



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Humanas  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Renan Smith Penido Louzada

**ANÁLISE E MONITORAMENTO DA CARGA LÍQUIDA E CARGA SÓLIDA  
SUSPensa DURANTE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA DO GAMA/DF  
ENTRE 2015-2016**

Orientador: Dr. Rogério Elias Soares Uagoda

Brasília-DF

Junho 2017



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Humanas  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

**ANÁLISE E MONITORAMENTO DA CARGA LÍQUIDA E CARGA SÓLIDA  
SUSPensa DURANTE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA DO GAMA/DF  
ENTRE 2015-2016**

Mestrando: Renan Smith Penido Louzada

Professor Orientador: Rogério Elias Soares Uagoda

Dissertação de Mestrado

Brasília-DF

Junho 2017



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Humanas  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE E MONITORAMENTO DA CARGA LÍQUIDA E CARGA SÓLIDA  
SUSPensa DURANTE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA DO  
GAMA/DF 2015-2016**

Mestrando: Renan Smith Penido Louzada

Professor Orientador: Rogério Elias Soares Uagoda

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de Análise de Sistemas Naturais, opção Acadêmica.

Banca Examinadora:

---

Professor Dr. Rogério Elias Soares Uagoda (Orientador)  
Programa de Pós-Graduação Departamento de Geografia –PPGEA/UnB

---

Professor Dr. Osmar Abílio de Carvalho Junior (Membro Interno)  
Programa de Pós-Graduação Departamento de Geografia –PPGEA/UnB

---

Professor Dr. Masato Kobiyama (Membro Externo)  
Instituto de Pesquisas Hidraulicas - IPH/UFRGS



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Humanas  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Mestrando: Renan Smith Penido Louzada

Professor Orientador: Rogério Elias Soares Uagoda

**LOUZADA, RENAN SMITH P.**

ANÁLISE E MONITORAMENTO DA CARGA LÍQUIDA E CARGA SÓLIDA SUSPensa DURANTE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA DA BACIA DO GAMA/DF ENTRE 2015-2016, BRASILIA, DISTRITO FEDERAL. UnB-GEA, Mestre, Análise de Sistemas Naturais, 2016.

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Instituto de Humanas, Departamento de Geografia.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Renan Smith Penido Louzada

## DEDICATÓRIA

A conservação das espécies ameaçadas.

## AGRADECIMENTOS

As chuvas.

Minha abençoada família, Julio e Simara, irmãos Guilherme, Gabriel e Marcelo, minha fonte de inspiração. Ao meu professor orientador, amigo e companheiro Rogério Uagoda, com quem compartilho minhas pesquisas.

A Agência Nacional de Águas, por meio dos técnicos Alessandro e Régio e a USGS. A Companhia de Esgoto e Saneamento Básico do Distrito Federal, Caesb, por meio do técnico Jorge e todos seus auxílios prestados.

Aos grandes amigos do Laboratório de Geografia Física e do Departamento de Geografia. Aos colegas do Laboratório de Geoquímica e aos amigos do Grupo de Estudos Hidrológicos e Hidráulicos, por intermédio do Professor Sérgio Koide e Bruno Távora, Osmar Abílio e Masato Kobiyama.

Ao CAPES/CNPq pela bolsa de estudos durante parte da pesquisa.

Aos companheiros do Projeto Coral Vivo de Arraial d'Ajuda-BA, do Projeto Tamar das bases pelas quais passei, dos pesquisadores da Reserva Biológica Atol das Rocas, em especial Maurizélia de Brito Silva e a Marinha do Brasil, no Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade.

## SUMÁRIO

Introdução.....	9
Objetivos.....	13
Objetivo	
Geral.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Artigo e Organização do Trabalho.....	13
Artigo.....	14
Resumo.....	14
Abstract.....	15
1. Introdução.....	16
2. Materiais e Métodos.....	19
2.1 Área de Estudo.....	19
2.2 Média Pluviométrica.....	21
2.3 Nível e Vazão.....	21
2.4 Carga Sólida.....	22
2.5 Período de Medições.....	23
3. Resultados e Discussão.....	26
3.1 Período de Monitoramento.....	26
3.2 Curva Chave.....	28
3.3 Histerese.....	29
3.4 $C_{ss}$ x $Q$ e $NTU$ x $Q$ .....	33
3.5 $C_{ss}$ x $NTU$ .....	35
4. Conclusão.....	36
5. Referências Bibliográficas.....	37
6. Anexos.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Água
Adasa	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal.
ADP	Acoustic Doppler Profiler
Caesb	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Css	Concentração de Sedimentos em Suspensão
E1	Evento Pluviométrico 1
FAL	Fazenda Água Limpa
g	Gramas
H	Altura
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
km <sup>3</sup>	Quilômetro cúbico
LAGEF	Laboratório de Geografia Física
L	Litro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
PB	Parâmetro de Bancada
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Geografia
PTARH	Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Q	Descarga Líquida
Q <sub>ss</sub>	Descarga sólida em suspensão
Q <sub>ss</sub> USDH 59	Descarga sólida em suspensão com amostrador USDH
Q <sub>ss</sub> ISCO	Descarga sólida em suspensão com amostrador ISCO
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
T	Turbidez
Ton	Tonelada

## **Introdução**

O recurso natural de maior valor econômico mundial, ambiental e social é a água e tem tido cada vez mais relevância o estudo dos recursos hídricos. A qualidade da água e dos sedimentos de uma drenagem refletem as condições de uma bacia hidrográfica e, qualquer alteração no uso do solo é pode gerar modificações na composição química e física da água e dos sedimentos. O estudo em pequenas bacias ajudam no entendimento de fenômenos mais específicos e particulares, fugindo da linearidade dos estudos em grandes bacias.

É importante para o gerenciamento das bacias hidrográficas, grandes e pequenas, o constante monitoramento hidrosedimentológico das águas superficiais. Mesmo com equipamentos modernos, a obtenção de informações hidrológicas se apresenta no Brasil, segundo Grison (2005) com alto custo financeiro, principalmente de equipamentos e curto tempo de operação, sem requerimentos e dados para elaborar teses. Em muitos casos, após o término do levantamento, os equipamentos ficam abandonados e o projeto é interrompido por falta de capital e funcionários.

O diagnóstico sedimentológico realizado por Carvalho (1994) na bacia do rio São Francisco, evidenciou que o crescente aumento da produção de sedimentos vem sendo causado pela urbanização e mineração na bacia, pelo aumento de áreas agrícolas para a produção de alimentos e pela construção de estradas, aliados a presença de fortes chuvas.

Segundo Ramos (1993) em São Paulo, nos anos 50, na área das bacias do Rio Tietê e Pinheiros, seus afluentes sofreram rápida ocupação, resultando

num aumento da intensidade e da frequência de chuvas e conseqüentemente no aumento da produção de sedimentos.

O lago Paranoá e seus tributários, no DF, ao longo dos anos 90 passaram a apresentar problemas sérios de degradação, em função de matéria orgânica, nutrientes provenientes de esgotos, detritos lançados sem tratamento e excesso de sedimentos.

Ao contrário de muitas regiões do país, o DF possui o índice de tratamento de esgoto mais elevado do Brasil, com 46%, bem acima da média do país, 14%, segundo dados da ANA em 2005.

Contudo, são escassos os estudos que envolvem a problemática da contribuição de sedimentos provenientes dos eventos pluviométricos, tampouco eventos de alta intensidade. Diante desse panorama, e também da previsão de uso do Lago Paranoá para abastecimento de Brasília para o ano de 2018, a pesquisa se concentrou no levantamento da carga sólida suspensa da bacia do Gama com intuito colaborativo para o melhoramento do planejamento hídrico local com o monitoramento.

A hidrossedimentologia em bacias hidrográficas tem destaque no Brasil para as grandes bacias, como do Amazonas, São Francisco, Parnaíba e Paraná. Estudos em pequenas bacias tem ganhado mais relevância, para fugir da linearidade dos fenômenos das grandes bacias. Da mesma forma, sabe-se que a resposta chuva vazão nas pequenas bacias é bastante rápida, dificultando sua predição e podendo gerar desastres com alto custo social.

Porém, no DF, a Caesb - órgão responsável pelas medições de vazão, não opera medições em dias de chuva, alegando insegurança aos técnicos envolvidos, deixando a curva-chave defasada de informações em picos de cheias e dados faltantes em relação a eventos que possuem potencial real para o transporte da carga sedimentar.

Sob esta ótica, nesta pesquisa, levanta-se informações pioneiras para o melhoramento da curva-chave e para o aperfeiçoamento do gerenciamento da bacia.

As vazões e as concentrações de sedimentos são influenciadas por distribuição e pela intensidade das chuvas, conforme Williams (1989), também pela taxa de escoamento superficial, pela taxa de sedimentação, por distâncias percorridas e principalmente pelo armazenamento dos sedimentos disponíveis.

Segundo Carvalho (1994), aproximadamente 80% dos sedimentos transportados nos cursos fluviais são oriundos das fortes precipitações e Ward e Trimble (1995) afirmam que a carga sólida – principalmente argila e silte - em suspensão representam 90% do material total transportado.

A compreensão e os estudos de como variam as vazões de um curso de água com relação a concentração de sedimentos, segundo Williams (1989), possibilitam elaborar seu regime hidrossedimentológico.

Williams (1989) define cinco modelos de relações entre vazão e carga sólida suspensa, histerese: (1) linha reta, *single-valued line*; (2) curva sentido horário, *clockwise loop*; (3) curva sentido anti-horário, *counterclockwise loop*; (4) linha única com uma volta, *single line plus loop* e; (5) figura oito, *figure eight*. É possível uma pequena bacia hidrográfica apresentar vários tipos de histerese conforme aponta Lenzi e Marchi (2000).

Em pequenas bacias hidrográficas de regiões úmidas, afirma Sammori et al. (2004) a relação entre concentração de sedimentos em suspensão e vazão costuma se apresentar com mais frequência no sentido horário (2) *clockwise loop*, relacionado a intensidade das chuvas com pico de vazão posterior ao pico de concentração de sedimentos. Os picos de Q e C<sub>ss</sub> podem se apresentar de três maneiras segundo Carvalho (1994): (1) Pico de C<sub>ss</sub> antecedente ao pico de Q, situação mais comum, principalmente em bacias bastante ocupadas; (2) Pico de Q e C<sub>ss</sub> instantâneos; e, (3) Pico de C<sub>ss</sub> posterior ao pico de Q.

Jansson (2002), aponta a influência das características físicas locais na histerese e no transporte de sedimentos, e a importância dos estudos na contribuição do mecanismo de transporte de sedimentos.

Da mesma forma a relação entre a carga sólida suspensa e a vazão varia conforme o tempo em diferentes situações de uso da bacia, principalmente em função da intensidade dos eventos, de taxas de escoamento superficial, temperatura antecedente, pelas distâncias percorrida pelos sedimentos, declividade da bacia, ocorrência de processos erosivos.

Na bacia do ribeirão do Gama, a transição para área urbana se deu tanto de forma direta, quanto de forma indireta (DIAS, 2011) principalmente pelo adensamento da ocupação urbana na área do Park Way, regulamentada com aprovação do Decreto nº 18.910, de 15 de dezembro de 1997, que criou a

possibilidade de parcelamento dos lotes que antes eram de 20.000m<sup>2</sup> em até oito habitações.

Desta forma é possível explicar as altas taxas de transição encontradas de área agrícola para área urbana na matriz de transição do ano de 1994 a 1998, cerca de 20%. Pode se verificar que as áreas com agricultura dentro da região do Park Way se extingue nesse período. Assim, nos anos de 1998 a 2009, essa transição cai para uma taxa de cerca de 7%.

Estudos com modelo SWAT na bacia hidrográfica do Gama apontam resultados sobre o balanço hídrico para o período úmido, apresentando os seguintes resultados, 753,7 mm do total da chuva foi convertido em evapotranspiração (53,54%), 84,1 mm em escoamento superficial (5,9%), 137,06 mm em fluxo lateral (9,73%), 431,56 mm em água disponível para percolação (30,65%), 301,18 mm em fluxo de base (21,39%), 94,4 mm em ascensão capilar do aquífero raso (6,7%), e 21,58 para a recarga do aquífero (1,53%) (SANTOS, 2016).

Conforme Montgomery e Bolton (2003) o envolvimento das pesquisas na hidrossedimentologia ocasionam impactos diretos nas esferas: econômica, ambiental e social, principalmente para a sociedade, capazes de evitar, mitigar ou premeditar desastres. O monitoramento hidrométrico constante é visto como importante ferramenta ao desenvolvimento humano, abastecimento e principalmente no gerenciamento do uso e ocupação do solo.

Cabe ressaltar que os estudos hidrossedimentológicos em eventos podem oferecer subsídios para estudar, evitar ou mitigar impactos ambientais provenientes de casos, como o recente caso do rompimento da barragem de São Domingo, em Bento Rodrigues, é importante compreender que a pesquisa se apresenta como importante no âmbito hidrossedimentológico, após o Brasil registrar o maior desastre ambiental na área de poluição por sedimentos.

No caso da bacia do Gama, resta saber se o monitoramento da carga sedimentar durante eventos trará diferença substancial para a estimativa da quantidade total de sedimentos suspensos transportados pelo canal e depositados no lago Paranoá.

Portanto, esse trabalho objetiva levantar e monitorar a carga sólida suspensa em eventos pluviométricos na bacia hidrográfica do ribeirão do

Gama, com o intuito de melhorar a estimativa de contribuição de sedimentos dessa bacia para o lago Paranoá.

Como objetivo específico pretende-se monitorar os parâmetros de qualidade da água e dos sedimentos durante os eventos pluviométricos de diferentes intensidade, compreender o comportamento fluviosedimentológico da bacia hidrográfica durante os eventos pluviométricos e comparar diferentes técnicas para o estudo da vazão e carga sedimentar na estação fluviométrica de coleta de dados da bacia do ribeirão do Gama.

## **Objetivos**

### **Geral**

Levantar e monitorar a carga sólida suspensa em eventos pluviométricos na bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, objetivando medir a contribuição sedimentar real desta bacia para o lago Paranoá.

### **Específicos**

Monitorar os parâmetros de qualidade da água durante os eventos pluviométricos de diferentes intensidade na bacia hidrográfica do ribeirão do Gama.

Compreender o comportamento fluviosedimentológico da bacia hidrográfica do ribeirão do Gama durante os eventos pluviométricos de 2015-2016.

Comparar diferentes técnicas para o estudo da vazão e carga sedimentar na estação fluviométrica de coleta de dados da bacia do ribeirão do Gama.

## **Artigo e Organização do Trabalho**

Esta dissertação de mestrado foi elaborada e organizada em formato de artigo após os parágrafos de introdução e os objetivos gerais e específicos do trabalho.

O formato de artigo visa proporcionar a difusão do conhecimento científico, fortalecendo as diretrizes estabelecidas para os programas de pós-graduação no Brasil e segue as recomendações do PPGEA UnB.

Este formato de apresentação tem por objetivo ser publicado em revistas e congressos. O artigo “Análise e monitoramento da carga sólida e carga líquida suspensa durante eventos pluviométricos na bacia do Gama/DF entre 2015/2016” foi elaborado com fundamentos para ter continuidade na pesquisa principalmente nas mensurações pluviométricas e fluviométricas da bacia.

## **ANÁLISE E MONITORAMENTO DA CARGA LÍQUIDA E CARGA SÓLIDA SUSPensa DURANTE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA DO GAMA/DF ENTRE 2015-2016**

1 Renan Smith Penido Louzada, Universidade de Brasília

2 Dr. Rogério Elias Soares Uagoda, Universidade de Brasília

### **Resumo**

O objetivo do trabalho consiste em realizar levantamento de descargas líquida e sólida em suspensão durante eventos pluviométricos de diferentes intensidades próximo na foz da bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, Brasília-DF entre os meses de dezembro de 2015 e março de 2016, período chuvoso, a fim de compreender o regime do canal e melhorar as estimativas de deposição de sedimentos pela bacia no lago Paranoá. A descarga líquida foi determinada com medições discretas a vau e em ponte com medição de velocidade pelo método acústico. O nível foi obtido com linígrafo digital e foi estabelecida curva chave com a equação exponencial. A Descarga sólida foi medida a vau e em ponte com amostradores manuais integradores e também com amostrador automático pontual, sendo obtida em mg/L pós filtragem à vácuo em laboratório. A turbidez foi medida automaticamente com a sonda *Hydrolab DS5X*. Foi calculado o tempo de concentração da bacia para os 11 eventos medidos e testadas as correlações entre chuva, vazão, carga sólida e turbidez. Os resultados indicam as histereses apresentadas em dois comportamentos *figure eight* e *counterclockwise loop*.

**Palavras-Chave:** Turbidez, vazão, tempo de concentração, histerese.

-----

1 Mestrando em Geografia pela Universidade de Brasília – Laboratório de Geografia Física – Lagef

2 Professor Dr. do Departamento de Geografia. Universidade de Brasília

### **Abstract**

The work aims to monitorate the water and solid suspended discharge during High intensity rainfall events on Gama basin/DF, from Dezember 2015 to March 2016, rainy season, to understand the fluvial regime and improve the channel deponiton estimates on the Paranoá lake. We used the accoustic doppler method to determine the velocity in discrete measurements. The level was monitorated with a digital linigraph and the rating curve was obtained by the exponential method. The suspend solid discharge was monitorated with manual and automatic samplers, resulting mg/L measures after filtration in laboratory. The Hydrolab DS5X probe was used to determinate turbidity in the field. We calculated the time of concentration to 11 High intensity rainfall events and tested the correlation between rainfall, water discharge, solid discharge and turbidity. The results show two forms of hysteresis on the channel: *figure eight e counterclockwise loop*.

