CRIAÇÃO DE ÍNDICES MULTIMÉTRICOS (MMI) UTILIZANDO PEIXES DE RIACHOS DO CERRADO BRASILEIRO

Msc. Débora Reis de Carvalho

Doutoranda em Ecologia Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu

UFLA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Ecological Indicators 77 (2017) 386–396

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind

Original articles

A fish-based multimetric index for Brazilian savanna streams

Débora Reis de Carvalho[a,*], Cecília Gontijo Leal[a,b], Nara Tadini Junqueira[a], Míriam Aparecida de Castro[a], Daniela Cristina Fagundes[a], Carlos Bernardo Mascarenhas Alves[c], Robert M. Hughes[d], Paulo Santos Pompeu[a]

[a] Laboratório de Ecologia de Peixes, Departamento de Biologia/Setor Ecologia, Universidade Federal de Lavras, 37200-000, Lavras, MG, Brazil
[b] Museu Paraense Emílio Goeldi, 66077-830, Belém, PA, Brazil
[c] Laboratório Nuvelhas, Projeto Manuelzão, Universidade Federal de Minas Gerais, 30161-970, Belo Horizonte, MG, Brazil
[d] Amnis Opes Institute and Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University, 104 Nash Hall, 97331-4501 Corvallis, OR, USA

"Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica para avaliação de qualidade ambiental e restauração de habitats em áreas de soltura de alevinos"

Projeto interinstitucional, desenvolvido em conjunto por equipes:

Universidade Federal de Lavras,

Universidade Federal de Minas Gerais,

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais,

Cemig (Programa Peixe Vivo).

<u>Objetivo do projeto: Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica (IBI) para a região Neotropical.</u>

Paulo Pompeu

UFLA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Nara Junqueira

2009

Cecília G. Leal

2011

Daniela Fagundes

2013

Míriam A. Castro

2010

Débora R. Carvalho

2012

Robert Hughes

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

Carlos B. M. Alves

UFMG UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Introdução

- O que é integridade biótica?
  - Como avaliar a integridade biótica?
    - Qual o objetivo da criação de índices de Integridade biótica?
      - Quais critérios importantes para escolha dos bioindicadores?

- Estudo de caso:

Ecological Indicators 77 (2017) 386–396

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind

Original articles

A fish-based multimetric index for Brazilian savanna streams

Débora Reis de Carvalho[a,*], Cecília Gontijo Leal[a,b], Nara Tadini Junqueira[a], Míriam Aparecida de Castro[a], Daniela Cristina Fagundes[a], Carlos Bernardo Mascarenhas Alves[c], Robert M. Hughes[d], Paulo Santos Pompeu[a]

[a] Laboratório de Ecologia de Peixes, Departamento de Biologia/Setor Ecologia, Universidade Federal de Lavras, 37200-000, Lavras, MG, Brazil
[b] Museu Paraense Emílio Goeldi, 66077-830, Belém, PA, Brazil
[c] Laboratório Nuvelhas, Projeto Manuelzão, Universidade Federal de Minas Gerais, 30161-970, Belo Horizonte, MG, Brazil
[d] Amnis Opes Institute and Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University, 104 Nash Hall, 97331-4501 Corvallis, OR, USA

Integridade Biólogica

"Habilidade de sustentar e manter uma comunidade de organismos balanceada e integrada, com composição de espécies, diversidade e organição funcional **comparável** aos **ambientes naturais** da **região**".

Karr & Dudley, 1981

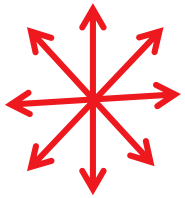
Integridade
Física
Integridade
Biológica

Habitat Físico

- Aspectos estruturais que compoem um curso d'água e influenciam a biota aquática

