ,%TA e %PH	0.936	pH= 5.499+0.008174* ΔE -0 .1784*%TA- 0.0922*%PH

Observação: ΔE =elevação média, %TA= % Terras andinas, %AA =Áreas alagáveis, %PH= %podzóis hidromórficos

5.DISSCUSSÃO

As relações encontradas neste trabalho para a concentração de sólidos em suspensão e o relevo médio das sub-bacias foram similar a alguns estudos anteriores (Gibbs.,1967; Ferreira *et al.*,2007), para tributários da bacia amazônica, os quais apontam o relevo médio como principal fator que influi nas concentrações de particulados em rios . A porcentagem de terras andinas teve correlação significativa com os particulados no sistema fluvial, fato este esperado devido a alta correlação entre a elevação média e porcentagem de terras andinas (Figura 7). A importância dos Andes na bioquímica do rio Amazonas foi descrita por Gibbs,1967; Stallard & Edmond, 1983; e McClain, 2008. A cadeia montanhosa dos andes é geologicamente jovem e tectonicamente ativa é também uma região caracterizada por extremos de temperatura e precipitação, fatores que quando combinado com o relevo produz intensos regimes de erosão física e química, (McClain, 1995). Entretanto deve ser analisada com cuidado a relação entre relevo e o exporte de sedimentos para o sistema fluvial, pois segundo Stallard (1985), os processos de erosão ocupam um continuum entre intemperismo-limitado (encostas íngremes, solos rasos) e transporte limitado (declives leves, solos profundos). Isso salienta a argumentação de que na região-sub-andina é que realmente há a contribuição de particulados para o sistema fluvial (Barthem *et al* 2003). As zonas onde há uma mudança acentuada no relevo são mais suscetíveis ao intemperismo físico, no entanto devem ser feito estudos mais detalhados sobre essas regiões.

No presente trabalho as terras de escudos não foram significativas para explicar a variação na carga de material particulado nos rios, tal fato também foi reportado nos estudos de Stallard (1995), segundo o qual a erosão física em cadeias de montanhas velhas não é tão rápida em comparação com cadeias de montanhas jovens com relevo equivalente. Possivelmente, as mais vulneráveis litologias foram anteriormente removidas por erosão. A erosão física e química nos escudos é muito lenta. Há pouca exposição de litologias vulneráveis por causa do intenso intemperismo ocorrido nessa região.

A concentração média de SST se correlacionou positivamente com a elevação média da bacia de drenagem a montante (Figura 9). A variação residual desta relação, provavelmente é devido a diferenças nos coeficientes de escoamento entre as sub-bacias estudadas. Essa variação pode ser eliminada normalizando os valores de SST aos coeficientes de escoamento para cada tributário, fornecendo uma estimativa da exportação de sedimento por unidade de área da bacia (fig.10). Esse resultado é similar ao trabalho de Ferreira *et al* (2007) para a bacia do rio Branco. Os autores utilizaram séries históricas de medidas de sedimentos em suspensão, obtidas para seis principais tributários do rio Branco e encontraram variação considerável na concentração média de sedimentos totais em suspensão (SST) entre os tributários, o que pode ser explicado pelas diferenças no relevo entre as bacias de drenagem.

Para a concentração de SST as exceções para as tendências encontradas foram o rio Juruá e Madeira, (Figura 9). O rio Juruá embora seja um rio de planície, drena sedimentos marinhos depositados na calha sub-andina tal fato é a causa provável do valor maior na concentração de SST do que o esperado para esse rio, o que está de acordo com os estudos de Stallard & Edmond (1983). Para o rio Negro, os menores valores de SST podem ser explicados ao fato da coleta ter sido feita em uma região de ria. Além disso, o rio Negro drena solos pobres de planície que têm baixas taxas de intemperismo mineral e também por sua bacia apresentar reduzida taxa de escoamento favorecendo o processo de sedimentação. O processo de sedimentação das partículas no rio Negro foi retratado por Filoso & Williams (2000), os quais apresentaram evidência contrária a hipótese de Leenher & Santos (1980) de que a origem do arquipélago de Anavilhanas estava associada a floculação durante a mistura das águas do rio Branco e Negro. Sendo que a origem do arquipélago pode estar associada a sedimentação, porém a floculação tem pouca importância no processo. O desvio do rio Madeira acima da relação regional entre elevação média e SST (Figura 9) pode ser explicada por fatores antrópicos como altas taxas de desmatamento descritas por Biggs *et al* 2002.