**Keywords:** Turbidity, Fluvial discharge, Time of concentration, Hysteresis.

## **1. Introdução**

O recurso natural de maior valor econômico mundial, ambiental e social é a água e tem tido cada vez mais relevância o estudo dos recursos hídricos. A qualidade da água e dos sedimentos de uma drenagem refletem as condições de uma bacia hidrográfica e, qualquer alteração no uso do solo é pode gerar modificações na composição química e física da água e dos sedimentos.

O estudo em pequenas bacias ajudam no entendimento de fenômenos mais específicos e particulares, fugindo da linearidade dos estudos em grandes bacias. É importante para o gerenciamento das bacias hidrográficas, grandes e pequenas, o constante monitoramento hidrosedimentológico das águas superficiais.

Mesmo com equipamentos modernos, a obtenção de informações hidrológicas se apresenta no Brasil, segundo Grison (2005) com alto custo financeiro, principalmente de equipamentos e curto tempo de operação, sem requerimentos e dados para elaborar teses. Em muitos casos, após o término do levantamento, os equipamentos ficam abandonados e o projeto é interrompido por falta de capital e funcionários.

O diagnóstico sedimentológico realizado por Carvalho (1994) na bacia do rio São Francisco, evidenciou que o crescente aumento da produção de sedimentos vem sendo causado pela urbanização e mineração na bacia, pelo aumento de áreas agrícolas

para a produção de alimentos e pela construção de estradas, aliados a presença de fortes chuvas.

Segundo Ramos (1993) em São Paulo, nos anos 50, na área das bacias do rio Tietê e Pinheiros, seus afluentes sofreram rápida ocupação, resultando num aumento da intensidade e da frequência de chuvas e conseqüentemente no aumento da produção de sedimentos.

O lago Paranoá e seus tributários, no DF, ao longo dos anos 90 passaram a apresentar problemas sérios de degradação, em função de matéria orgânica, nutrientes provenientes de esgotos, detritos lançados sem tratamento e excesso de sedimentos.

Ao contrário de muitas regiões do país, o DF possui o índice de tratamento de esgoto mais elevado do Brasil, com 46%, bem acima da média do país, 14% (ANA, 2005).

Contudo, são escassos os estudos que envolvem a problemática da contribuição de sedimentos provenientes dos eventos pluviométricos, tampouco eventos de alta intensidade.

Diante desse panorama, e também da previsão de uso do lago Paranoá para abastecimento de Brasília para o ano de 2018, a pesquisa se concentrou no levantamento da carga sólida suspensa da bacia do Gama com intuito colaborativo para o melhoramento do planejamento hídrico local com o monitoramento.

A hidrossedimentologia em bacias hidrográficas tem destaque no Brasil para as grandes bacias, como do Amazonas, São Francisco, Parnaíba e Paraná. Estudos em pequenas bacias tem ganhado mais relevância, para fugir da linearidade dos fenômenos das grandes bacias. Da mesma forma, sabe-se que a resposta chuva vazão nas pequenas bacias é bastante rápida, dificultando sua predição e podendo gerar desastres com alto custo social.

Porém, no DF, a Caesb - órgão responsável pelas medições de vazão, não opera medições em dias de chuva, alegando insegurança aos técnicos envolvidos, deixando a curva-chave defasada de informações em picos de cheias e dados faltantes em relação a eventos que possuem potencial real para o transporte da carga sedimentar.

Sob esta ótica, nesta pesquisa, levanta-se informações pioneiras para o melhoramento da curva-chave e para o aperfeiçoamento do gerenciamento da bacia hidrográfica do ribeirão do Gama.

As vazões e as concentrações de sedimentos são influenciadas por distribuição e pela intensidade das chuvas, conforme Williams (1989), também pela taxa de

escoamento superficial, pela taxa de sedimentação, por distâncias percorridas e principalmente pelo armazenamento dos sedimentos disponíveis. Segundo Carvalho (1994), aproximadamente 80% dos sedimentos transportados nos cursos fluviais são oriundos das fortes precipitações e Ward e Trimble (1995) afirmam que a carga sólida - principalmente argila e silte - em suspensão representam 90% do material total transportado.

A compreensão e os estudos de como variam as vazões de um curso de água com relação a concentração de sedimentos, segundo Williams (1989), possibilitam elaborar seu regime hidrossedimentológico.

Williams (1989) define cinco modelos de relações entre vazão e carga sólida suspensa, de denominação histerese: (1) linha reta, *single-valued line*; (2) curva sentido horário, *clockwise loop*; (3) curva sentido anti-horário, *counterclockwise loop*; (4) linha única com uma volta, *single line plusloop* e; (5) figura oito, *figure eight*.

É possível uma pequena bacia hidrográfica apresentar vários tipos de histerese conforme aponta Lenzi e Marchi (2000).

Em pequenas bacias hidrográficas de regiões úmidas, afirma Sammori et al. (2004) a relação entre concentração de sedimentos em suspensão e vazão costuma se apresentar com mais frequência no sentido horário (2) *clockwise loop*, relacionado a intensidade das chuvas com pico de vazão posterior ao pico de concentração de sedimentos. Os picos de Q e C<sub>ss</sub> podem se apresentar de três maneiras segundo Carvalho (1994): (1) Pico de C<sub>ss</sub> antecedente ao pico de Q, situação mais comum, principalmente em bacias bastante ocupadas; (2) Pico de Q e C<sub>ss</sub> instantâneos; e, (3) Pico de C<sub>ss</sub> posterior ao pico de Q.

Jansson (2002), aponta a influência das características físicas locais na histerese e no transporte de sedimentos, e a importância dos estudos na contribuição do mecanismo de transporte de sedimentos.

Da mesma forma a relação entre a carga sólida suspensa e a vazão varia conforme o tempo em diferentes situações de uso da bacia, principalmente em função da intensidade dos eventos, de taxas de escoamento superficial, temperatura antecedente, pelas distâncias percorrida pelos sedimentos, declividade da bacia, ocorrência de processos erosivos, entre outros citados por Reid *et al.* (1997).

Na bacia do ribeirão do Gama, a transição para área urbana se deu tanto de forma direta, quanto de forma indireta (DIAS, 2011) principalmente pelo adensamento da ocupação urbana na área do Park Way, regulamentada com aprovação do Decreto nº

18.910, de 15 de dezembro de 1997, que criou a possibilidade de parcelamento dos lotes que antes eram de 20.000m<sup>2</sup> em até oito habitações. Desta forma é possível explicar as altas taxas de transição encontradas de área agrícola para área urbana na matriz de transição do ano de 1994 a 1998, cerca de 20%. Pode se verificar que as áreas com agricultura dentro da região do Park Way se extingue nesse período. Assim, nos anos de 1998 a 2009, essa transição cai para uma taxa de cerca de 7%.

Estudos com modelo SWAT na bacia hidrográfica do Gama apontam resultados sobre o balanço hídrico para o período úmido, apresentando os seguintes resultados, 753,7 mm do total da chuva foi convertido em evapotranspiração (53,54%), 84,1 mm em escoamento superficial (5,9%), 137,06 mm em fluxo lateral (9,73%), 431,56 mm em água disponível para percolação (30,65%), 301,18 mm em fluxo de base (21,39%), 94,4 mm em ascensão capilar do aquífero raso (6,7%), e 21,58 para a recarga do aquífero (1,53%) (SANTOS& UAGODA, 2017).

A unidade da bacia hidrográfica do ribeirão do Gama apresenta solos com taxas de infiltração muito altas, o que favorece o abastecimento das águas subterrâneas e reduz o escoamento superficial. A porcentagem de escoamento superficial subiu de 2,6% para 6,75% entre os anos de 1954 a 2009, da mesma forma se apresenta os dados de uso e ocupação do solo na bacia. Entre os anos de 1953 a 2009, houve redução das áreas de cerrado de 54,4% para 35,5%, nas áreas de campo reduziram de 28,7% para 21,3% enquanto cresceu de 0% a 29,1% (Menezes, 2010).

Conforme Montgomery e Bolton (2003) os processos hidrogeomorfológicos, ocasionam impactos diretos nas esferas: econômica, ambiental e social, principalmente para a sociedade, capazes de evitar, mitigar ou premeditar desastres. O monitoramento hidrométrico constante é visto como importante ferramenta ao desenvolvimento humano, abastecimento e principalmente no gerenciamento do uso e ocupação do solo.

Cabe ressaltar que os estudos hidrossedimentológicos em eventos podem oferecer subsídios para estudar, evitar ou mitigar impactos ambientais provenientes de casos, como o recente (2015) caso do rompimento da barragem de São Domingo, em Bento Rodrigues, é importante compreender que a pesquisa se apresenta como importante no âmbito hidrossedimentológico, após o Brasil registrar o maior desastre ambiental na área de poluição por sedimentos.

No caso da bacia do Gama, resta saber se o monitoramento da carga sedimentar durante eventos trará diferença substancial para a estimativa da quantidade total de sedimentos suspensos transportados pelo canal e depositados no lago Paranoá. Portanto,

esse trabalho objetiva levantar e monitorar a carga sólida suspensa em eventos pluviométricos na bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, com o intuito de melhorar a estimativa de contribuição de sedimentos dessa bacia para o lago Paranoá.

Como objetivo específico pretende-se monitorar os parâmetros de qualidade da água e dos sedimentos durante os eventos pluviométricos de diferentes intensidade, compreender o comportamento fluviossedimentológico da bacia hidrográfica durante os eventos pluviométricos e comparar diferentes técnicas para o estudo da vazão e carga sedimentar na estação fluviométrica de coleta de dado.

## **2. Materiais e Métodos**

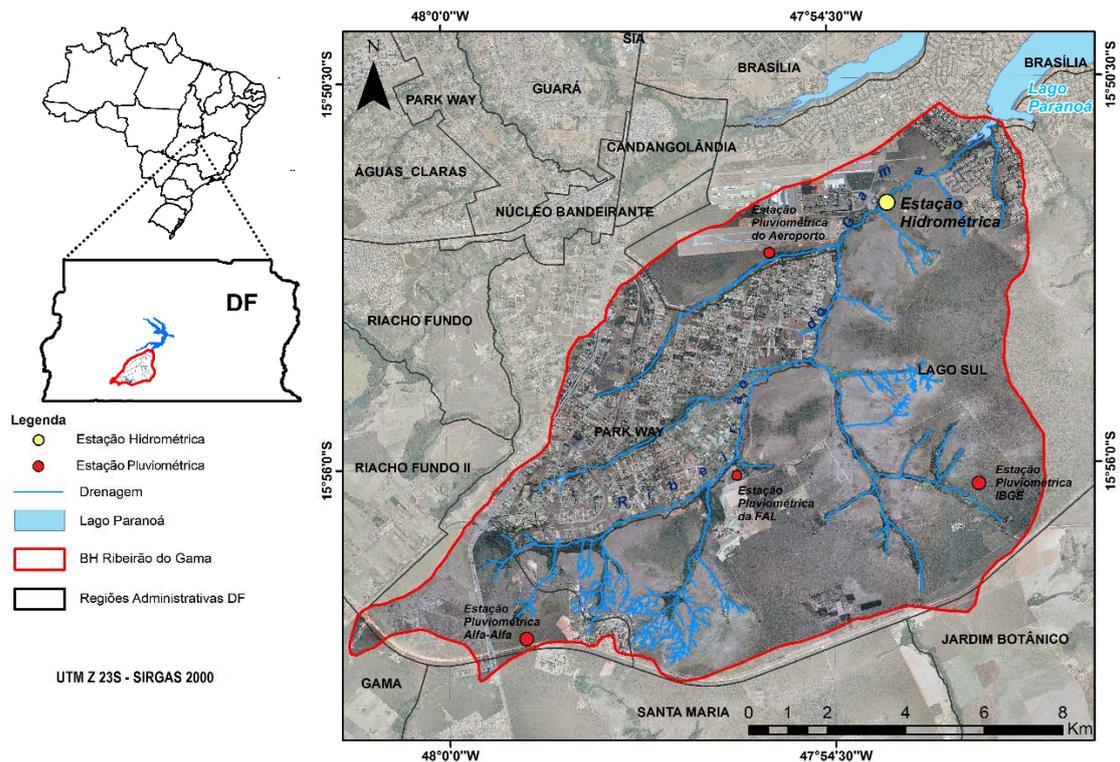
### **2.1 Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, ocupa aproximadamente 147 km<sup>2</sup>, está situada entre os paralelos 15°50'16" Latitude S e os meridianos 47° 50'48" Longitude W sendo tributária do Lago Paranoá.

O Lago Paranoá pertence à bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu que, por sua vez, pertence à região hidrográfica do Rio Paraná. A bacia do Lago Paranoá é formada pelas unidades hidrográficas do Lago Santa Maria/Torto, Bananal, Riacho Fundo, ribeirão do Gama, Córrego Cabeça do Veado e Lago Paranoá (Moreira, 2003).

A bacia hidrográfica do ribeirão do Gama está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) do Gama, contando ainda com APA Cabeça de Veado e as áreas de preservação do IBGE, Aeronáutica e Fazenda Água Limpa, as quais se distribuem na margem leste da bacia, enquanto a margem oeste é ocupada quase que em sua totalidade por condomínios de baixa densidade.

A área possui uma precipitação anual média da ordem de 1500 mm, sendo concentrada entre os meses de novembro a marco, o que resulta em uma vazão média de 1,85 m<sup>3</sup>/s, no canal principal (MOURA *et al.*, 2009).



**Figura 1.** Mapa de localização da bacia do Gama. Fonte: SICAD Terracap, 2007.

A área da bacia de drenagem do ribeirão do Gama é caracterizada pela presença de rochas do Grupo Paranoá, especificamente de unidades Ardósia e Metarritmito Arenoso (CAMPOS, 2005).

O canal principal do Gama drena no contato entre as duas principais litologias e as encostas e canais tributários drenam em direção preferencial norte, em posição *Anti-Dip* em relação à direção e mergulho das camadas, com foz no centro do hemi-domo do Paranoá.

Representa importante área ao estudo erosivo pelo fato de o canal principal estar sofrendo visível dissecação atual, sendo fonte de sedimentos para a colmatação do lago. Na área são encontrados depósitos sedimentares fluviais suspensos em até sete metros em relação ao canal, com datas de até 21.000 Anos antes do presente conforme (CALDEIRA & UAGODA, 2016).

A altitude mínima é de 1005 metros e a máxima 1250 com declividade máxima de 26, 1°. Segundo Novais Pinto (1987) área é dividida nos compartimentos geomorfológicos suavemente ondulados das chapadas da contagem e depressão do paranoa, onde predominam os latossolos (61,4% da bacia), ligadas por uma quebra de relevo escarpada, onde predominam os cambissolos (22,3% da bacia) e plintossolos

pétricos (0,3% da bacia), havendo, ainda, solos hidromórficos nas calhas dos rios (16% da bacia).

A geomorfologia da região do Distrito Federal vem sendo objeto de estudo e há um relevante acervo de estudos tais como Novaes Pinto (1986, 1987, e 1994), Novaes Pinto & Carneiro (1984) e Martins & Baptista (1998).

Brasília é um conjunto de núcleos urbanos que retrata bem a relação entre a construção/ampliação da capital federal e os recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos. Estudos realizados em duas importantes bacias hidrográficas do Distrito Federal, a bacia do rio Descoberto II e a bacia do São Bartolomeu III demonstraram a influência da ocupação urbana nessas bacias, caracterizada pelos efluentes domésticos e atividades agrícolas (PINELLI, 2009).

## **2.2 Média Pluviométrica**

Em relação ao clima, o DF possui dois períodos climáticos bem distintos, típicos da região de cerrado, evidenciados pela alta taxa de precipitação no verão (250 mm em dezembro) com temperatura média de 22 °C e um período extremamente seco no inverno (9 mm em junho) com média de temperatura de 18 °C (PINELLI, 2009).

Espacialmente, a variação na precipitação segue uma tendência decrescente de oeste para leste. Anualmente são esperados cerca de 1500 mm de chuva em Brasília.

Os dados pluviométricos empregados foram obtidos com o cálculo da média aritmética de quatro estações pluviométricas automáticas monitoradas na bacia do Gama (figura 1), com intervalo de coleta de 15 min: Alfa, FAL/UnB, IBGE e Aeroporto.

As estações pluviométricas da área de estudo estão instaladas em terreno plano, relativamente protegido de furtos e bem equipadas, livre de obstáculos, com a superfície de captação do pluviômetro em um plano horizontal, com altura de 1,5 m acima do solo.