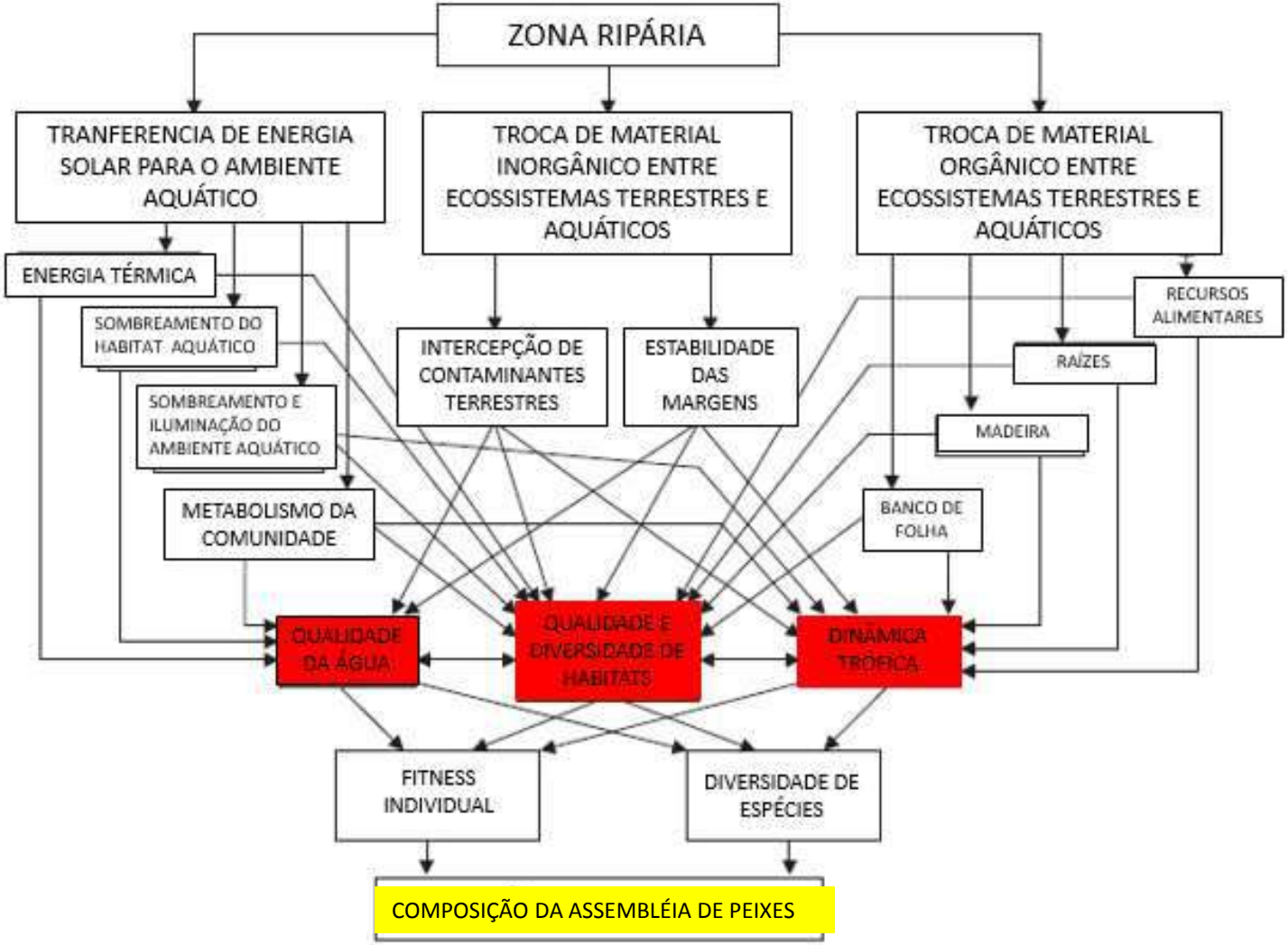
Complexidade Estrutural

Integridade Física



Diversidade Biológica

Padrões biogeográficos



PUSEY & ARTHINGTON (2003)

Como avaliar a integridade biótica de um riacho?

Riqueza de espécies?

DISTÚRBIO INTERMEDIÁRIO

Níveis moderados de degradação podem influenciar positivamente a riqueza e diversidade (suportam tanto espécies sensíveis quanto espécies tolerantes a degradação).

Qual o objetivo da criação de Índices?

"Valor numérico derivado de medidas que expressem impacto/condição do ambiente"

- Medida, índice, modelo

- Critérios para seleção:
  - Útil
  - Objetivo
  - Reprodutível
  - Representativo
  - Descritivo de mudanças e tendências

James R. Karr

ASSESSMENT OF BIOTIC INTEGRITY USING FISH COMMUNITIES

Fisheries, Vol. 6, No. 6

November - December 1981

Monitoramento Qualidade da Água

Parâmetros físicos e químicos: incongruência com integridade biótica -> tomadas de decisão

Qualidade para biota
X
Qualidade para sociedade

Falta de consenso na literatura

Alterações de curto prazo

Alterações da estrutura física

Índice de Integridade Biótica

Pressupostos

- ✓Amostra representativa da comunidade
- ✓Amostragem em trecho representativo do curso d'água incluindo os principais tipos de habitat (piscinas, corredeiras, rápidos etc)
- ✓Amostragem representativa da zona geográfica
- ✓Período menos variável do ano
  - ✓Ideal: várias épocas do ano

Assegurar que as variações encontradas são devido aos impactos e não a variações naturais.