Em relação ao fluxo de SST normalizado por área (exporte), os desvios foram reduzidos consideravelmente exceto para os rios Madeira e Iça (Figura

10). O rio Madeira apresenta reduzida taxa de escoamento o que provavelmente explica o baixo valor de exporte de SST por área de drenagem. Segundo Guyot (1999) há uma zona preferencial para acúmulo de material grosso do rio Madeira na região sub-andina e somente as partículas finas são transportadas para o rio Amazonas. Conforme Baby *et al* (2009), mais de 50% da carga de sedimentos no Madeira são depositados nesta zona sub-andina. O rio Negro além de apresentar uma concentração média de SST baixa apresenta reduzida velocidade de escoamento no seu trecho inferior o que propicia a sedimentação das partículas, ocasionando então um menor fluxo de SST. A bacia do Iça, embora apresente uma pequena área de drenagem, apresentou um maior exporte de SST do que prevista pela relação, provavelmente devido altas taxas de eluviação nos solos desta bacia que são excepcionalmente frágeis e ricos em siltes .

A concentração de carbono orgânico particulado (COP) apresentou uma correlação positiva com a elevação média, como era esperado devido ao fato do COP estar associado ao SST (Figura 11). A exceção para as tendências foi o rio Negro, o que pode ser explicado pelos processos de sedimentação que ocorre nessa bacia . Richey *et al* 1990 reporta um baixo fluxo de COP por área para o rio Negro. O exporte de COP por área de drenagem teve um desvio significativo em relação aos rios Japurá e Iça (Figura 12). O menor valor observado para o rio Madeira é provavelmente devido a reduzida taxa de escoamento da bacia. No rio Jutai é possível que os solos da sua bacia possam estar contribuindo para o exporte de COP por área de sua bacia.

Richey *et al* 1990, destaca a natureza conservativa do COP no canal principal, sugerindo que este resiste a degradação e é derivado de fontes distantes. Ainda segundo McClain (2008) 90% do COP do Rio Amazonas vem dos tributários andinos ,mas não se sabe o quanto realmente tem origem nas montanhas andinas.

O carbono inorgânico dissolvido foi estimado como sendo a soma da alcalinidade carbonada e CO^2 . Segundo Richey,1990 em torno de 60-90% do CID existe como bicarbonato na bacia Amazônica. Pode se observar uma

correlação positiva entre o CID e a porcentagem de terras andinas (Figura 14). Os rios Juruá Purús e Negro não obedeceram a esse padrão. O rio Juruá por ter sua cabeceira drenando parte da região sub-andina apresenta elevado valor de alcalinidade e conseqüentemente elevada concentração de CID, uma indicação da importância do intemperismo dos carbonatos, (Stallard & Edmond, 1983). O rio Purús também tem sua cabeceira drenando sedimentos marinhos provenientes dos Andes e por isso apresenta considerável concentração de CID, embora em menor valor que o Juruá. Com relação ao rio Negro a menor concentração de CID era esperada, como descrito por Stallard & Edmond 1983, que a bacia do Rio Negro drena materiais intensamente intemperizados e o solos desta bacia são semelhantes a de regiões intemperizadas.

O exporção de CID teve uma correlação positiva com a porcentagem de terras andinas, entretando o rio Madeira foi a exceção nessa tendência (Figura 15). Stallard & Edmond 1983, mostraram que rios que drenam áreas dos Andes Bolivianos, como é o caso da bacia do Madeira, tem menor presença de carbonatos quando comparado ao rios que drenam áreas dos Andes Peruanos. Essa pode ser uma explicação para o fato do exporção de CID ter tido uma variação bem grande entre os tributários analisados.