## **2.3 Nível e Vazão**

Para o acompanhamento da variação do nível do ribeirão do Gama, os dados foram obtidos através linígrafo digital VAISALA com transdutor de pressão, com intervalo de coletas de 15 minutos, além de régua linimétrica

A descarga líquida foi determinada com medições discretas a vau, utilizando o OTT - *Acoustic Digital Current meter* (ADC) para as menores vazões; o OTT - *Acoustic Doppler Profiler-Qliner* (ADP), para as vazões médias e SONTEK

RiverSurveyor M9 Floating Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) para as ondas de cheia.

A curva chave foi estabelecida para o período com 19 medições de carga líquida, com o uso da equação exponencial:  $Q = k * (h-h_0) ^ n$ . Onde: k e n são constantes teóricas, h a cota do rio observada, h<sub>0</sub> é a cota quando a vazão é nula

Equação Curva Chave

$$Q = k * (H - H_0) ^ n$$

## 2.4 Carga Sólida

A descarga sólida foi medida a vau e sobre ponte com o uso dos amostradores USDH-48 e USDH-59, com método de integração em verticais centrais.

Na coleta automática, utilizou-se o Amostrador Automático ISCO 6712, com sensor de nível e coletas pontuais programadas para intervalos de 30min.

A determinação da concentração de sedimento em suspensão foi realizada por ensaio de filtração no Laboratório de Geoquímica (Lageq) do Instituto de Geociências da UnB. As amostras foram deixadas em repouso por 48 horas, para decantação, permitindo medir o volume e retirar o sobrenadante, restando alíquota de 200ml.

O composto (líquido + sedimentos) foi passado para um copo com filtro Milipore 0,47 mm previamente pesado, conectado a bomba à vácuo. O resíduo da filtração presente no papel filtro é levado à estufa, onde permanece 24 horas a uma temperatura em torno de 100°C e após é secado em dessecador em vácuo, até atingir a temperatura ambiente, para em seguida, ser pesado na balança de precisão, obtendo o peso final.

O valor obtido deve ser subtraído do peso inicial do filtro, chegando ao valor de peso total. A concentração  $C_{ss}$  é determinada pela razão entre a massa seca do sedimento [(P) em mg] contido na amostra e o volume total utilizado [(V) em L], de acordo com a equação  $C_s = P / V$ .

A concentração de sedimentos multiplicada pela vazão instantânea fornece a estimativa da descarga de sedimentos ( $Q_{ss}$ ), que, integrada no tempo, fornece a estimativa da produção de sedimentos ( $mg.L^{-1}$ ).

A descarga sólida foi obtida em mg/L pós filtração à vácuo em laboratório. A quantidade de sedimentos foi obtida pela relação entre a vazão (Q) e a concentração de

sedimentos em suspensão ( $C_{ss}$ ) apresentada por Einstein (1950) e melhorada por Colby (1957), sendo representada pela seguinte equação:  $Q_{ss} = 0,0864 \times Q \times C_s$ .

Equação da concentração de sedimentos em suspensão

$$Q_{ss} = 0,0864 \times Q \times C_s$$

Onde  $Q_{ss}$  é a Descarga sólida total em  $\text{ton.dia}^{-1}$ ; 0,0864, uma constante de correção de unidades (transforma as unidades de segundos para dia e gramas para toneladas);  $Q$ , a descarga líquida em  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ; e  $C_s$ , a concentração média em  $\text{mg.L}^{-1}$  ou ppm.

Por fim, a turbidez foi medida automaticamente com a sonda Hydrolab DS5X, com range entre 0 e 3000 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), alimentada por painel solar e bateria.

A estabilidade dos dados consiste em calibrar a sonda com soluções padrões de 0 NTU, 60 NTU, 700 NTU e 1000 NTU.

## 2.5 Período de Medições

Os eventos pluviométricos coletados para a pesquisa tiveram início no mês de dezembro de 2015 e se encerraram no mês de março de 2016, período úmido com maior índices de chuvas no DF (figura 3). Foram 11 eventos de diferentes intensidades e histereses. As coletas pontuais operadas pelo ISCO 6712 (tabela 1), ocorreram em diferentes horários. O amostrador funciona por meio do sensor de nível que disparava a bomba de sucção quando existir contato com a água, no momento da subida da cheia. Equipamento capaz de completar um ciclo de amostragem (24 garrafas de 1L) ou até que a água deixasse de tocar no sensor em intervalo de tempo programado, para esta pesquisa, foi estabelecido o intervalo de coleta de 30 minutos para as amostras pontuais.

Coletas registradas pelo amostrador automático ISCO 6712 em dias de chuva				
Evento	Data Início	Hora Início	Data Final	Hora Final
1	08/12/2015	20:03	09/12/2015	01:33
2	26/12/2015	14:09	26/12/2015	18:39
3	03/01/2016	10:02	03/01/2016	11:32
4	07/01/2016	22:06	08/01/2016	04:06

5	13/01/2016	18:07	13/01/2016	21:07
6	21/01/2016	16:31	21/01/2016	19:31
7	28/01/2016	19:09	29/01/2016	06:09
8	14/02/2016	22:37	15/02/2106	02:07
9	21/02/2016	22:09	22/02/2016	17:35
10	01/03/2016	14:41	02/03/2016	01:41
11	08/03/2016	23:45	09/03/2016	11:15

**Tabela 1.** Dias e horários de coleta de água pelo amostrador automático ISCO 6712 em eventos pluviométricos na bacia do Gama.

O amostrador ISCO 6712 é composto por uma bomba, movido a bateria interna, que foi desenvolvida para sugar águas residuais. Possui um dispositivo elétrico impulsionado pela bomba peristáltica, que é ativado. O tubo de entrada é purgado antes e depois de cada período de bombeamento por inversão automática da bomba, podendo ser determinado nas configurações e ajustes do equipamento.

Durante o período de janeiro de 2015 a março de 2016 foram efetuadas medições de vazão (tabela 2) no ribeirão do Gama a fim de melhorar o levantamento de dados para a curva chave. Atualmente, a Caesb é a instituição responsável pelas medições e pela curva chave, entretanto, medições em eventos pluviométricos não são efetuadas pelas condições de trabalho. No intuito colaborativo, nesta pesquisa, priorizou-se medições de vazão em eventos pluviométricos para o melhoramento da curva chave e um melhor monitoramento do ribeirão, visando obter informações ainda não levantadas.

Medições de vazão no ribeirão do Gama entre 2015 e 2016					
	DATA	HORA	EQUIP. DE MEDIÇÃO	COTA (m)	VAZAO (m <sup>3</sup> /s)
1	15/01/2015	08:40	M9	0,6	1,25
2	02/02/2015	13:20	M9	0,7	1,45
3	27/07/2015	13:10	M9	0,56	0,97
4	28/08/2015	13:50	M9	0,4	0,57
5	29/09/2015	09:20	M9	0,4	0,79
6	01/12/2015	09:20	QLINER	0,6	1,19
7	07/12/2015	16:25	QLINER	0,78	0,97
8	05/01/2016	13:10	QLINER	0,85	1,91
9	07/01/2016	12:10	QLINER	0,82	1,24
10	11/01/2016	16:10	QLINER	0,8	1,31
11	13/01/2016	17:40	QLINER	1,24	2,57
12	19/01/2016	15:20	QLINER	1	1,81
13	21/01/2016	10:25	M9	2,6	8,73
14	26/01/2016	10:40	QLINER	1,6	2,83
15	04/02/2016	11:25	QLINER	0,9	1,79

16	11/02/2016	12:50	QLINER	0,96	1,44
17	22/02/2016	10:40	QLINER	1,5	3,14
18	22/03/2016	16:20	QLINER	0,92	1,85
19	19/05/2016	10:20	QLINER	0,64	1,43

**Tabela 2.** Medições de vazão na bacia do Gama entre 2015-2016.

Para o melhor entendimento da carga sólida suspensa no ribeirão do Gama, além das coletas pontuais do amostrador automático, foram realizadas 24 mensurações de vertical central em dias de diferentes intensidades de eventos com modelos USDH.

Medições de Vertical Central por USDH 48 e 59						
	DATA	HORA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Turbidez (NTU)	COTA (m)	PESO (mg/L)
1	07/12/16	16:20	1,245	0	0,76	0,0054
2	09/12/16	17:00	1,310	32	0,8	0,0022
3	11/12/16	08:50	1,523	18	0,92	0,0018
4	14/12/16	15:25	1,078	41	0,65	0,0079
5	2-3/12/16	14:20	1,414	15,7	0,86	0,0073
6	28/12/16	17:10	1,152	5,9	0,7	0,0119
7	29/12/16	11:10	1,449	62	0,88	0,0084
8	05/01/16	13:10	1,277	10,7	0,78	0,0023
9	07/01/16	12:10	1,894	5,8	1,1	0,0052
10	09/01/16	09:20	1,806	15,8	1,06	0,0023
11	11/01/16	16:20	1,344	10,4	0,82	0,0065
12	13/01/16	17:40	2,179	48	1,22	0,0348
13	15/01/16	11:00	1,581	36	0,95	0,0051
14	18/01/16	14:15	2,080	132	1,18	0,004
15	23/01/16	17:30	4,608	455	1,92	0,0468
16	26/01/16	10:40	2,979	52	1,5	0,0253
17	27/01/16	12:15	2,612	16,7	1,38	0,0253
18	29/01/16	18:40	2,853	28,8	1,46	0,0229
19	11/02/16	16:50	1,486	111	0,9	0,0074
20	14/02/16	15:15	2,979	29,9	1,5	0,007
21	22/02/16	11:30	2,442	155	1,32	0,0862
22	02/03/16	10:10	1,806	65,5	1,06	0,004
23	10/03/16	12:10	6,885	78,9	2,34	0,0621
24	22/03/16	16:20	2,080	31,9	1,18	0,0191

**Tabela 3.** Medições de vertical central no ribeirão do Gama 2015-2016.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Período de Monitoramento

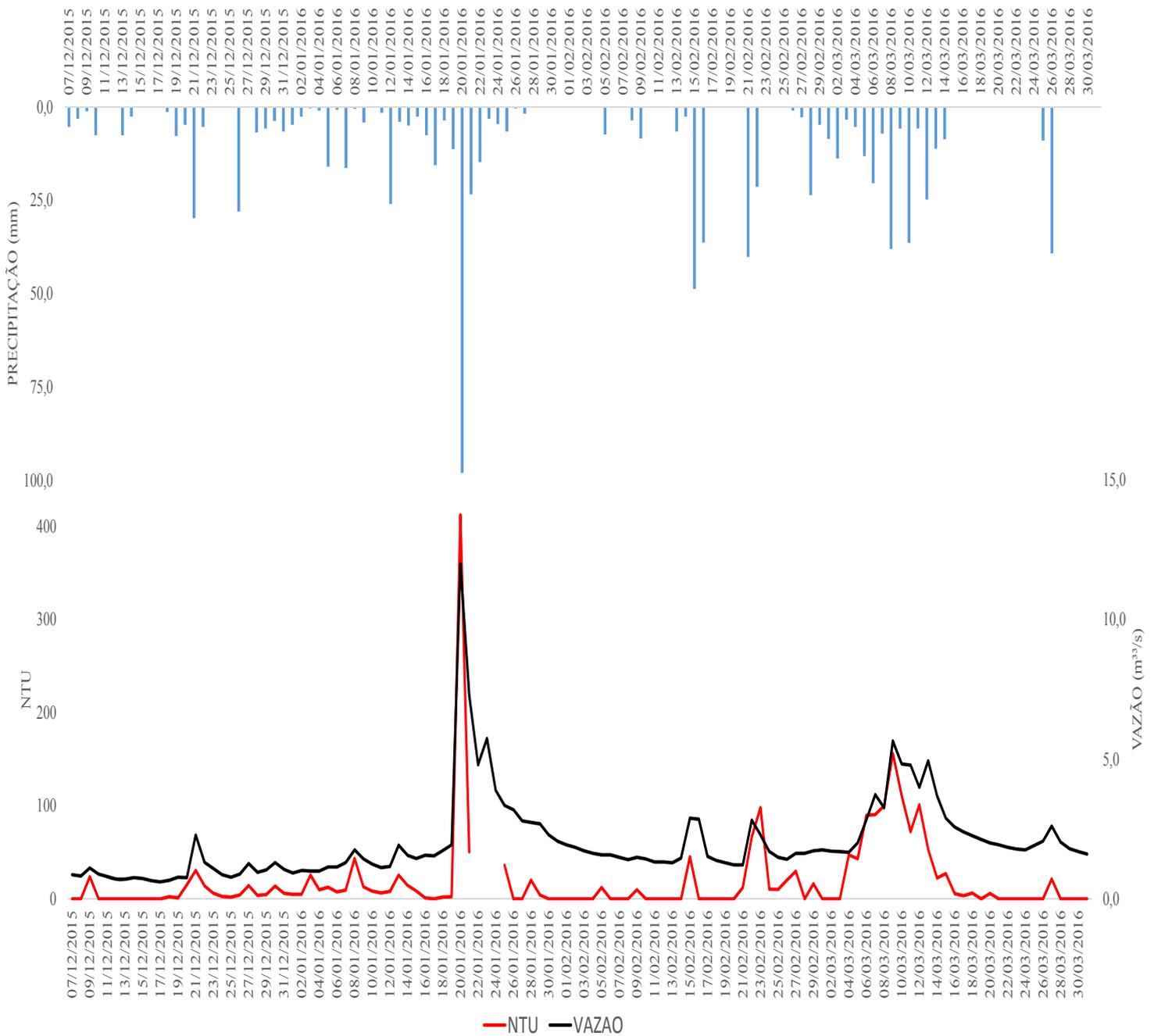
O monitoramento das variáveis no canal do Gama ocorreu durante os meses de dezembro de 2015 a março de 2016 (figura 2), havendo dois picos de vazão que ultrapassaram os 5m<sup>3</sup>/s, sendo que em um deles, dos dias 21 a 23 de janeiro, houve danificação parcial da PCD, com cessação temporária da coleta de dados. Com ocorrência de outros 24 picos de menor intensidade, onde foi possível o monitoramento de 11 eventos.

As relações entre a vazão turbidez, pluviosidade e a concentração de sedimento em suspensão demonstraram a complexidade afirma Scheffer et al (2011) e a dinâmica dos processos na bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, representadas, de modo geral, pela presença de mais de um pico de sedimento em suspensão a cada pico de vazão (figuras 6 e 7) nos onze eventos monitorados.

Nos eventos, verificou-se a ocorrência de algumas situações de picos da carga sólida suspensa: 1) Após o início da ascensão da vazão. Posteriormente, tem-se um decréscimo na C<sub>ss</sub>, enquanto a vazão continua aumentando.

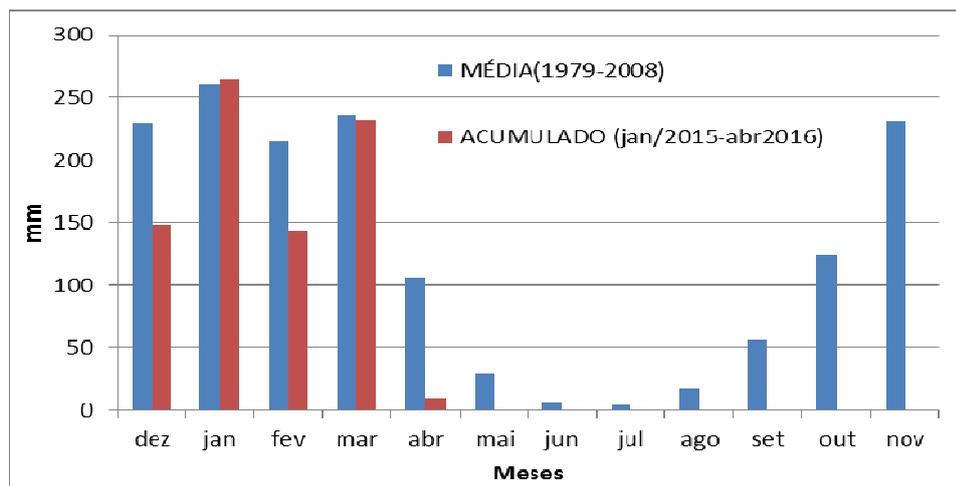
Em seguida, tem-se mais um pico da C<sub>ss</sub> e o pico da vazão. 2) Ocorreram praticamente ao mesmo tempo, com leve tendência do pico da vazão anteceder o da C<sub>ss</sub>. 3) Apenas um pico da C<sub>ss</sub>, e em outros, dois ou mais picos da C<sub>ss</sub>.

Williams (1989), afirma que a ausência de um grande suprimento de sedimentos é a principal causa da histerese de sentido horário em pequenas bacias.