Índice de Integridade Biótica

Classificação

Cada métrica "responde" de forma diferente a integridade ambiental : - 0 +

Pontuação do Índice	Classes
(-) = 1 (0) = 3 (+) = 5	Excelente
	Bom
	Médio
(-) = 0 (+)= 10	Pobre
	Muito pobre

Excelente

- Comparável a situações sem influência humana, presença das espécies esperadas para a região, estrutura trófica balanceada.

Bom

- Riqueza de espécies abaixo do esperado (intolerantes), abundância e estrutura trófica com sinais de estresse.

Médio

- Sinais de deterioração: poucas espécies intolerantes, maior proporção de onívoros.

Pobre

- Predomínio de onívoros, espécies tolerantes, generalistas de habitat, híbridos, indivíduos doentes etc.

Muito pobre

- Poucas espécies, principalmente exóticas, indivíduos doentes muito frequentes etc.

Sem peixe

- Sem registro de peixes após sucessivas amostragens.

Qual grupo biológico escolher para medir a Integridade Biótica?

Sensibilidade a mudanças de fatores ambientais

Peixes como Bioindicadores

✓ **Sensibilidade** a mudanças de fatores ambientais

VANTAGENS

- ➢ História de vida;
- ➢ Diversos níveis tróficos;
- ➢ Identificação relativamente fácil;
- ➢ Bem distribuídos, até em cursos d'água de pequeno porte e degradados;
- ➢ Respondem a agentes tóxicos e estresse;
- ➢ Popularidade: conexão com a sociedade e tomadores de decisão.

DESVANTAGENS

- ➢ Amostragem seletiva
- ➢ Mobilidade
- ➢ Sazonalidade

- Os peixes têm sido utilizados como indicadores das condições ambientais por meio de <u>inventários biológicos, índices de integridade biótica e programas de biomonitoramento ambiental.</u>

- Desde o trabalho de Karr (1981), vem aumentando o interesse por determinar espécies que sejam <u>boas preditoras das variações ambientais.</u>

Indicadoras de boa qualidade (intolerantes)

Indicadoras de qualidade ruim (tolerantes)

Estudo de caso:

Ecological Indicators 77 (2017) 386–396

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind

Original articles

A fish-based multimetric index for Brazilian savanna streams

Débora Reis de Carvalho[a,*], Cecília Gontijo Leal[a,b], Nara Tadini Junqueira[a], Míriam Aparecida de Castro[a], Daniela Cristina Fagundes[a], Carlos Bernardo Mascarenhas Alves[c], Robert M. Hughes[d], Paulo Santos Pompeu[a]

[a] Laboratório de Ecologia de Peixes, Departamento de Biologia/Setor Ecologia, Universidade Federal de Lavras, 37200-000, Lavras, MG, Brazil
[b] Museu Paraense Emílio Goeldi, 66077-830, Belém, PA, Brazil
[c] Laboratório Nuvelhas, Projeto Manuelzão, Universidade Federal de Minas Gerais, 30161-970, Belo Horizonte, MG, Brazil
[d] Amnis Opes Institute and Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University, 104 Nash Hall, 97331-4501 Corvallis, OR, USA

- Os riachos são importantes componentes da paisagem do cerrado brasileiro e **abrigam grande biodiversidade aquática**.
- Intensas atividades antrópicas