As análises realizadas para o carbono orgânico dissolvido (COD), mostraram que a concentração é em grande parte influenciada pela porcentagem de podzóis hidromórficos na bacia de drenagem. Estudos mostraram que os podzóis são a grande fonte de matéria orgânica para o rio Negro (Bardy *et al* 2011, Chauvel *et al* 1996). A porcentagem de áreas alagáveis foi significativa para a concentração de COD. Em estudos de lagos em uma bacia de drenagem em Wisconsin (EUA), Watras *et al* 1995 encontraram uma correlação positiva entre a porcentagem de áreas alagáveis e a concentração de carbono dissolvido. Entretanto o papel das áreas alagáveis como fonte de COD para o sistema fluvial deve ser mais bem investigado. A concentração de COD apresentou o maior valor para o rio Negro como era esperado devido a influência da grande área de podzóis hidromórficos que se concentra na sua bacia (Figura 16) , sendo que os outros tributários apresentaram valores menores de concentração. A concentração estimada para o rio Japurá foi maior que observada, o que possivelmente pode

ser explicado por outros fatores, como os tipos de solo presentes na bacia do Japurá. Os rios Jutai e Iça apresentaram valores de COD estimado menores que os valores observados.

O expor de COD pelo padrão apresentado possivelmente não acontece de forma uniforme na bacia. Os rios Iça e Japurá tiveram expor de estimado maior que o valor observado, enquanto que os rios Juruá e Madeira apresentaram menores valores de expor de COD (Figura 17).

A concentração e expor de fósforo total (PT) por área de drenagem tiveram correlações significativas com a elevação média semelhantes as do SST. Esse resultado é similar ao trabalho de Ferreira *et al* 2007, onde os autores afirmam que parte do fósforo no sistema fluvial amazônico é associada a material particulado do rio e que as variações na sua concentração está relacionada as diferenças na carga de sedimentos entre os tributários. Os rio Madeira, se comportou como “outlier” para concentração de fósforo contra a elevação média (Figura 18). O rio Madeira apresenta maior concentração de fósforo provavelmente devido a porcentagem de áreas antropizadas da bacia. Biggs *et al* 2004, corrobora tal fato em seu trabalho onde o mesmo conclui que impactos do desmatamento e urbanização contribuem para o aumento de fósforo no sistema fluvial. O rio Juruá teve concentrações em valores acima do esperado o que pode ser explicado pelo fato de sua cabeceira drenar a área sub-andina e também devido aos solos da sua bacia que está inserida na formação Solimões sofrerem maiores taxas de erosão. O rio Negro apresenta baixas concentrações de fósforo total provavelmente pelos solos que são drenados pela sua bacia apresentarem baixas taxas de intemperismo. O expor de fósforo total correlacionou-se positivamente com a elevação média (Figura 19) e o rios Iça pode ser observado como um “outlier” no modelo de regressão. O rio Iça apresentou valor de concentração de fósforo maior que o esperado, possivelmente por fatores erosivos relacionados aos solos da sua bacia. Quanto ao rio Negro às variações observada no expor de fósforo total, é provavelmente ao baixo intemperismo dos solos da sua bacia o que ocasiona um baixo expor de desse elemento para o rio.

Em relação ao nitrogênio total (NT) a porcentagem de podzóis por estar ligada diretamente ao exporte de matéria orgânica para o rio, está indiretamente ligada a concentração de nitrogênio, devido as interações biológicas com algumas formas do nitrogênio. As concentrações de nitrogênio para os tributários se distribuíram de maneira uniforme, (Figura 20).

O exporte de NT apresentou valores estimados maiores que os observados para os rios Madeira e Jutáí (Figura 21). O exporte elevado de nitrogênio para o rio Madeira possivelmente pode ser explicado devido a altas taxas de desmatamento e urbanização de sua bacia como mostrado no estudo de Biggs *et al* 2004, onde foram avaliados os fatores humanos que causam impactos na concentração de nitrogênio e fósforo na bacia do madeira.