**Figura 2.** Média diária de precipitação, Q e turbidez entre dezembro de 2015 e março de 2016.

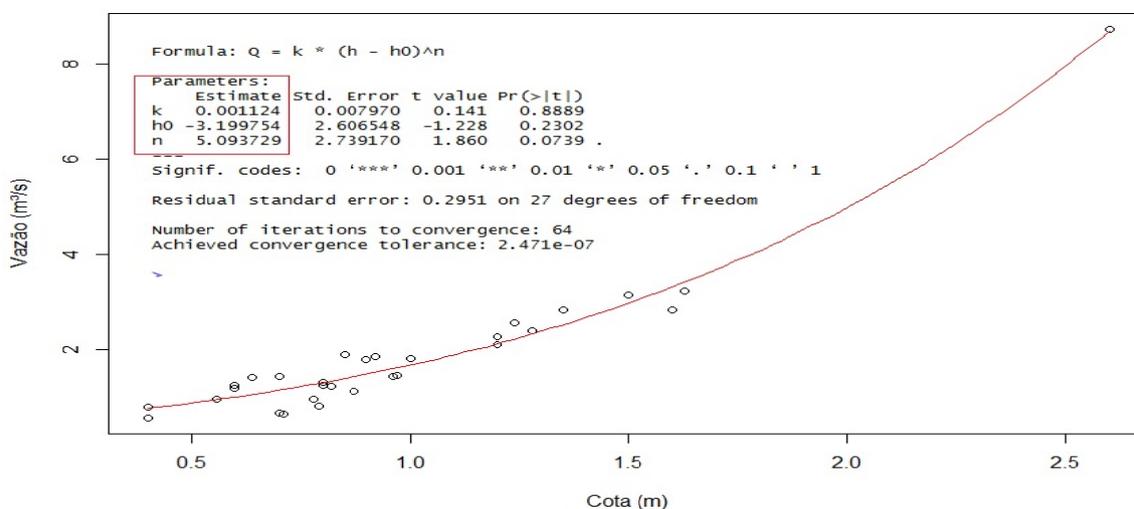
Quando comparadas as chuvas precipitadas na bacia para o período de coleta, com as chuvas médias mensais da normal climatológica entre 1979 e 2008, percebe-se que a precipitação de janeiro e março de 2015 foi dentro do esperado, enquanto que o total de precipitação de dezembro de 2015 e fevereiro e abril de 2016 foram muito abaixo do esperado, com diferença de 248mm apenas nesses quatro meses, fazendo com que esse ano hidrológico seja atípico, com total precipitado abaixo do esperado.



**Figura 3.** Média mensal de chuvas para a normal climatológica 1979-2008 (azul) e acumulado de chuvas para os meses referentes a essa pesquisa, entre dezembro de 2015 e janeiro de 2016 (vermelho),

### 3.2 Curva Chave

Utilizou-se a curva chave (figura 4), elaborada pelo próprio autor com apoio do PTARH para estimar a vazão, cota máxima até 3,90m o maior valor para o



comportamento geral hidrossedimentológico da bacia no período de monitoramento.

**Figura 4.** Curva chave do ribeirão do Gama mensurada por meio da vazão e cota medidos em campo entre novembro de 2015 a abril de 2016.

Acima da cota de 4m o rio sai da calha e há alterações extremas no comportamento da vazão, portanto esta curva chave é aplicável apenas para valores mensurados inferiores acota de 4 m.

Vide a necessidade do melhoramento da curva chave durante o período de chuvas. Os respectivos valores para a curva chave correspondem a:

k: 0,001124;  $H_{\square}$ : -0,31997 e n: 5,093729

### 3.3 Histerese

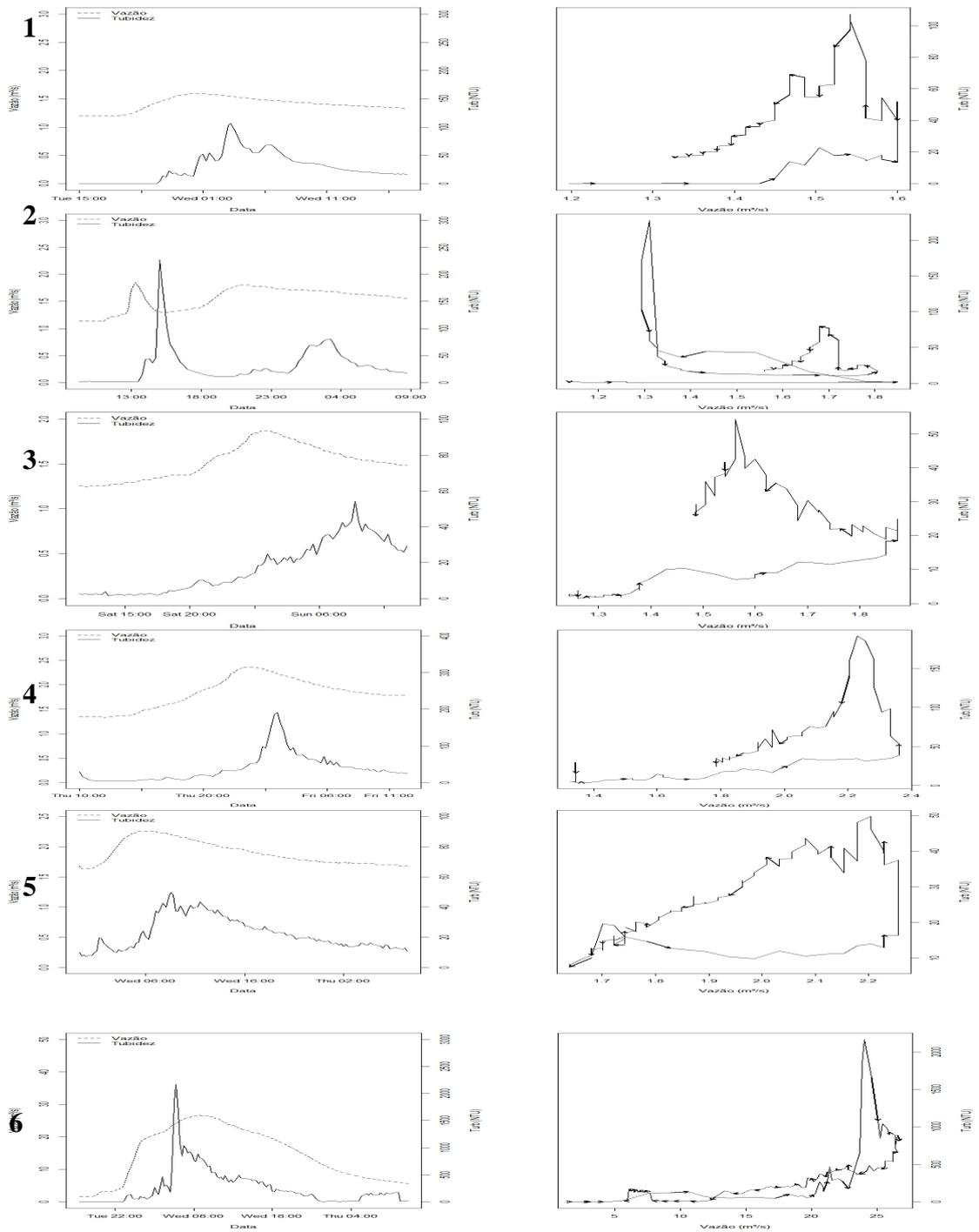
Os eventos selecionados para esta pesquisa mostraram-se heterogêneos, apresentaram variações significativas no volume de vazão e de, sendo o evento 6 o maior pico de vazão dos eventos considerados, em seguida, o evento 11 com o segundo maior pico. Essas variações dos valores das variáveis (figuras 5 e 6), caracterizam parcialmente a dinâmica dos processos fluviométricos e pluviométricos na bacia do ribeirão do Gama.

Os onze eventos monitorados durante esta pesquisa encontram-se nas figuras 5 e 6, conforme o modelo de Williams (1989) para o diagnóstico das histerese.

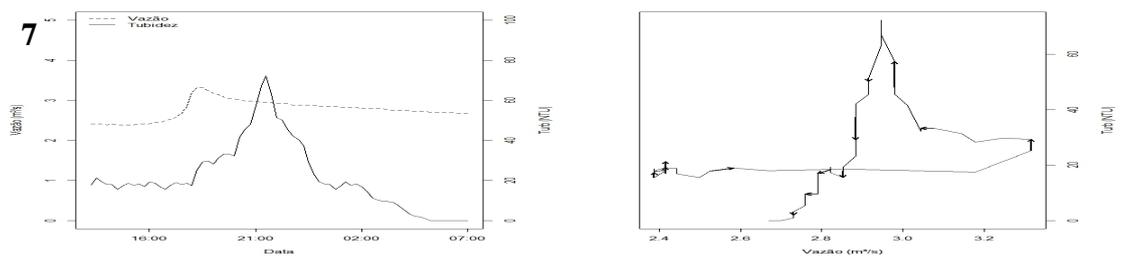
A taxa de sedimentos em suspensão passa a ascender em muitos eventos posteriormente ao pico de Q, em alguns casos ocorrendo um segundo pico da C<sub>ss</sub>, porém depois do pico de vazão, condiciona uma histerese do tipo curva no sentido anti-horário (counterclockwise), a segunda histerese de maior frequência nos eventos monitorados por esta pesquisa.

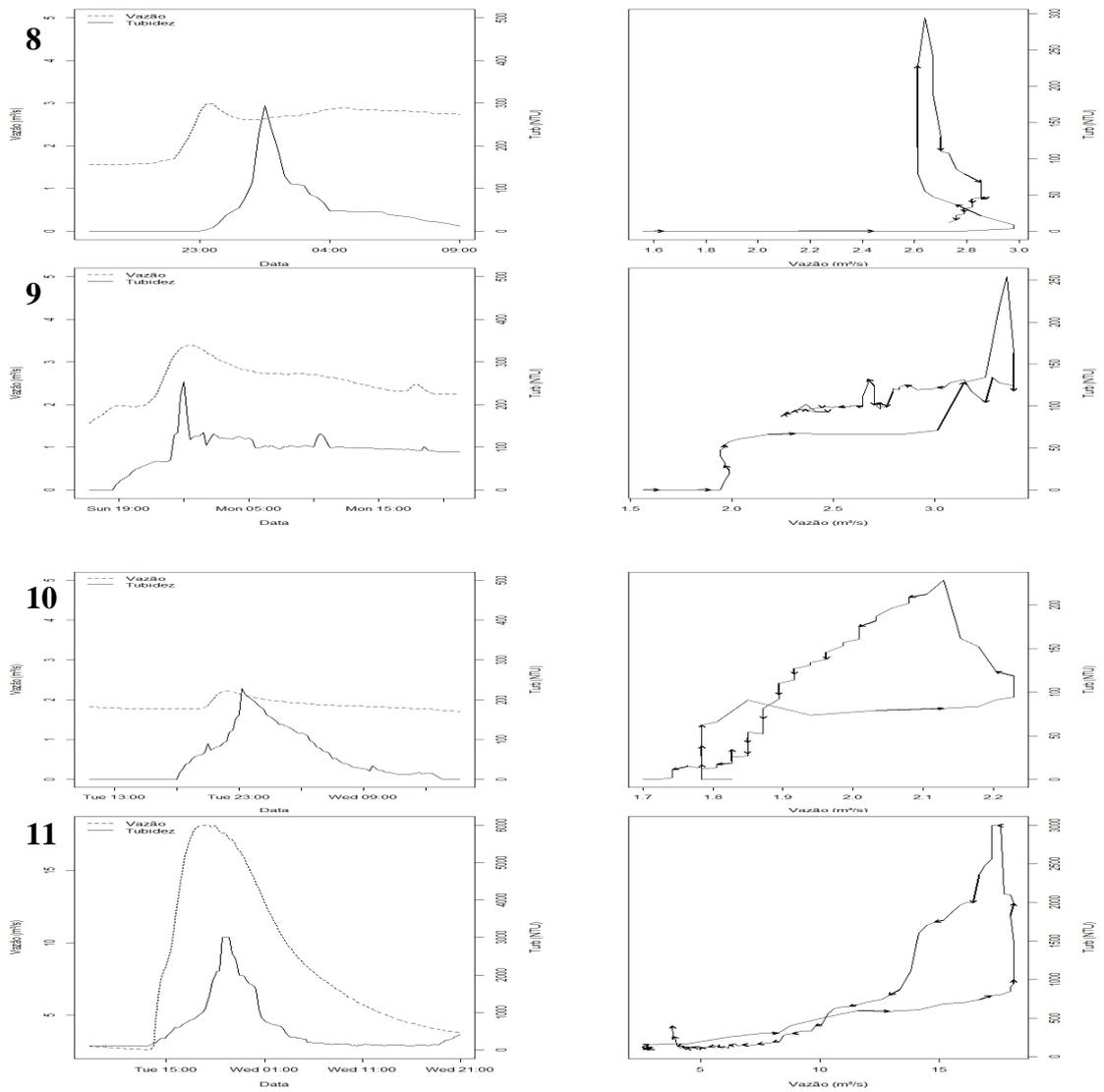
Este comportamento, segundo Seeger *et al.* (2004) deve-se à contribuição de sedimentos naturais de áreas fontes mais distantes dos cursos de água, distribuídas na bacia.

Estas áreas geralmente apresentam maior disponibilidade de sedimentos e ocorrem quando o solo apresenta alta umidade, em condição próxima da saturação, como é o caso da bacia do ribeirão do Gama, onde as áreas destinadas à preservação do cerrado colaboram para saturação de umidade no solo.



**Figura 5.** Hidrograma Q x turbidez eventos 1; 2; 3; 4; 5 e 6 no ribeirão do Gama.





**Figura 6.** Hidrograma Q x turbidez eventos 7; 8; 9; 10 e 11 no ribeirão do Gama.

Duas características são encontradas nos eventos monitorados no que se refere aos picos de vazão e sedimentos em suspensão.

O pico de C<sub>ss</sub> após o pico de vazão foi encontrado em oito eventos (1; 2; 3; 4; 5; 7; 8; e 11) dos onze eventos monitorados, onde o tempo de concentração da bacia apresentou-se lento principalmente nos primeiros eventos. Fator impulsionado pelo lento escoamento superficial. Estes resultados evidenciam a dinâmica de retração e expansão das áreas saturadas na bacia, decorrentes do volume de água disponível na mesma e oriundas da pluviosidade e do índice de unidade presentes na bacia, como destacam Hewlett e Hibbert (1967), Dunne (1978; 1983).

A ocorrência do primeiro pico da bem antes do de vazão, com elevadas taxas de sedimento em suspensão, é condicionada também pela carga de sedimento de lavagem

(wash load ou deplúvio) carregado da bacia hidrográfica, conforme expõe Vestana (2008).

Enquanto no restante dos cinco eventos, o pico de  $C_{ss}$  antecede o pico de  $Q$  (6; 9; 10 e 11), em dias de eventos intensos, com bastante escoamento superficial próximos ao meio e fim do período chuvoso, com destaque para o solos saturados de infiltração.

Dentro das cinco situações de histerese levantadas por Williams (1989), duas foram representadas no monitoramento da bacia do Gama, sendo o predomínio da figura oito, *figure eight* (2; 5; 6; 7; 8; 10 e 11), encontrada em sete eventos.

O tipo de curva no sentido anti-horário, *counterclockwise loop* (1; 3; 4 e 9) e encontrada nos cinco eventos restantes. Nos primeiros eventos, nota-se pouca intensidade nas chuvas, pouco escoamento superficial e bastante infiltração. Na medida que a estação chuvosa percorre seu período, a intensidade e o número de chuvas aumentam, e por consequência, o comportamento fluvial também.

O registro de dois diferentes tipos de histerese monitorados na bacia hidrográfica do Gama aflui com os apontamentos de Lenzi e Marchi (2000), onde é possível uma bacia hidrográfica apresentar vários tipos de histerese.

Para o cálculo do tempo de concentração ( $T_c$ ) da bacia, foi confeccionado duas equações, a primeira ( $\Delta T_1$ ) com base na diferença entre o tempo início da ascensão da vazão em relação ao tempo de início das chuvas. E a segunda ( $\Delta T_2$ ) representada pela diferença entre o tempo início da ascensão da turbidez em relação ao tempo de início da ascensão da vazão.

$$\Delta T_1 = T (\text{início de ascensão da } Q) - T (\text{início da chuva})$$

$$\Delta T_2 = T (\text{início de ascensão da turbidez}) - T (\text{início de ascensão da } Q)$$

Desta forma, nota-se uma lentidão na bacia hidrográfica do Gama na resposta da vazão e da turbidez nos eventos pluviométricos no início da estação chuvosa, enquanto no centro e no fim, o tempo de concentração diminui e a bacia passa a apresentar resposta mais rápida na ascensão da  $Q$  e turbidez.

Tempo de concentração da bacia
--------------------------------

Evento	Data/Hora de início	Data/Hora de término	$\Delta T_1$ (min.)	$\Delta T_2$ (min.)
1	08/12/2015 - 15:00	09/12/2015 - 02:45	60'	135'
2	26/12/2015 - 11:45	27/12/2015 - 20:00	45'	150'
3	03/01/2016 - 23:00	04/01/2016 - 14:45	105'	45'
4	07/01/2016 - 15:00	07/01/2016 - 20:30	75'	115'
5	13/01/2016 - 00:15	13/01/2016 - 04:30	60'	30'
6	19/01/2016 - 19:45	20/01/2016 - 10:30	45'	105'
7	28/01/2016 - 13:45	28/01/2016 - 20:45	30'	60'
8	15/02/2016 - 20:30	16/02/2016 - 01:45	30'	45'
9	21/02/2016 - 18:30	21/02/2016 - 22:30	45'	45'
10	22/02/2016 - 05:00	22/02/2016 - 22:00	15'	45'
11	02/03/2016 - 16:15	02/03/2016 - 22:00	45'	60'
12	08/03/2016 - 12:00	08/03/2016 - 21:00	45'	30'

**Tabela 4.** Tc da bacia do Gama com base nos eventos coletados 2015-2016.

Almeida et al (2013) expõe equações (métodos) para estimar o Tc em horas de uma bacia hidrográfica predominantemente rural, onde seus resultados apontam maior diferença percentual para os eventos coletados e analisados sob o método de Pasini.