Pastagens

Plantação de milho

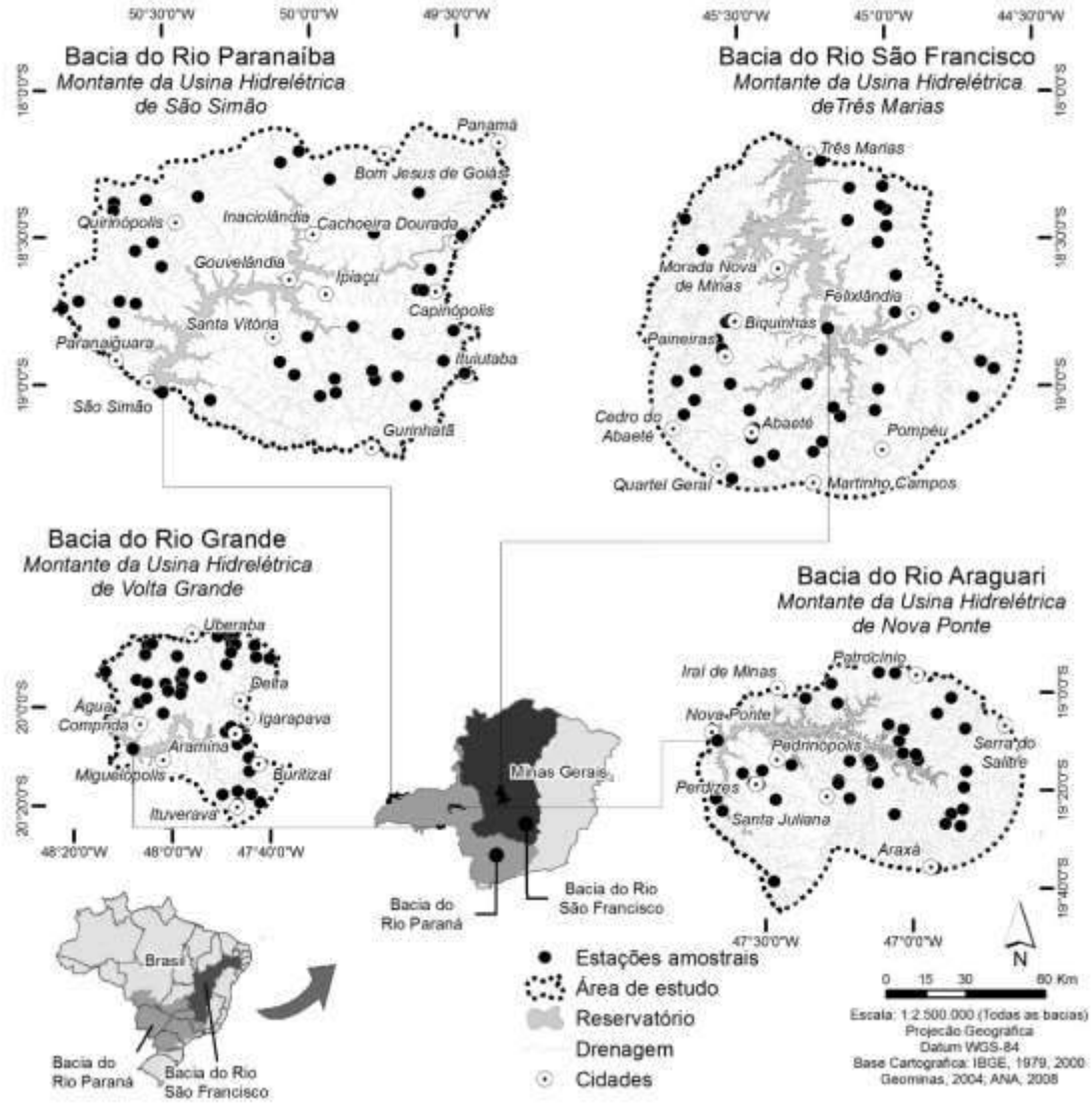
Plantação de soja

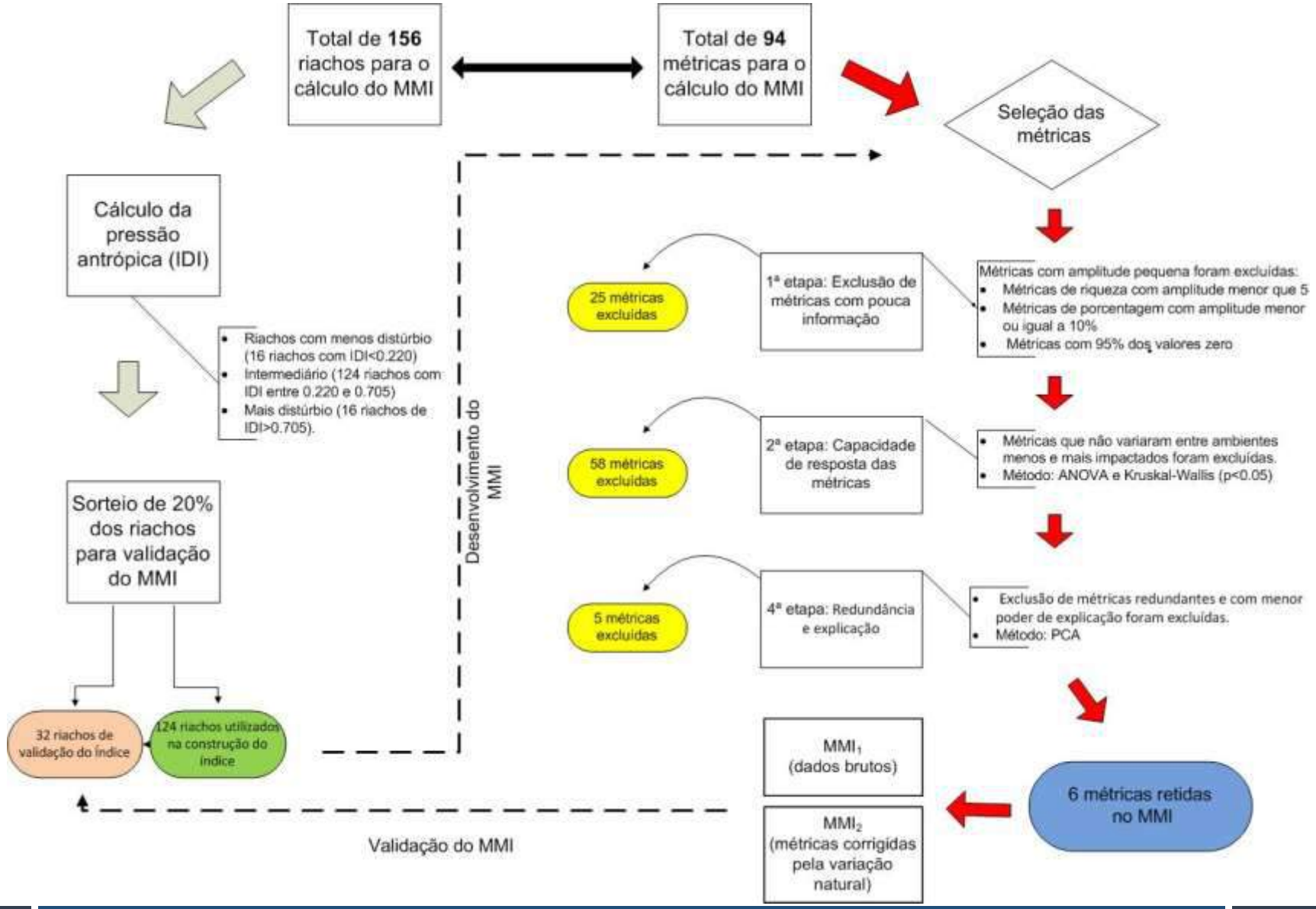
Cana de açúcar

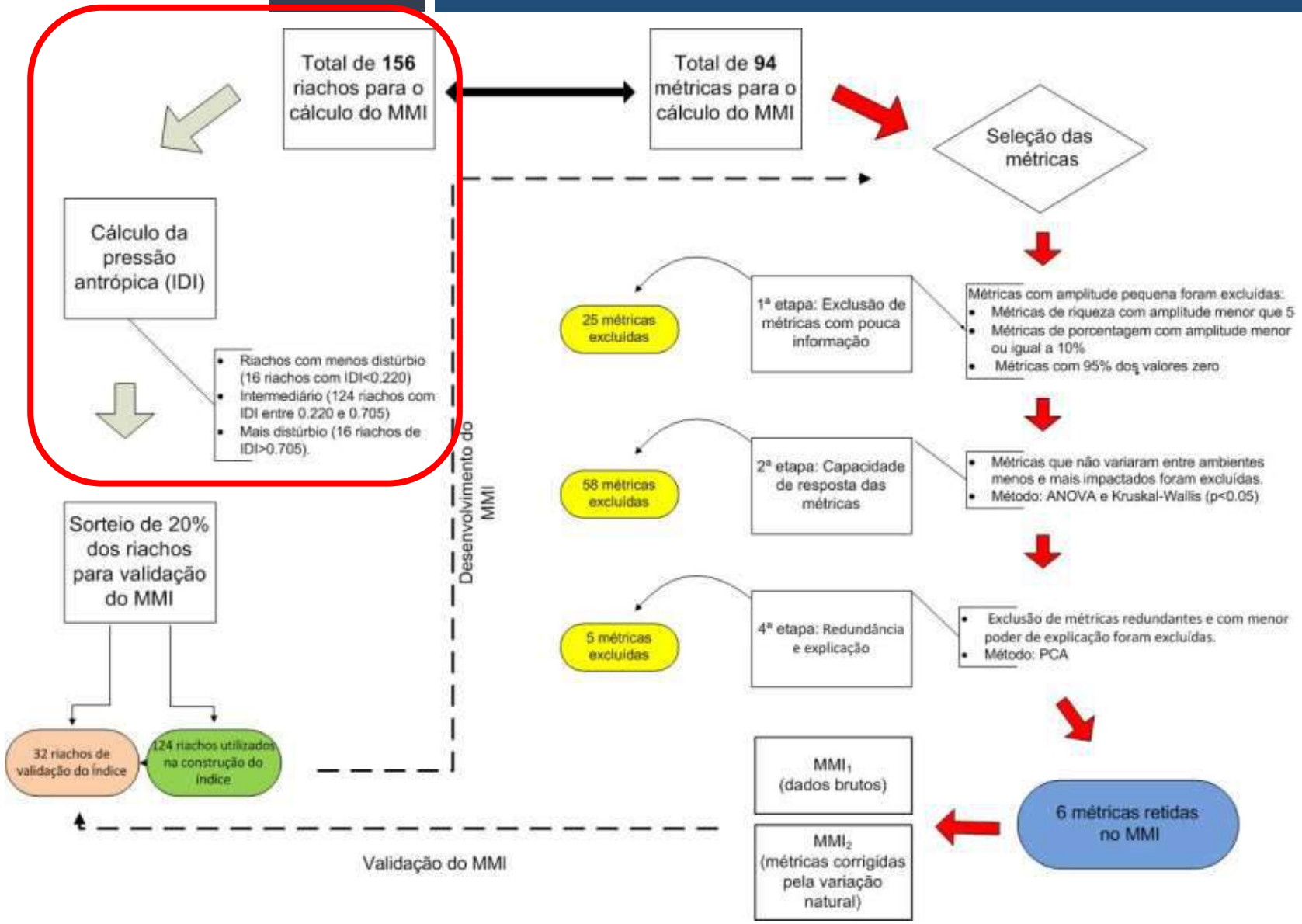
Bacia do São Francisco

156 riachos

Bacia do Paraná


Bacia do Rio Paranaiba
Montante da Usina Hidrelétrica de São Simão
Panamá
Bom Jesus de Goiás
Quirinópolis
Inaciolândia
Cachoeira Dourada
Gouvelândia
Ipiaçu
Capinópolis
Santa Vitória
Paranaiguara
Ituiutaba
São Simão
Guiniland
Bacia do Rio São Francisco
Montante da Usina Hidrelétrica deTrés Marias
Três Marias
Morada Nova de Minas
Felixlândia
Biquinhas
Paineiras
Cedro do Abaeté
Abaeté
Pompéu
Quartel Geral
Martinho Campos
Bacia do Rio Grande
Montante da Usina Hidrelétrica de Volta Grande
Uberaba
Bella
Igarapava
Agua Comprida
Aramina
Miguelópolis
Buritizal
Ituverava
Bacia do Rio Araguari