O pH correlacionou-se com a porcentagem de terras andinas, elevação média e porcentagem de podzóis. Não houve grandes desvios da linha de equivalência na relação entre o pH estimado pela equação de regressão e o observado (Figura 22). A influência do relevo foi descrita por Ferreira *et al* 2007, que atribuiu a variação no pH observado às diferenças nos padrões de intemperismo químico de carbonatos relacionadas ao relevo. A erosão dos sedimentos marinhos provenientes dos andes, principalmente carbonatos, controla a alcalinidade das águas dos rios de água branca e conseqüentemente o pH como descrito em Stallard & Edmond (1983). Nas regiões de prados em altitudes elevadas as turfás montanhosas fornecem considerável quantidade de ácidos fúlvicos e húmicos de modo que a região andina também pode contribuir para acidificação de tributários drenando essas regiões (Householder *et al*, 2012). Os podzóis presentes na bacia do rio Negro fornecem matéria orgânica para o sistema fluvial e em decorrência da presença de ácidos fúlvicos e húmicos tem-se valores de pH baixos para o rio Negro (Bardy *et al*, 2011). Entretanto no rio Branco que é um afluente do Negro observamos maiores valores de pH controlado pela alcalinidade, devido a erosão de minerais de silicatos de origem dos Escudos (Ferreira *et al*, 2007).

6.CONCLUSÃO

De modo geral foram encontradas fortes correlações entre as características naturais das bacias de drenagem e as concentrações e exporte das principais formas de C,N e P, e também sedimentos em suspensão totais e pH presentes nos principais rios da bacia Amazônica. As regressões desenvolvidas possibilitam a previsão dos níveis destes parâmetros em qualquer parte da rede de drenagem a partir da análise destas características. Surge com isso um novo paradigma para a caracterização da qualidade de águas fluviais na região Amazônica. Passamos de uma classificação qualitativa baseada nas características ópticas da água (branca, clara, preta) que pré-data o período colonial para um conceito onde as características de água variam continuamente em função das características naturais da bacia a montante.

As características naturais da bacia de drenagem podem ser consideradas constantes, uma vez que essas só variam na escala de tempo geológico. Dessa forma qualquer desvio significativo nos parâmetros da qualidade da água, estimados pelo modelo, para qualquer ponto da rede de drenagem é um indicativo de alguma perturbação no, sistema, como por exemplo, fatores antrópicos alterando a química da água.

Esse conceito, vislumbrado inicialmente por Sioli (1950) e quantificado, em parte, por Gibbs (1967) e Stallard & Edmond (1983), com a disponibilidade de dados espaciais e geoquímicas de alta qualidade, finalmente se tornou realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baby, P., Guyot, J. L. & Hérail, G. Tectonic control of erosion and sedimentation³¹ in the Amazon Basin of Bolivia. *Hydrol. Process.* 23, 3225–3229 (2009).

Bardy, M.; Derenne, S.; Allard, T.; Benedetti, M.F.; Fritsch, E.. Podzolisation and exportation of organic matter in black waters of the Rio Negro (upper Amazon basin, Brazil). *Biogeochemistry*, 2011, 106 (1), p. 71-88.

Barthem, R., Goulding, M., Forsberg, B.R., Canas, C. and Ortega, H .2003. Aquatic Ecology of the Madre de Dios: Scientific Bases for Andes-Amazon Headwaters Conservation. Lima, Peru. Amazon Conservation Association, In English and Spanish. 117 p.

Biggs, T. W., Dunne, T.; Domingues, T.F. & Martinelli, L.A. (2002). "Relative influence of natural watershed properties and human disturbance on stream solute concentrations in the southwestern Brazilian Amazon basin." *Water Resources Research* 38(8): 1-25.

Blggs, T.W.; Dunne T.; Martinelli, L.A. Natural controls and human impacts on stream nutrient concentrations in a deforested region of the Brazilian Amazon basin. *Biogeochemistry*, v.68, p.227-257, 2004.

Chauvel A, Walker I, Lucas Y. 1996. Sedimentation and pedogenesis in a Central Amazonian black water basin. *Biogeochemistry*; 33:77-95.