Os aspectos fluviais do ribeirão do Gama e as características da bacia hidrográfica, principalmente a enorme diferença na altimetria entre foz e as nascentes, associados as áreas destinadas à conservação do cerrado (a direita da bacia), beneficiam a infiltração e reduzem o escoamento superficial. Estes fatores acabam por designar um tempo de concentração lento da bacia, onde a resposta hidrológica atribui-se de forma devagar após o evento pluviométrico principalmente nas primeiras chuvas.

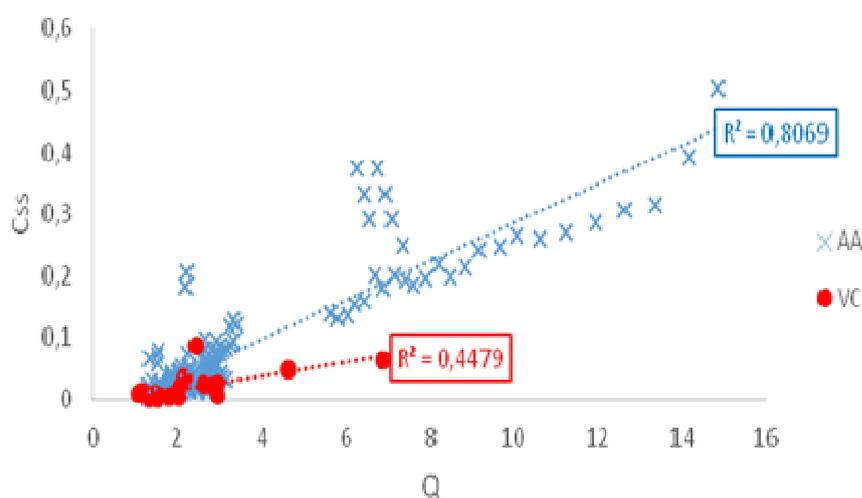
Com o decorrer do período chuvoso e a saturação d'água, a resposta da turbidez passa a ser mais rápida, encontrada nos últimos eventos coletados.

### 3.4 C<sub>ss</sub> x Q e NTU x Q

A carga sólida suspensa e a turbidez na seção transversal do curso fluvial, foi correlacionada com a Q pontual. A relação Q e C<sub>ss</sub> da bacia hidrográfica, influem na quantidade de sedimento a ser fornecida por erosão das vertentes e do canal (WILLIAMS, 1989).

Chagas, 2015 encontra significativa relação entre C<sub>ss</sub> e turbidez com R no valor de 0,9 em eventos coletados, apontando a alta correlação a maior concentração de sedimentos de maior diâmetro. As vinte e quatro mensurações de vertical central (tabela

3) foram realizadas em um único momento exclusivo do evento, nota-se a importância da vertical central ser monitorada constantemente durante a ocorrência do evento e não somente em um único instante. Vestena (2008) encontra verifica baixa correlação entre Q e Css, apenas 5 eventos de 25 levantados apresentaram R superior a 0,7, onde uma das prováveis causas apontadas é a oscilação entre o pico de Css antecedente ao pico de Q. A correlação entre os sólidos suspensos e a vazão se deu por valor de  $R = 0,8069$  para as amostras do amostrador automático e  $R = 0,4479$  para as amostras de vertical central. Manz (2010) obtém alta correlação entre a Css e Q em uma boa representatividade da Css na seção molhada em 13 amostras pontuais no rio Sagrado, onde  $R^2=0,8$ , apresentando Qss média em 19,20 t/dia, inferior aos cálculos anteriores de 13,94 t/dia.

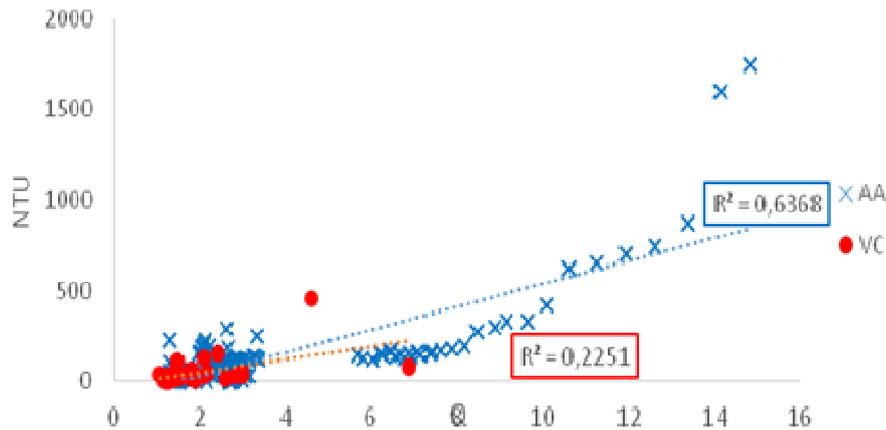


**Figura 7.** Relação entre Css e Q no ribeirão do Gama por VC e AA.

Pinheiro et al (2013) encontra confiabilidade na concentração de sedimentos em suspensão estimada pelo turbidímetro nos dados de eventos em até 400 NTU, médias correlações em eventos até 790 NTU e baixas correlações em eventos superiores a 800 NTU. A menor correlação (figura 8) entre todas as variáveis monitoradas se apresenta no gráfico de NTU e Q, onde o  $R^2=0,2251$  corresponde as amostras de vertical central, enquanto o  $R^2=0,6368$  para as amostras do coletor automático (AA).

Na bacia do Gama, a reposta da turbidez - durante os eventos - se apresentou de maneira lenta predominantemente, onde a concentração das medições de vazão foram de 1 a 3 m<sup>3</sup>/s.

A carga sólida suspensa das amostras de vertical central apresentaram valor baixo de correlação, pode ser justificado pela pequena quantidade de amostras coletadas em VC. As amostras monitoradas pelo equipamento ISCO 6712 de todos eventos apresentaram excelentes correlações entre turbidez e a vazão. A C<sub>ss</sub> das amostras pontuais apresentam altíssima correlação com a vazão no período de monitoramento.

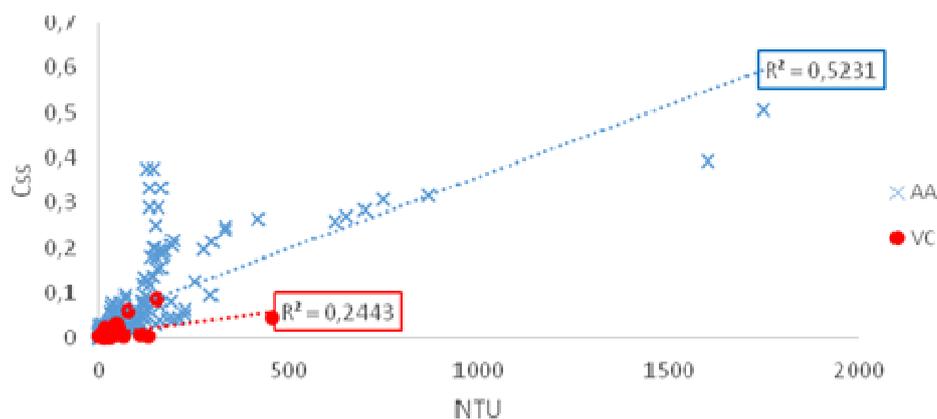


**Figura 8.** Relação entre turbidez e Q no ribeirão do Gama por VC e AA.

### 3.5 C<sub>ss</sub> x NTU

As amostras de vertical central e do amostrador automático geraram fator de correlação baixo, onde o  $R^2=0,5231$  corresponde as amostras do AA e o  $R^2=0,2443$  são para as amostras de VC. A pequena quantidade de amostras recolhidas para a VC justificam a baixa correlação. Vestana, 2008 encontra boa correlação existente entre os dados pontuais e medidos de C<sub>ss</sub> e NTU e afirma que o monitoramento automático é de extrema importância para o entendimento e a compreensão da dinâmica da C<sub>ss</sub> na exposição aos aspectos pluviométricos e fluviométricos.

Schettini et al. (2012) obteve resultados de alta correlação entre C<sub>ss</sub> e NTU do rio Itajaí-Açu, em Santa Catarina, decorrentes em duas ordens de magnitude durante eventos de alta intensidade contabilizando mais de 70% da contribuição de C<sub>ss</sub>.



**Figura 9.** Relação entre carga sólida suspensa e turbidez no ribeirão do Gama.

Na bacia do Gama, pode-se observar visualmente que as águas ficam turvas durante eventos de chuva. Em bacias de relevo dissecado, composto por vertentes íngremes, favorece a concentração do fluxo e também uma resposta rápida, permitindo a corroboração dos resultados levantados juntamente com os de Van Dijk e Kwaad (1996), e Steegen et al. (2000). Os resultados permitem supor índices de turbidez consideráveis pela presença predominante de materiais finos, decorrentes da natureza argilosa dos solos existentes na área de estudo.

Andrade Neto (2012) verifica na bacia do Guaíba/RS média correlação entre  $C_{ss}$  e NTU no valor de  $R^2=0,6$ , isto deve-se ao fato de que a  $C_{ss}$  é função de tantos outros fatores diversos além da descarga, a exemplo do uso e ocupação do solo, estação do ano (fases de plantio e lavouras), intensidades das chuvas e disponibilidade de sedimentos.

No rio Narmada, na Índia, Gupta e Charkrapani (2005) detectaram em um único evento 50% da  $C_{ss}$  anual. Para o AA, verifica-se também a necessidade de mais amostras e mais eventos. Para ótica desta pesquisa, apenas onze eventos tornam-se insuficientes para uma análise robusta.

#### 4. Conclusão

Com base nas análises dos dados coletados podemos inferir que a bacia do ribeirão do Gama possui uma resposta da produção de sedimentos diretamente ligada com o escoamento superficial e infiltração do solo da bacia.

Evidenciamos isso com os resultados de tempo de concentração no início e no fim do estudo, onde antes do solo ser saturado o escoamento dos sedimentos para o corpo hídrico tem resposta mais lenta e menor concentração de partículas, também é possível observar essa característica nos períodos de janeiro e março quando há uma

redução na concentração de chuva, diminuindo a saturação do solo e nos eventos mais intensos após esse período a resposta da bacia já se apresenta mais lenta.

Fator que pode se justificar pela alta preservação dos solos em decorrência de grandes áreas de preservação ambiental dentro da bacia hidrográfica do ribeirão do Gama.

Na bacia, constatou-se que a carga sólida suspensa está mais relacionada à dinâmica dos processos fluviais e sedimentológicos do que ao volume total da vazão. Com base neste sentido o monitoramento, entendido como um processo contínuo de medição das características de um determinado fenômeno, torna-se fundamental para a compreensão e melhor entendimento dos processos hidrossedimentológicos

O levantamento de informações fluviométricas associada a eventos pluviométricos requer bastante trabalho e apresenta um grau de dificuldade alto no planejamento e logística de campo simultâneo ao momento da chuva no momento da coleta, que não apresenta padrão ao ocorrer.

Não foi possível neste trabalho obter uma quantificação real do aporte de sedimentos coletados pelo método do amostrador automático, devido à falta de correlação e de adensamento de coletas em eventos de cheias.

Os dados coletados em janeiro de 2016 permitem iniciar estudos hídricos mais complexos e completos no âmbito do depósito sedimentar da bacia do Gama ao lago Paranoá tendo em vista a eminência e a necessidade do levantamento, principalmente pela carência institucional dos órgãos distritais.

Mais amostras devem ser coletadas para o contínuo da pesquisa, um evento de alta intensidade estudado gera questionamentos abrangentes. A pesquisa pretende continuar estudando eventos de alta e também de baixa intensidade na bacia.

## 5. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, I. K.; ANACHE, J. A. A.; ALMEIDA, V. R; SOBRINHO, T. A. **Estimativa de tempo de concentração em bacia hidrografia**. ABRH, 2013.

BRASÍLIA (DF). ANA, Agência Nacional de Águas. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. **Especificações Técnicas - Plataformas de Coletas de Dados – PCDs**, 2011.

BRASÍLIA (DF). ANA, Agência Nacional de Águas. **Estudo de Consolidação dos Procedimentos Metodológicos na Elaboração do Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos / Relatório Final**. – ANA: SPR, 2005. p. 118.

- ANDRADE NETO, J. S.; RIGON, L. T.; TOLDO JR., E. E.; SCHETTINI, C. A. F. **Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal.** 2012.
- ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R.; MAIDMENT, D. R. **Continuous-time water and sediment routing model for large basins.** Hydr. Engin, 1995. p. 121.
- AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A.L. **Fluxos d'água subsuperficiais associada a origem das formas côncavas do relevo;** In: Anais da 1ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas / COBRAE. vol. 2. Rio de Janeiro: ABMS e SBGE, 1992. p. 709-719.
- BAPTISTA, G.M. M. **Caracterização Climatológica do Distrito Federal.** In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Vol.1, parte I. Brasília: IEMA/SEMATEC/UnB, 1998. p. 86.
- BROOKS, K.N.; FOLLIOT, P.F.; GREGERSEN, H.M.; THAMES, J.L. **Hydrology and the Management of Watersheds.** US: Iowa State University Press, 1991. p. 391.
- CALDEIRA, D.; UAGORA, R. E. **Mapeamento e caracterização de ambientes sedimentares recentes em encostas e fundo de vale.** In: Poster PIBIC-CNPq, 2016.
- CAMPOS, J. E.G. **Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.** In: Revista Brasileira de Geociências, v. 34. 2005. p. 41-44.
- CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 1994. p. 372.
- CHEVALLIER, P. **Aquisição e processamento de dados.** In: Hidrologia - Ciência e Aplicação, C. E. M. Tucci, Editora da UFRGS / ABRH, Porto Alegre, 2004.
- CHORLEY, R. J. **Geomorphology and General Systems Theory.** In: Geological Survey Professional paper, vol. 500-B. US, 1962.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** Vol. 1. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **O canal fluvial.** Geomorfologia Fluvial. 1. Ed. v. 1. São Paulo: Edgard Blücher, 1974. Geomorfologia. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil.** In: MOURA, J. R. S.; SILVA, T. M. (org). Complexo de Rampas de Colúvio. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- DIAS, L. T. **Modelagem dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago-DF 1998-2020.** Dissertação de Mestrado UnB. 2011.
- DUNNE, T. **Runoff Production in a Humid Area.** Agricultural Research Service United States Department of Agriculture, 1943.
- DUNNE, T.; BLACK, R.D. **An experimental investigation of runoff processes in permeable soils.** Water Research 6. 1970. p. 478-490.
- EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do distrito federal.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2004. p. 455 p.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. **Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters.** In: Journal of sed. Petrol. p. 3-27. 1957.
- GRISON, F. **Monitoramento e modelagem hidrológica na bacia do campus da UFSC.** Relatório PIBIC-CNPq/BIP – UFSC. Florianópolis: UFSC, 2004/2005. p. 30.
- HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. **Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas.** In: International Symposium on Forest Hydrology. US: Pennsylvania State Univ., 1967. p. 275-290.

- HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology.** In: Bull. of the American Geological Society, v.56.US, 1945. p.275-370.
- GUPTA, H.; CHAKRAPANI,G. J.; Environ. Geol., 48, 579 (2005). Jansson, M. B. **Determining sediment sources areas in a tropical river basin, Costa Rica.** In: Catena, vol. 4. 2002. p.63-84.
- KOBIYAMA, M.; CASTRO, NILZA. SARI, VANESSA. **Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: revisão.** In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos 2015.
- LENZI, M. A.; MARCHI, L. **Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy).** In: Catena, vol. 39.2000. p. 267–282.
- LLORES RAMOS, C.; HELOU, G. C. N.; BRIGHETTI, G. **Dinâmica do transporte sólido nos rios Tietê e Pinheiros na região metropolitana de São Paulo.** In: Anais. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Gramado, 1993.
- LOPES, G. R.; TÁVORA, B. E.; SANTOS, R. M.; KOIDE, S. **Estudo Sobre Correlação entre Turbidez e Sólidos em Suspensão para Estimativa da Vazão Sólida em uma Pequena Bacia.** In: Anais do XVIII Simpósio de Recursos Hídricos. MS: Campo Grande, 2009.
- LOPES, H. N.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. **Relação entre concentração de sedimentos em suspensão e vazão em microbacias experimentais na região norte do estado de Santa Catarina, Brasil.** Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007.
- MANZ, R. E.; SANTOS, do I.; PAULA, E. V. **Monitoramento automático do transporte de sedimento em suspensão por meio do turbidímetro de alta performance.** UFPR, 2010.
- MENEZES, P. H. B. J. **Avaliação dos efeitos das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na bacia do lago Paranoá. Brasília-DF.** Dissertação de Mestrado UnB. 2010.
- MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A.C. (Coord.). **Brasil em Relevo.** Monitoramento por Satélite. Campinas: Embrapa, 2005.
- MONTGOMERY, D. R.; BOLTON, S. M. **Hydrogeomorphic Variability and River Restoration.** In: WISSMAR, R. C.; BISSON, P. A. Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems. Maryland: American Fisheries Society Publication, 2003. p. 39-80.
- NOVAES PINTO M. **Unidades geomorfológicas do Distrito Federal.** Geografia, 11(21):97-109. 1986.
- NOVAES PINTO, M. **Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal.** Rev. Bras. Geogr. 49: 9-26.1987.
- NOVAES PINTO M. **Caracterização geomorfológica do Distrito Federal.** In: M. Novaes Pinto (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2a ed. p. 285-320. 1994.
- PINELLI, M. P.; BOAVENTURA, G. R.; MOURA, L. H. **A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama – Distrito Federal.** Quim. Nova, Vol. 33, No. 1, 97-103, 2010.
- PINHEIRO, E. A. R.; ARAÚJO, J. C.; FONTENELE, S. de B.; LOPES, J. W. B. **Calibração de turbidímetro e análise de confiabilidade das estimativas de sedimento suspenso em bacia semiárida.** 2013
- ROIG, H. L. **Modelagem e Integração de Dados Aplicados à Análise dos Processos Erosivos e de Transporte de Sedimentos – O Caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul – SP.** Tese de Doutorado em Geologia. Brasília: Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 2005.
- SANTOS, R. F.; UAGODA, R. E. **Análise da predição do balanço hídrico da bacia do ribeirão do Gama através do modelo SWAT.** In: Revista Brasileira de Geografia Física, Vol 10. No 3, 2017.