Montante da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte
Patrocínio
Iraí de Minas
Nova Ponte
Pedrinópolis
Serra do Salitre
Perdizes
Santa Juliana
Araxá
Minas Gerais
Bacia do Rio Paraná
Bacia do Rio São Francisco
Brasil
Bacia do Rio Paraná
Bacia do Rio São Francisco
Estações amostrais
Área de estudo
Reservatório
Drenagem
Cidades
0 15 30 60 Km
Escala: 1:2.500.000 (Todas as bacias)
Projeção Geografica
Datum WGS-84
Base Cartografica: IBGE, 1979, 2000
Geominas, 2004; ANA, 2008


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluidas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluidas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluidas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluidas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
6 métricas retidas no MMI
Validação do MMI

Cálculo LDI, CDI e IDI

Índice de Distúrbio Local

Índice de Distúrbio na Bacia

Índice de Distúrbio Integrado

Ecological Indicators 25 (2013) 45–57

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind

Original Articles

Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness

Raphael Ligeiro[a,*], Robert M. Hughes[b], Philip R. Kaufmann[c], Diego R. Macedo[a,d], Kele R. Firmiano[a], Wander R. Ferreira[a], Déborah Oliveira[a], Adriano S. Melo[e], Marcos Callisto[a]

[a] Laboratório de Ecologia de Bentos, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, CP 486, CEP 30161-970 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

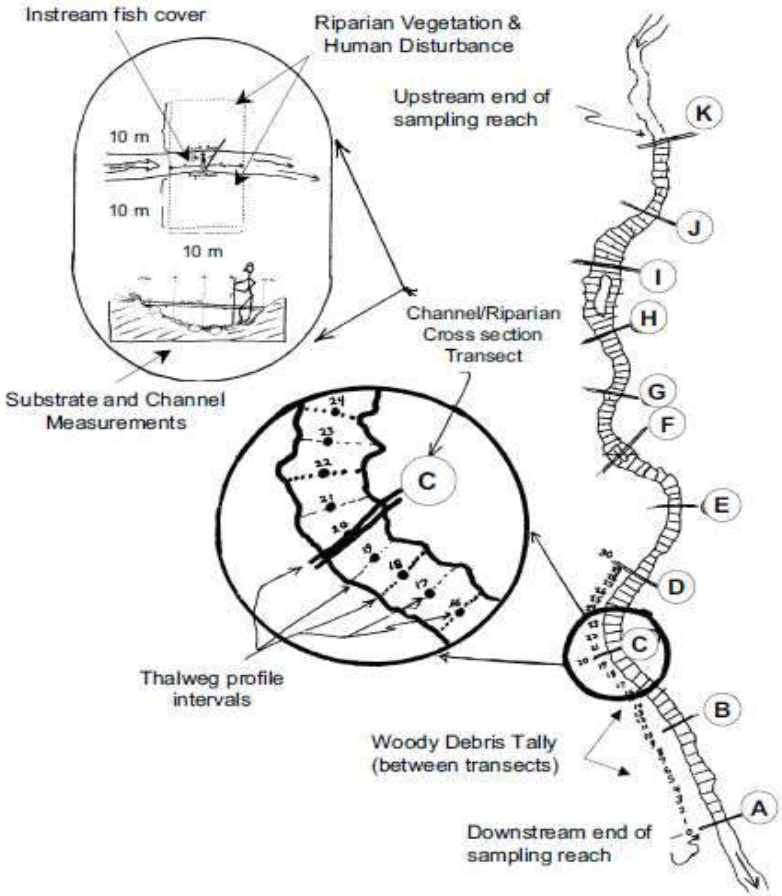
[b] Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University and Amnis Opes Institute, Nash Hall, 97331-4501 Corvallis, OR, USA