Dai, A.; Trenberth, K. E. 2002: Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *J. Hydrometeorology.*, 3, 660–687.

Devol, A. H., Richey J. E., and B. R. Forsberg. 1991. Phosphorus in the Amazon River mainstem: Concentrations, forms and transport to the ocean, p. 9-23. In: Tiessen, H., D. Lopez-Hernandez and I. H. Salcedo [eds.]. Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems, regional Workshop 3: South and Central America. SCOPE/Saskatchewan Inst. of Ped., Saskatoon, Sask.

- Devol, A.H.; Forsberg, B.R.; Richey, E.J.; Pimentel, T.P. 1995. Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) River: A multiyear time series. *Global Biogeochemical Cycle*, v.9, n.3, 307-328 p.
- Ertel, J.R.; Hedges, J.I.; Devol, A.H.; Richey, J.E.; Ribeiro, M. N.G. 1986. Dissolved humic substances of the Amazon river system. *Limnology and Oceanography*, 31(4): 739-754.
- Ferreira, E., Zuanon, J., Forsberg, B. R., Goulding, M., S. B. Ferreira. 2007. Rio Branco: Peixes, Ecologia e conservação de Roraima. p. 201. Lima Peru: INPA/ACCA.
- Filoso, S.; M.R. Williams. 2000. The hydrochemical influence of the Branco River on the Negro River and Anavilhanas Archipelago, Amazonas, Brazil. *Archives für Hydrobiologie* 148:563-585.
- Fittkau, E. J. 1971. Ökologische Gliederung des Amazon gebietes auf geochemisches Grundlage. *Forsch Geol, Palaöntol., Münster*, 20:35-50p.
- Forsberg, B.R.; Devol, A.H.; Richey, J.E.; Martinelli, L.A.; dos Santos, H. 1988. Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes. *Limnology and Oceanography*, 33(1): 41-56.
- Furch, K. 1984. Water chemistry of the Amazon basin: the distribution of chemical elements among freshwater. In: SIOLI, H. (ed.). *The Amazon – limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Netherlands: Dr. Junk Publisher. p.167 – 199.
- Gibbs, R. G. 1967. The Geochemistry of the Amazon River System: Part I. The Factors that Control the Salinity and the Composition and Concentration of the Suspended Solids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 78, p. 1203 -1232.
- Guyot, J.L.; Jouanneau, J.M.; Wasson, J.G. 1999. Characterization of river bed and suspended sediments in the Rio Madeira drainage basin (Bolivian Amazonia). *J South Amer Earth Sci* 12: 401-410.

- Hedges, J.I.; Clark, W.A.; Quay, P.D.; Richey, E.J.; Devol, H.A.; Santos, U.M. 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon river. *Limnology and Oceanography*,31: 717-738.
- Householder, J.E., Janovec, J.P., Tobler, M.W., Page, S., Lahteenoja, O. 2012) Peatlands of the Madre de Dios river of Peru: distribution, geomorphology and habitat diversity. *Wetlands* 32, 359-368.
- Junk, W.J.1997.General Aspects of Floodplain Ecology with Special Reference to Amazonian Floodplains. In: W.J. Junk (ed.) *The Central Amazon Floodplain, Ecology of a Pulsing System*, Ecological Studies 126, Springer, Berlin. p.3-17.
- Klinge, H. 1965. Podzol soils in the Amazon basin. *Journal of Soil Science*, v.16,n.1, p.95-103.
- Leenheer, J.A. 1980. Origin and nature of humic substance in the waters of the Amazon river basin. *Acta Amazônica*.10(3):513-526.
- Leenheer,J.A.; U.M.Santos. 1980. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do Rio Negro (Amazônia Central) *Acta Amazonica* 10:343:355.
- McClain, M.E, Richey JE and Victoria RL. 1995, Andean contributions to the biogeochemistry of the Amazon river system. *Bulletin de l'Institut Francais d'Etudes Andines* 24: 425-437.
- McClain, M.E and Naiman RJ. 2008. Andean Influences on the Biogeochemistry and Ecology of the Amazon River. *BioScience* 58: 325-338
- Meade, R.H.; Dunne, T.; Richey, J.E.; Santos, U.M.; Salati, E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon river of Brazil. *Science*, v.228, n. 4698, p. 488-490.
- Meade, R. H. 1994. Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco rivers. *Quaternary International* 21:29–39.
- Meade, R.H.2007. Transcontinental moving and storage: The Orinoco and Amazon rivers transfer the Andes to the Atlantic. In: Gupta, A. (Ed.): *Large Rivers: Geomorphology and Management*, Wiley, Chichester. p. 45-63.