- SAMMORI, T. et al. **Suspended solids discharge from a small forested basin in the humid tropics.** Hydrological Processes, Vol. 18. 2004. p. 721 -738.
- SCHEIDEGGER, A. E. **Hydrogeomorphology.** In: Journal of Hydrology, n. 20. 1973. p. 193-215.
- SCHEFFER, E W O.; PINTO, M. L. C.; LUIZ, A. M. E. **Parâmetros de cor e turbidez relacionados aos usos do solo e à morfometria da bacia hidrografia do rio Taquaral.** PR: São Mateus do Sul, 2011.
- SEEGER, M.; ERREA, M.; BEGUERIA, S.; ARNAEZ, J.; MARTI, C.; GARCIA RUIZ, J. **Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrenees.** In: Journal of Hydrology, vol. 288. 2004. p. 299-311.
- STEEGEN, A. et al. **Sediment export by water from an agricultural catchment in the Loam Belt of central Belgium.** In: Geomorphology. vol. 33. 2000. p. 25 36.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2001.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **The Water Cycle.** Disponível em: <<http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>. Acessado em: 07/06/2015.
- VAN DIJK, P. M.; KWAAD, F. J. P. M. **Runoff generation and soil erosion in small agricultural catchments with loess-derived soils.** In: Hydrological Processes, vol. 10. p. 1049, 1059, 1996.
- VESTANA, L. REDIN. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem.** Florianópolis, 2008.
- WILLIAMNS, G. P. **Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers.** In: Journal of Hydrology, v.111. p.89-116, 1989.

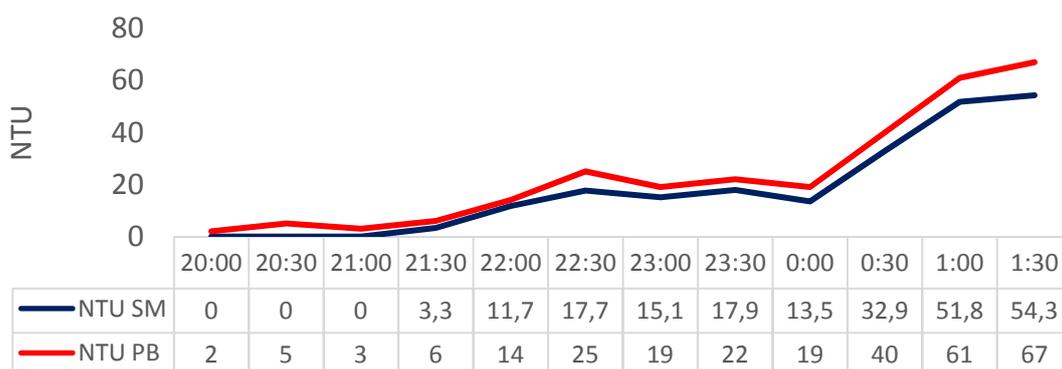
## 6. Anexos

### 6.1 Turbidez da Sonda Multiparamétrica e Bancada

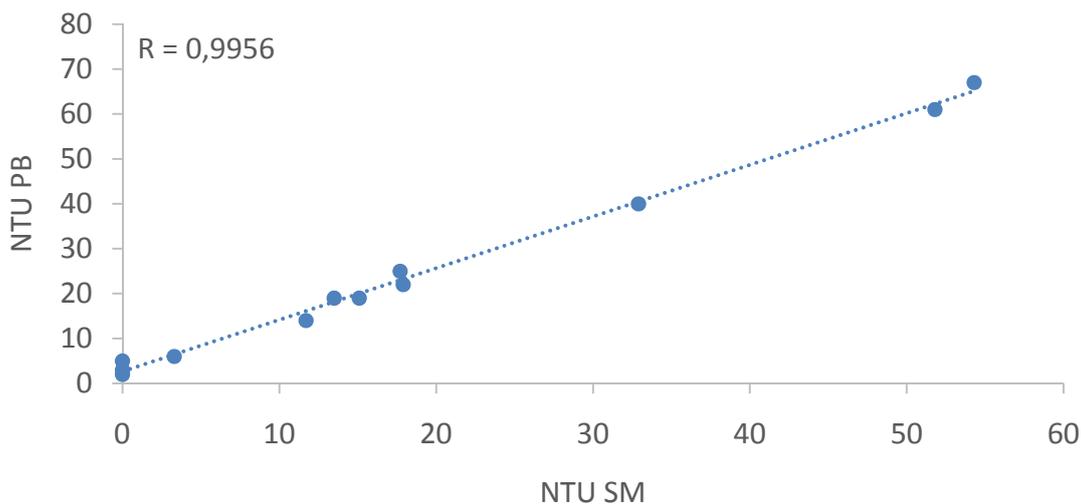
Dentre os objetivos do trabalho, consistiu-se em mensurar a turbidez por dois métodos, sonda multiparamétrica e o turbidímetro de bancada do Laboratório de Geoquímica da UnB.

#### 6.1.1 Evento 1

No primeiro evento, houve bastante proximidade entre as informações levantadas nas duas fontes de coleta. A sondamultiparamétrica e o turbidímetro de bancada correlacionados geral fator de  $R = 0,9956$ . A altíssima correlação justifica-se por ambos estarem calibrados e com pouco tempo de uso.



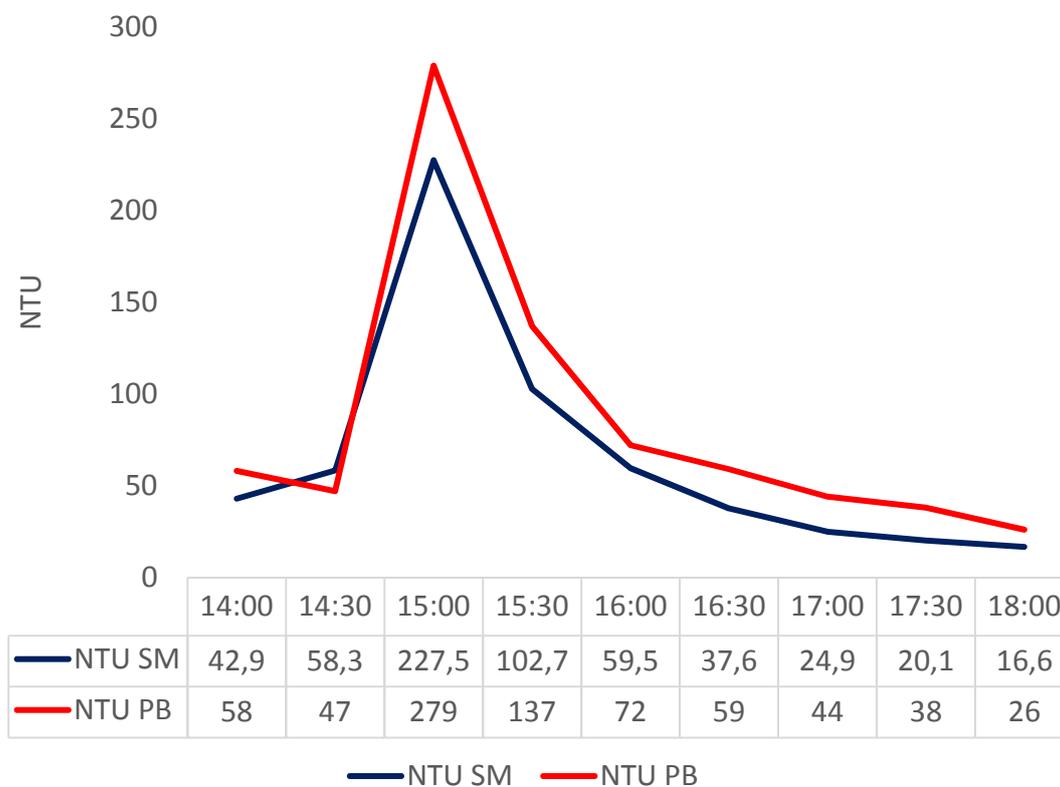
**Figura 27.** Turbidez do evento 1 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



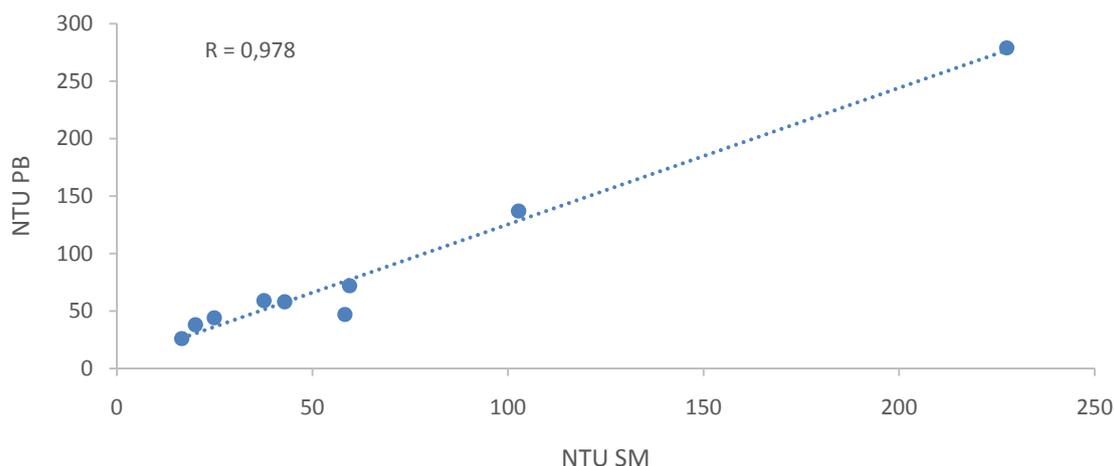
**Figura 28.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 1.

### 6.1.2 Evento 2

O segundo evento, inicia com uma proximidade nos parâmetros, após pouco tempo, o NTU PB agrega maiores valores em relação a sonda multiparamétrica.



**Figura 29.** Turbidez do evento 2 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.

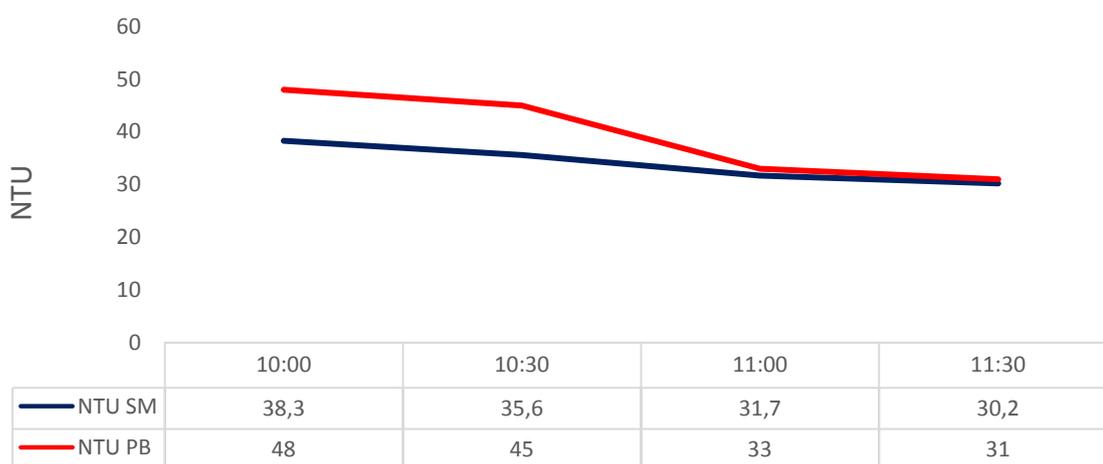


**Figura 30.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 2.

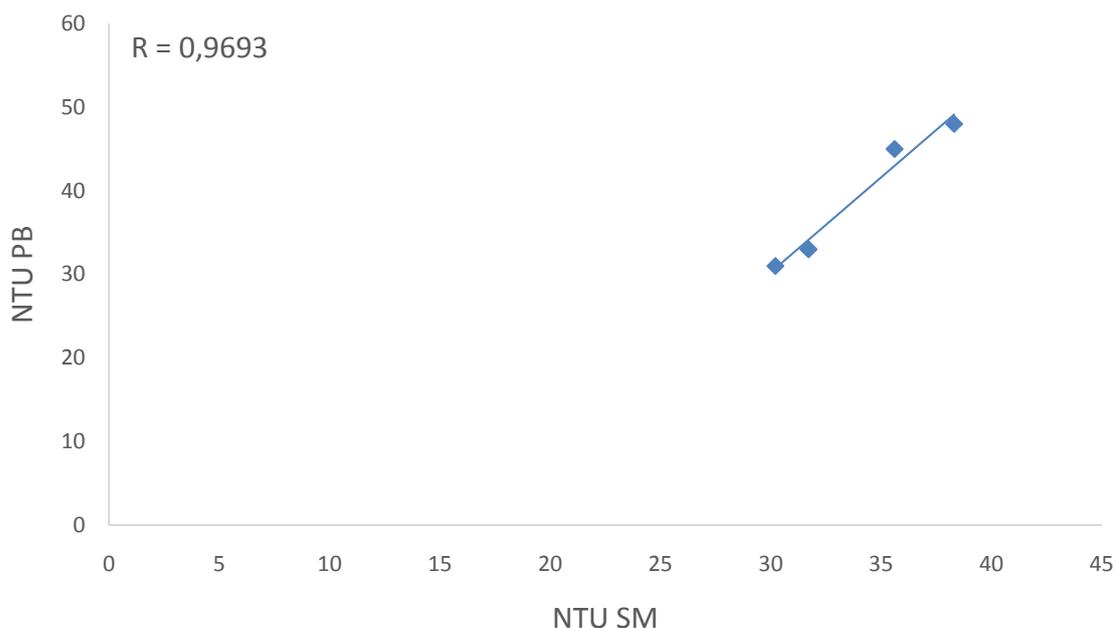
### 6.1.3 Evento 3

No terceiro evento, observa-se os maiores valores iniciais para NTU PB, enquanto as duas últimas coletas registram extrema proximidade. Obteve-se o  $R=0,9693$  com bastante correlação entre os dois métodos de levantamento. Contudo, vale ressaltar que o evento três possuiu um precoce interrompimento por parte do amostrador automático. Registrando a coleta apenas de 4 garrafas.