[c] U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research & Development, National Health & Environmental Effects Lab., Western Ecology Division, 200 SW 35 Street, 97333 Corvallis, OR, USA

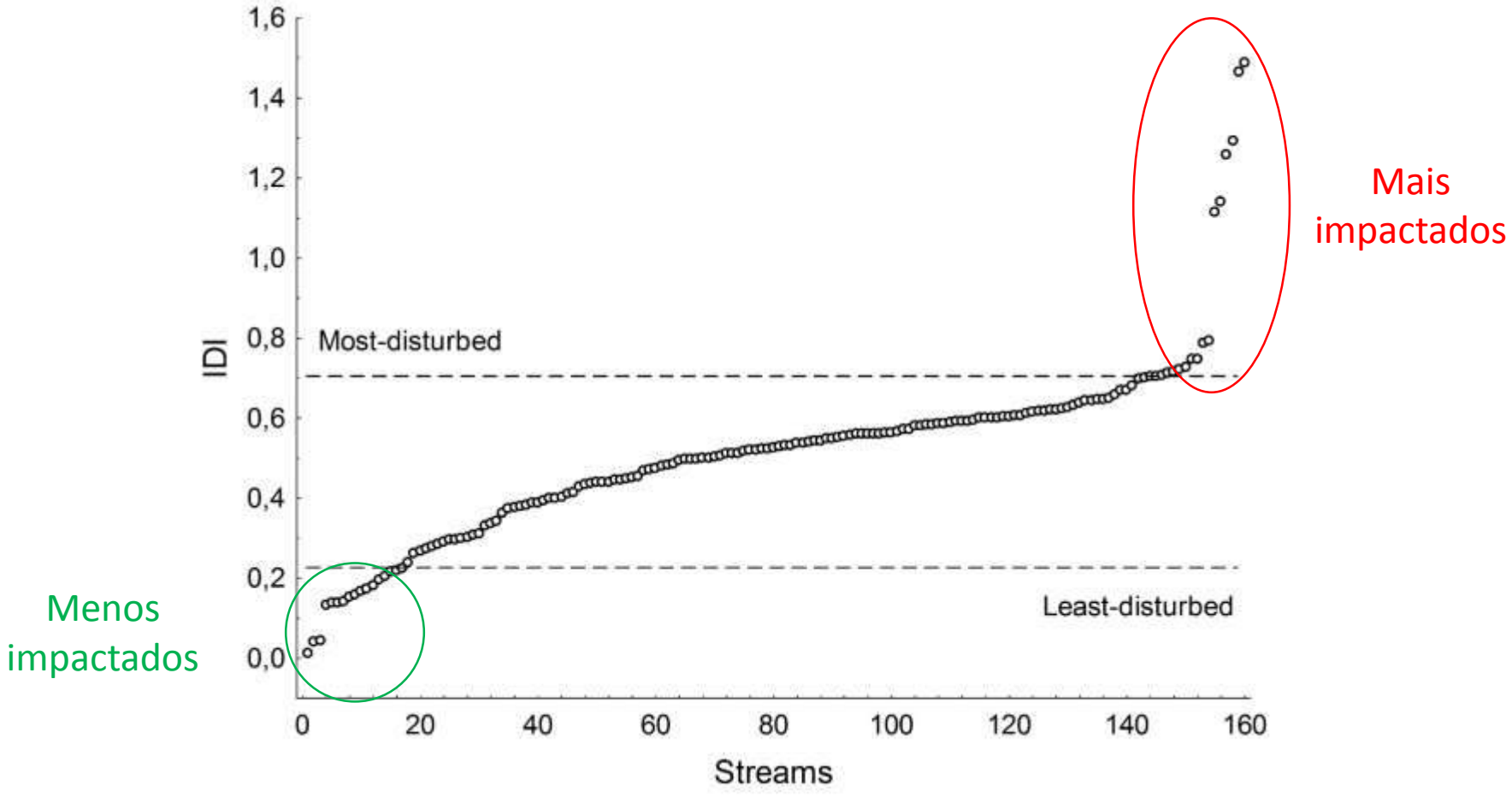
[d] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rua Oliveira 523, CEP 30310-150 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