Moreira-Turcq, P.F., Seyler, P., Guyot, J.L., Etcheber, H., 2003. Exportation of organic carbon from the Amazon river and its main tributaries. *Hydrological Processes* 17, 1329– 1344.

Mortatti, J.; Probst, J.L.; Oliveira, H.; Bibian, J.P.R.; Fernandes, A.M. 2006. Fluxo de carbono inorgânico dissolvido no rio Piracicaba (São Paulo): Partição e reações de equilíbrio do sistema carbonato. *Geociências*, Unesp, v. 25, n.4, p.429 – 436.

Richards K., Brasington J., Hughes F. 2002. Geomorphic dynamics of floodplains: ecological implications and a potential modelling strategy. *Freshwater Biology*, 47, 559–579.

Richey, J.E.; Meade, R.H.; Salati, E.; Devol, A.H.; Nordin Jr., C.F.; Santos, U. 1986. Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon river: 1982-1984. *Water Resources Research*, v.22(5): 756-764.

Richey, J.E.; Hedges, J.I.; Devol, A.H.; Quay, P.D. 1990. Biogeochemistry of Carbon in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*, 35: 352- 371.

Sioli, H., 1950, Das wasser im Amazonasgebiet. *Forsch. Fortschr.*, 26: 274-280.

Sioli, H. 1956. Über Natur und Mensch im brasilianischen Amazonasgebiet. *Erdkunde*, vol. 10,2, p. 89-109.

Sioli, H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses; and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). *The Amazon. Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin*. Dordrecht: Dr. W. JUNK Publishers. p. 127 – 165

Schmidt, G.W. 1972a. Amounts of suspended solids and dissolved substances in the middle reaches of the Amazon over the course of one year (August, 1969 – July, 1970). *Amazoniana*, Kiel, v.3, n.2, p. 208 – 223.

Schmidt, G.W. 1972b. Chemical properties of some waters in the tropical rainforest region of Central Amazonia along the new road Manaus Caracaráí. *Amazoniana*, Kiel, v. 3, n. 2, p. 199 – 207.

Stallard, R. F; Edmond, J.M. 1983. Geochemistry of the Amazon 2: the influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research*, v. 88, n. 14, p. 9671 – 9688.

Stallard,R.1985.River Chemistry, Geology, Geomorphology, and Soils in the Amazon and Orinoco Basins. In the *Chemistry of Weathering*,ed.J.I.Drever,293-316. Boston: D.Reidel Publish,Co.

Stallard, R.F., 1995, Tectonic, environmental, and human aspects of weathering and erosion—A global review using a steady-state perspective: *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, v. 13, p. 11–39.

Syvitski, J.P.M.; Vörösmarty, C.J.; Kettner, A.J.; Green, P.2005. Impacts of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean. *Science*, v.308, 276-380 p.

Ungemach,H. 1972. Die Ionenfracht des Rio Negro, Staat Amazonas, Brasilien, nach Untersuchungen von Dr. Harald Ungemach. *Amazoniana*, Kiel, v.3, n.2, p.175-185.

Volkoff, B.; Cerri, C.C. 1981. Húmus em solos da floresta amazônica na região do rio Madeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 5: 15-21.

Watras, C. J., K. A. Morrison, and J. S. Host, 1995. Concentration of mercury species in relationship to other site-specific factors in the surface waters of northern Wisconsin lakes. *Limnology and Oceanography*, 40(3):556-565.