A pequena quantidade de amostras agregou elevada correlação. Não podemos afirmar que no decorrer do evento (alta e baixa), a correlação se manteria elevada



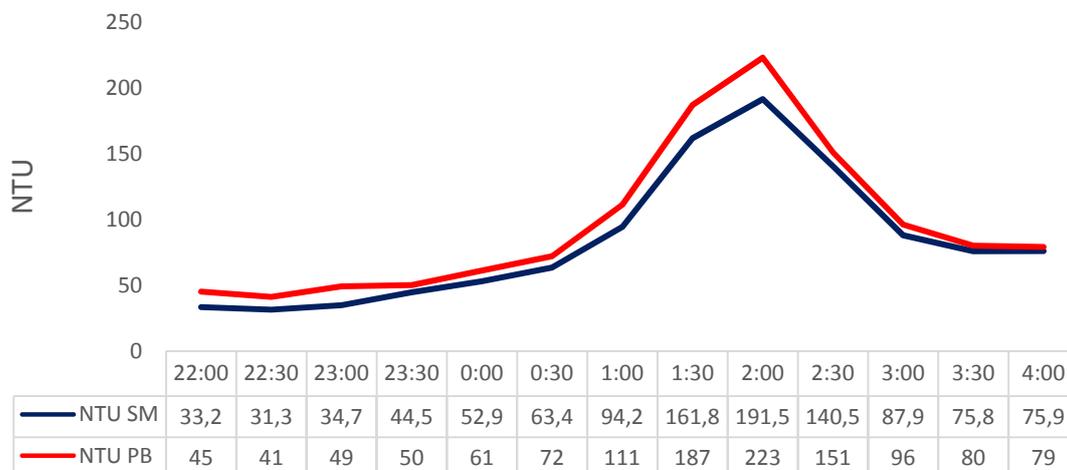
**Figura 31.** Turbidez do evento 3 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



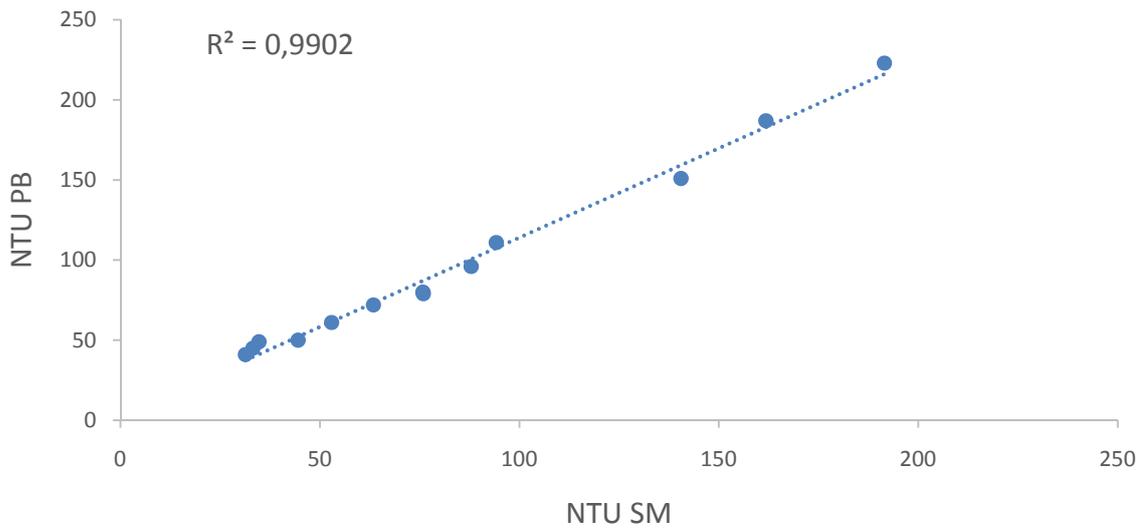
**Figura 32.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 3.

#### 6.1.4 Evento 4

Este evento teve por sua maioria valores próximos de turbidez, por um pequeno intervalo, os dados de NTU PB mostraram-se maior. Evento registrando 13 coletas. De toda amostragem, o quarto evento foi marcado pela segunda maior correlação e seu  $R^2 = 0,9902$ . O amostrador automático operou durante os momentos de subida e descida da cota, a elevada correlação dos dados de NTU se justificam pela recente calibração da sonda multiparamétrica



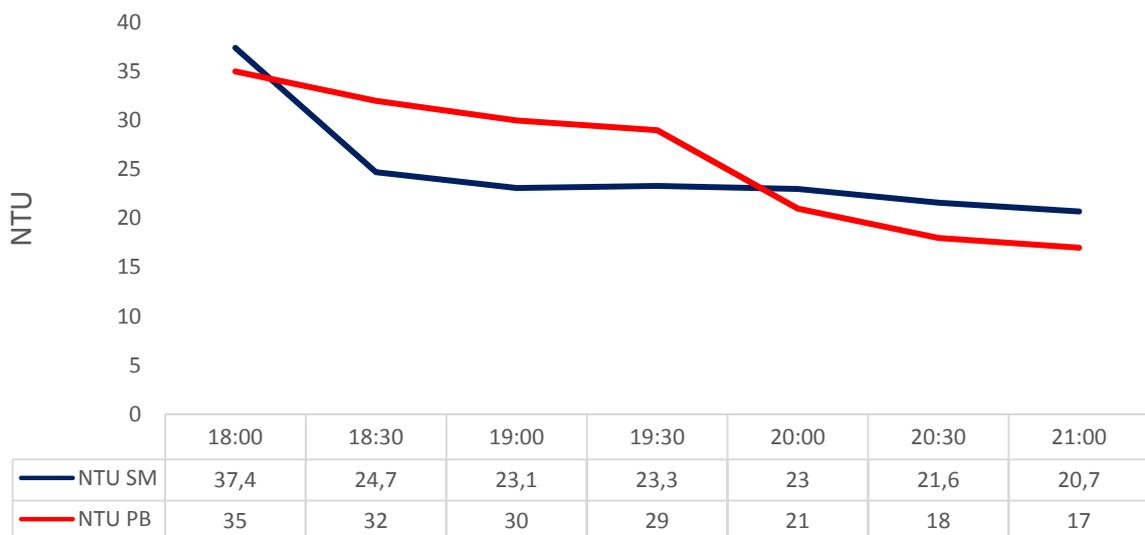
**Figura 33.** Turbidez do evento 4 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



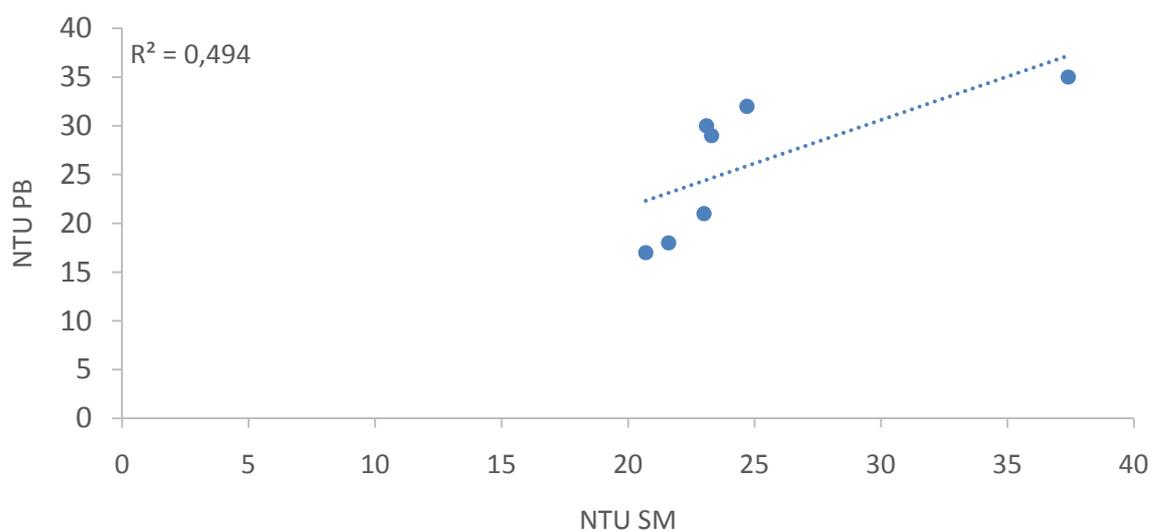
**Figura 34.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 4.

### 6.1.5 Evento 5

O quinto evento, com início às 18 horas, variou pouco na turbidez entre os medidores no intervalo de três horas. No início do evento, o NTU SM registrou maior valor, depois prevaleceu valores próximos. A menor correlação entre a sonda e o turbidímetro aparece neste evento, o  $R = 0,494$  tem o menor valor de todos os eventos da amostragem, devido ao tempo superior de duas semanas sem calibrar a sonda.



**Figura 35.** Turbidez do evento 5 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



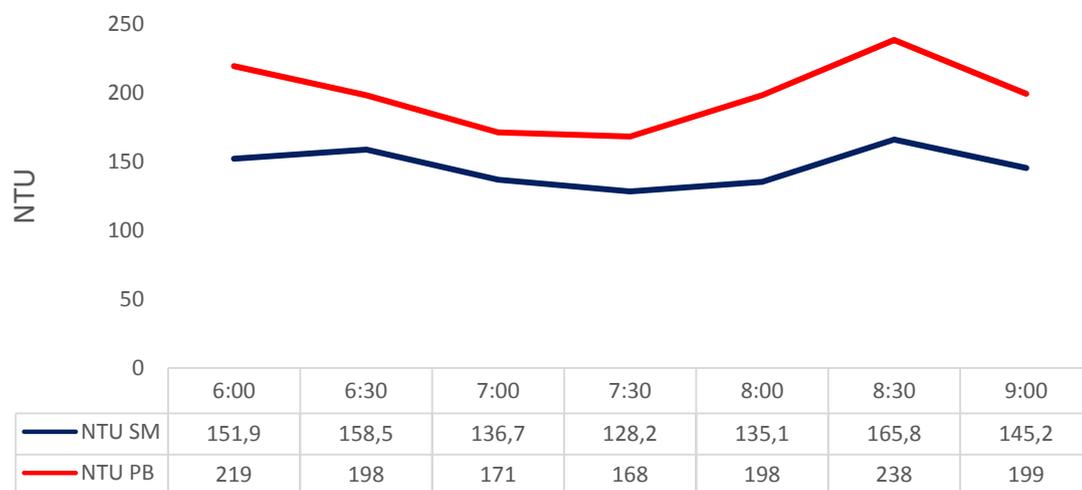
**Figura 36.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 5.

### 6.1.6 Evento 6

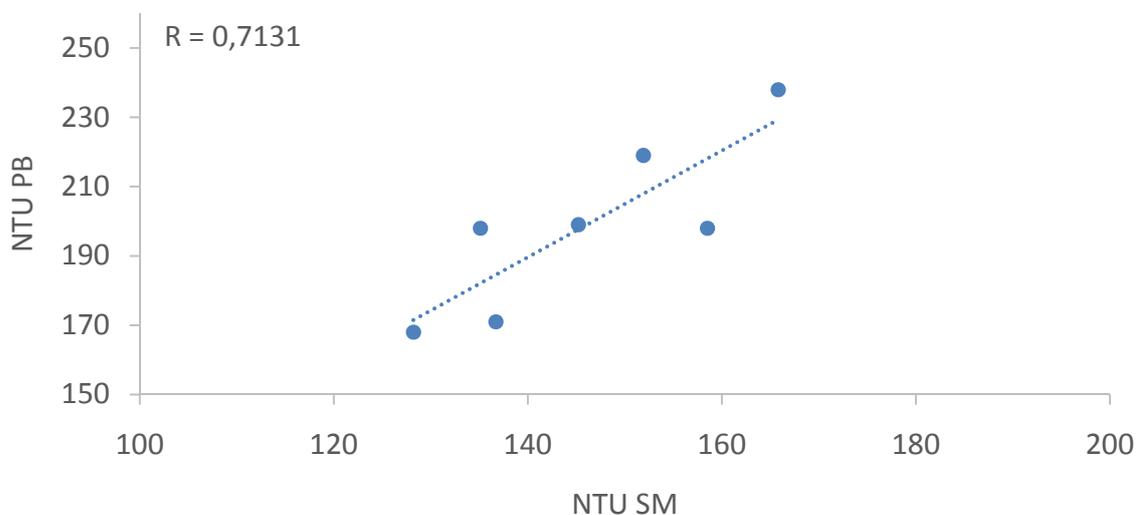
No evento de maior intensidade, após o estrago físico estrutural na estação, foi substituída a sonda multiparamétrica por uma de mesmo modelo, graças ao apoio da ANA.

A danificação impediu a coleta de amostras pontuais no pico do evento, fator de extrema importância para a avaliação da comparação entre os diferentes métodos de medição em NTU de grande valor.

A correlação da turbidez das amostras pontuais em bancada e na sonda multiparamétrica ainda apresentam alto valor de  $R = 0,7131$ .



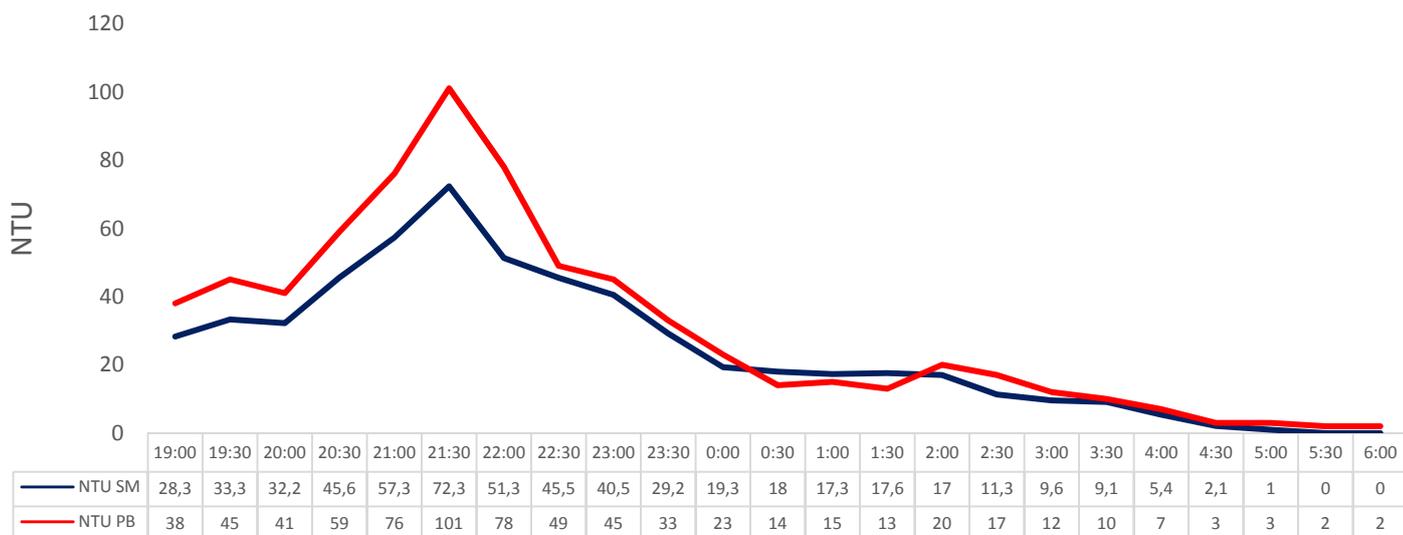
**Figura 37.** Turbidez do evento 6 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



**Figura 38.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 6.

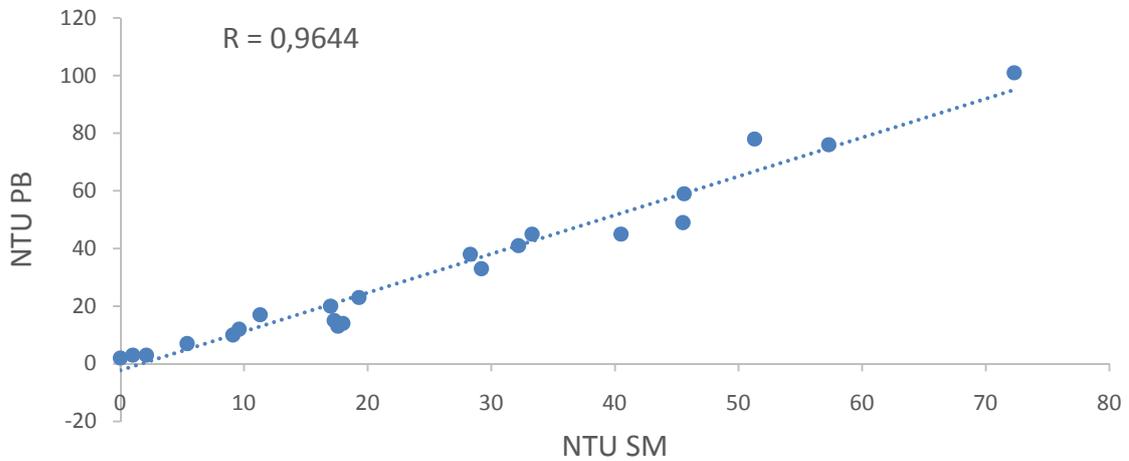
### 6.1.7 Evento 7

No sétimo evento, o parâmetro de bancada apresentou valores superiores a 50 NTU de diferença entre a sonda multiparamétrica na subida do evento, no pico e após o pico. Na baixa do evento, poucas coletas após o pico, já percebe-se a proximidade entre as duas fontes de levantamento de dados.



**Figura 39.** Turbidez do evento 7 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.

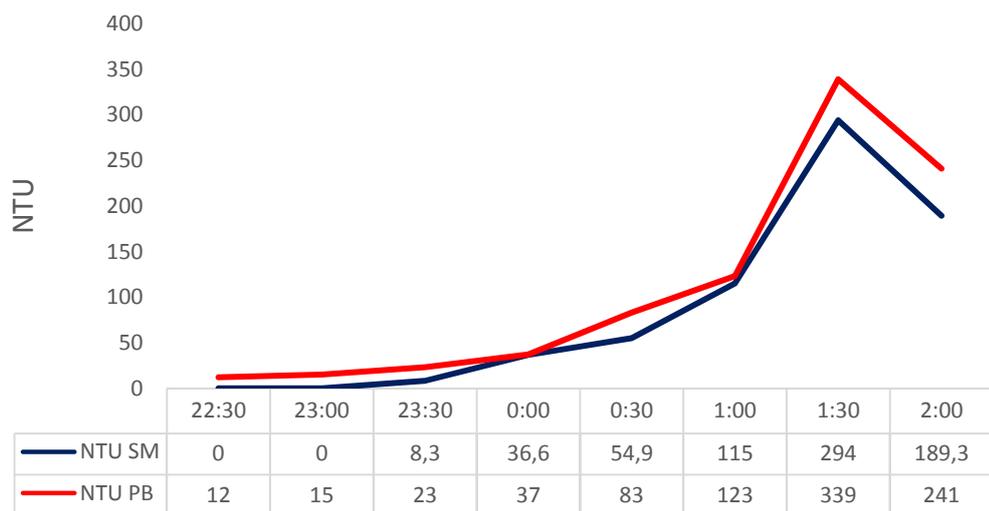
A alta correlação entre os dois métodos de levantamento no evento 7 gerou  $R = 0,9644$ .



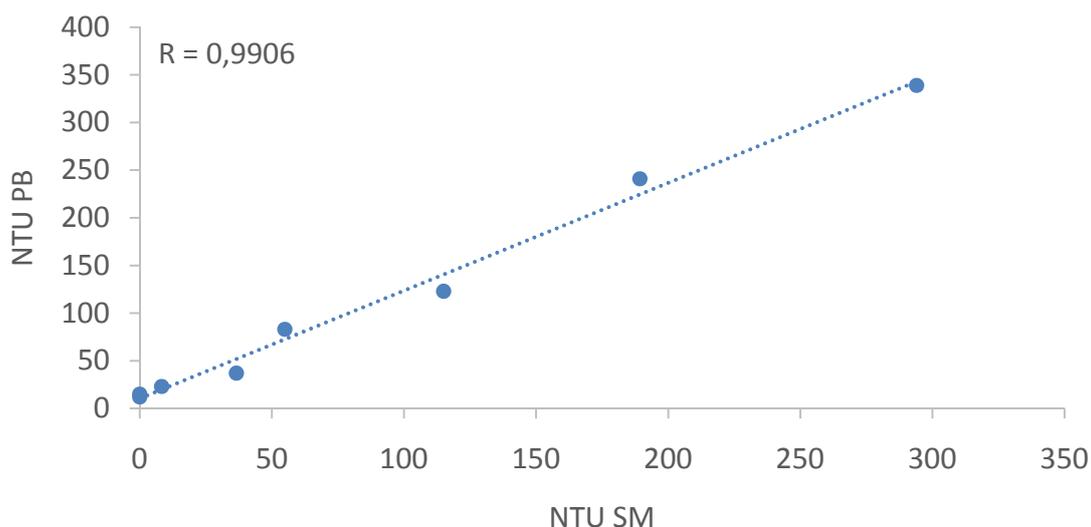
**Figura40.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 7.

### 6.1.8 Evento 8

O oitavo evento possui a melhor correlação entre as variáveis estudadas, em 8 amostras pontuais coletados. A sonda multiparamétrica havia sido recentemente calibrada e o fator  $R = 0,9906$ .



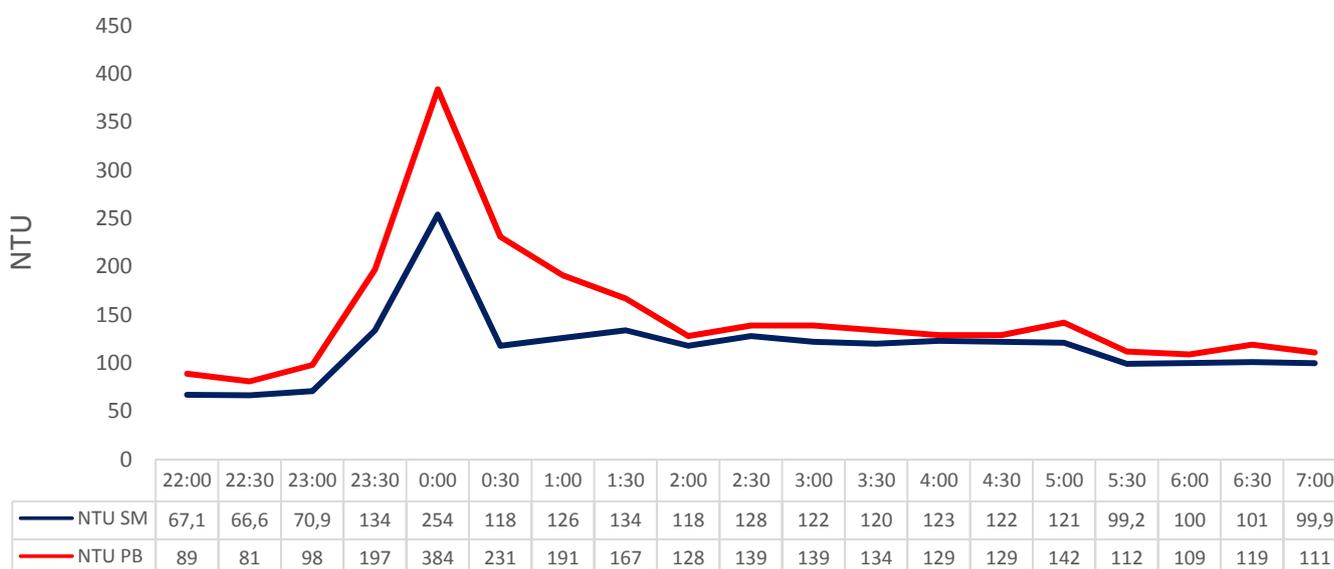
**Figura 41.** Turbidez do evento 8 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



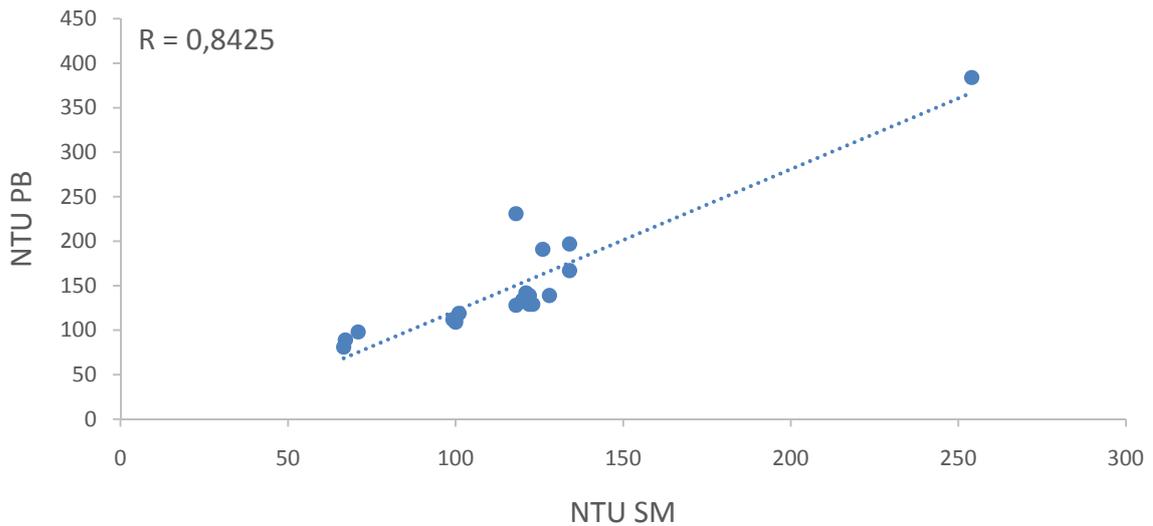
**Figura 42.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 8.

### 6.1.9 Evento 9

O nono evento contém maiores valores de NTU para o turbidímetro de bancada, que prevalece superior a todos os outros demais valores mensurados. O fator  $R = 0,8425$  se reduziu em relação aos eventos anteriores.



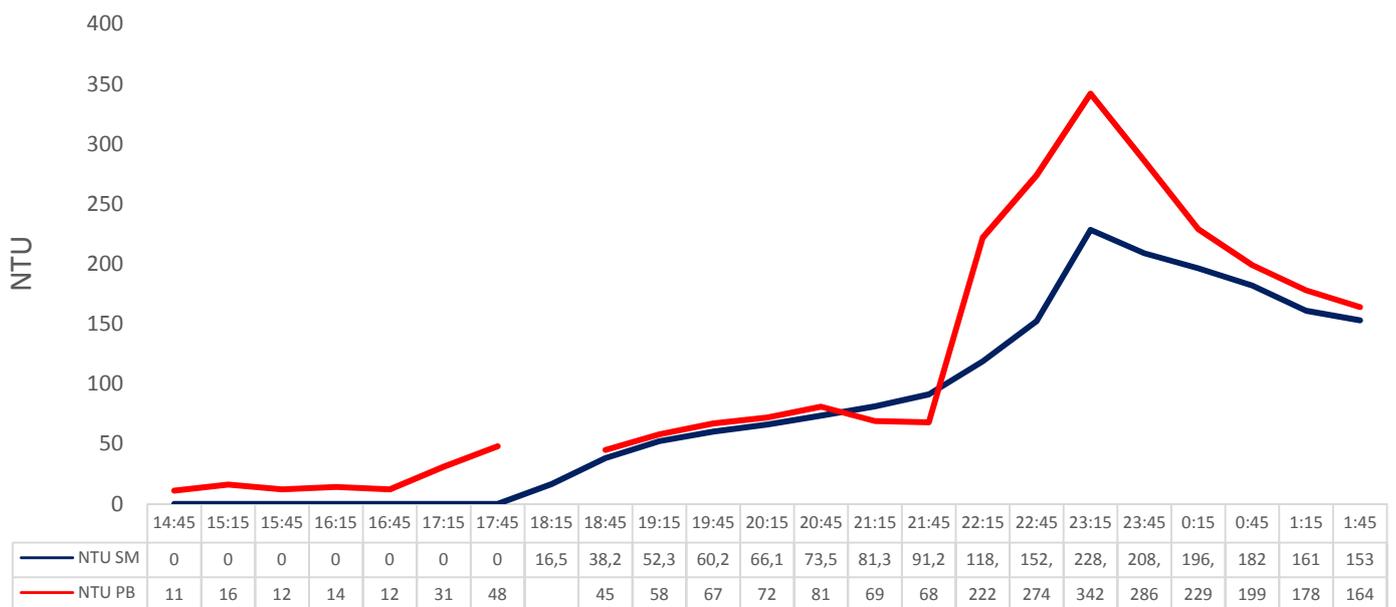
**Figura 43.** Turbidez do evento 9 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



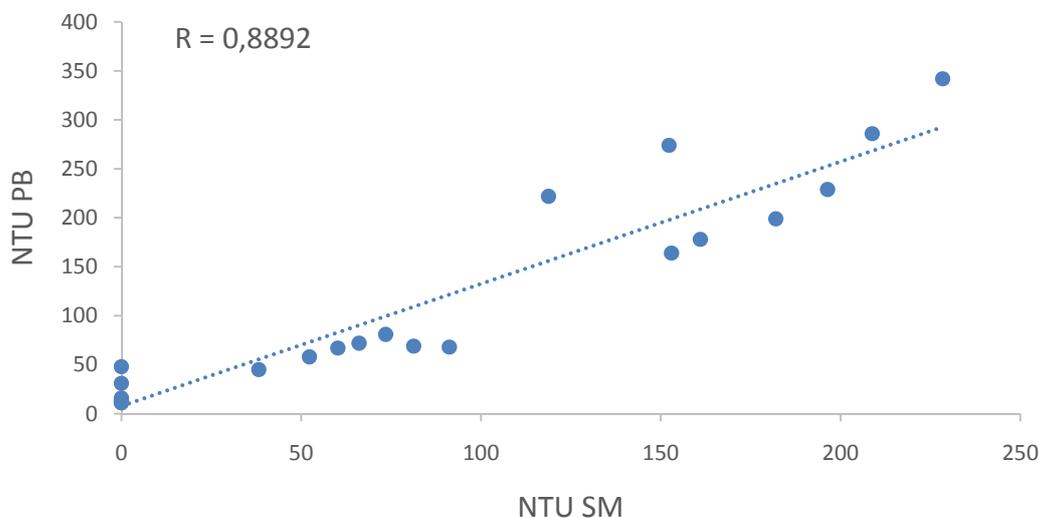
**Figura 44.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 9.

### 6.1.10 Evento 10

No décimo primeiro evento, o amostrador automático falhou na coleta da 8ª garrafa. O turbidímetro de bancada detectou a ascensão da turbidez primeiramente e permaneceu informando valores superiores, atingindo diferença de 120 NTU. Contudo, a correlação entre as variáveis permanece em melhorando, subindo o valor de  $R = 0,8892$ .



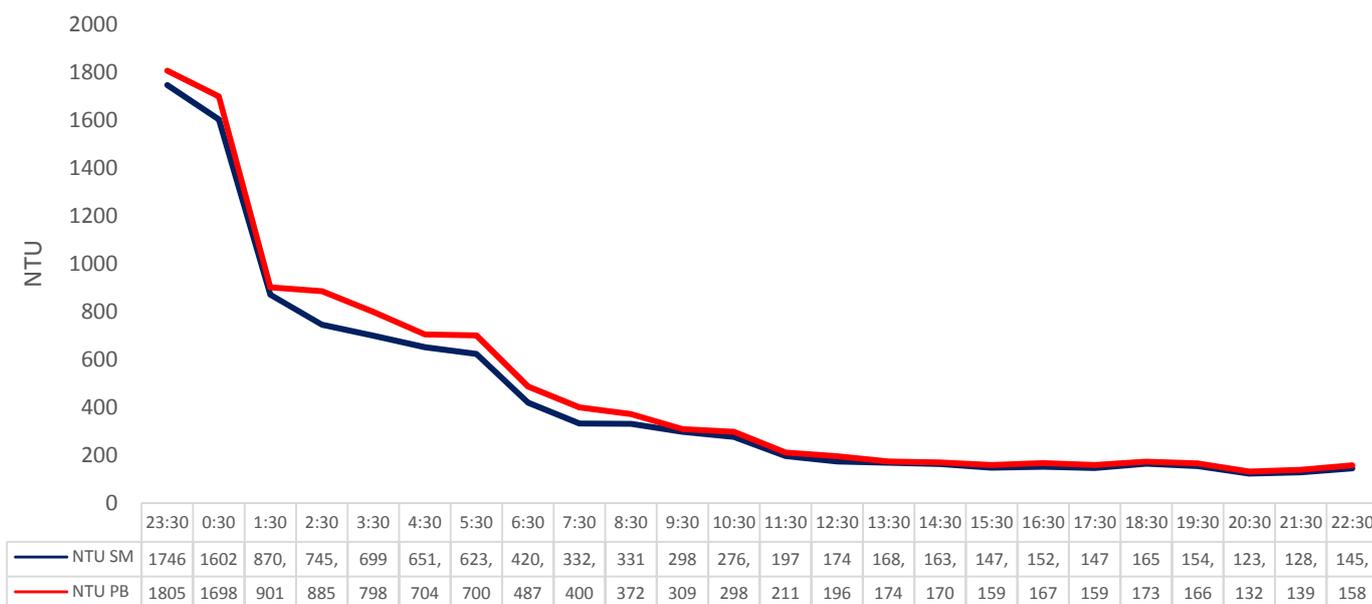
**Figura 47.** Turbidez do evento 11 levantada por diferentes métodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



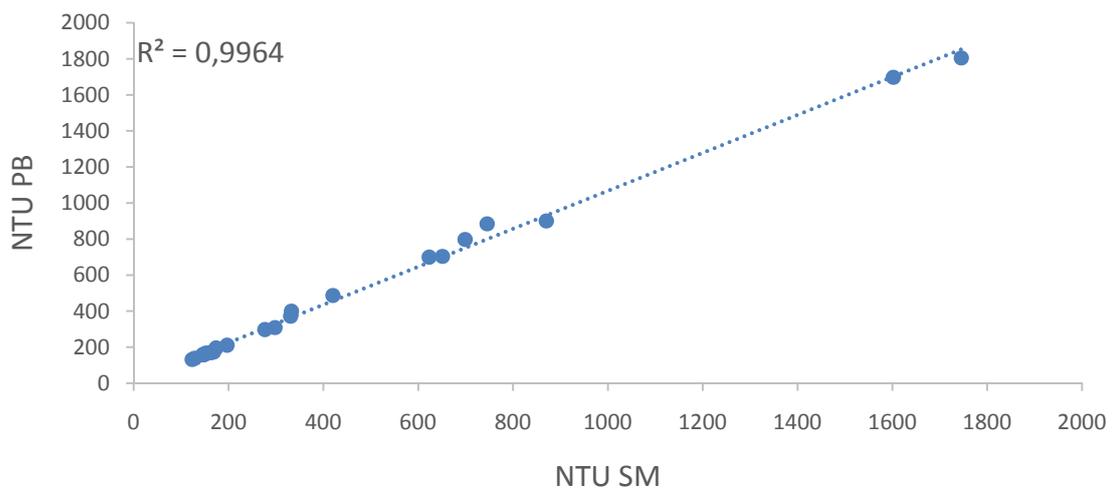
**Figura 48.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 11.

### 6.1.11 Evento 11

No último evento da amostragem, os valores de carga sólida suspensa e turbidez de bancada só foram possíveis de serem levantados na baixa do evento. Este evento, caracterizou-se por ser a segunda maior cheia da estação. A grande proximidade dos valores de turbidez nas 24 garrafas coletadas elevou a correlação para  $R = 0,9964$ .



**Figura 49.** Turbidez do evento 12 levantada por diferentes metodos: sonda multiparamétrica e turbidímetro de bancada.



**Figura 50.** Correlação entre a turbidez da sonda e de bancada do evento 12.