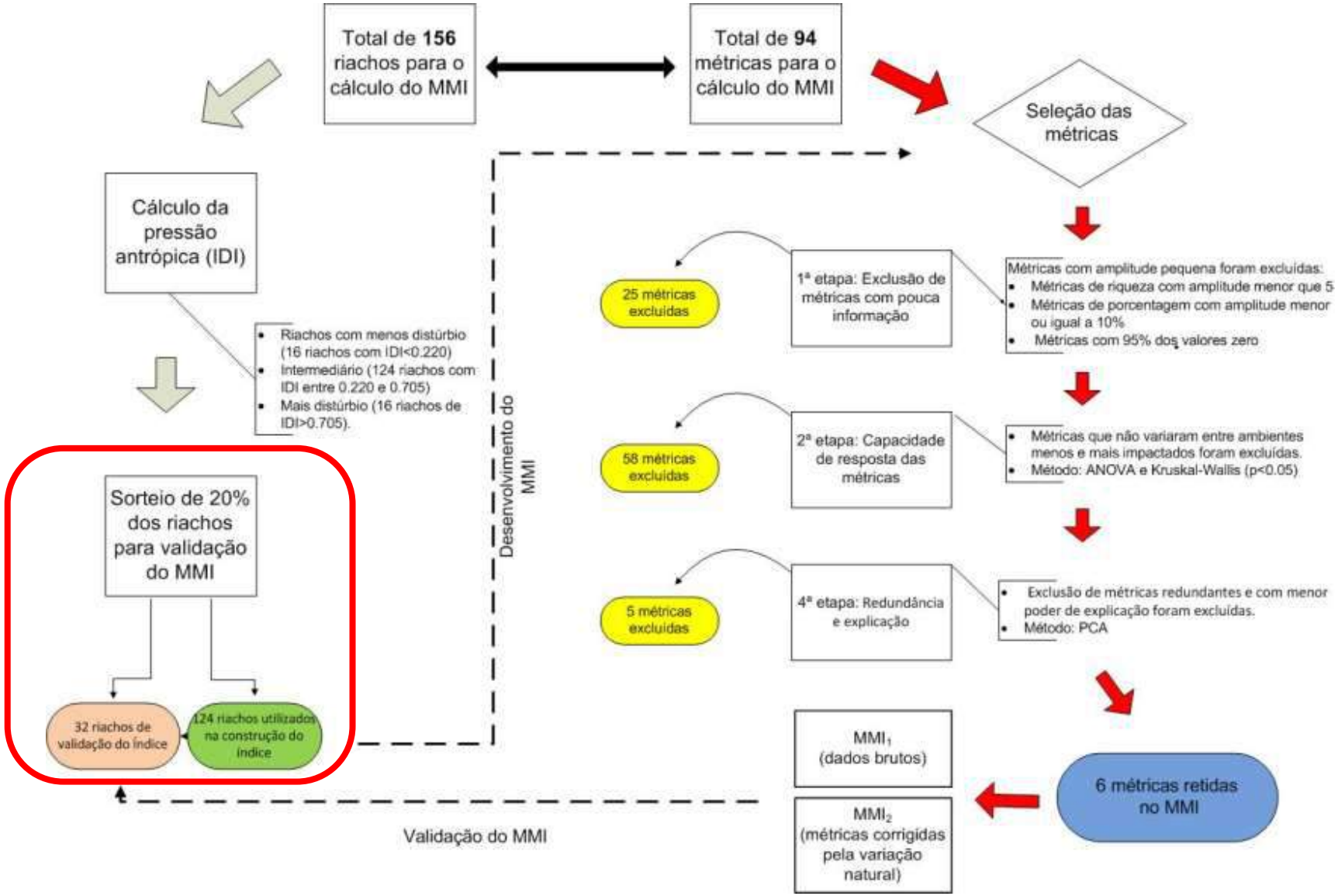
[e] Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Campus II, Samambaia CP 131, CEP 74001-970 Goiânia, Goiás, Brazil

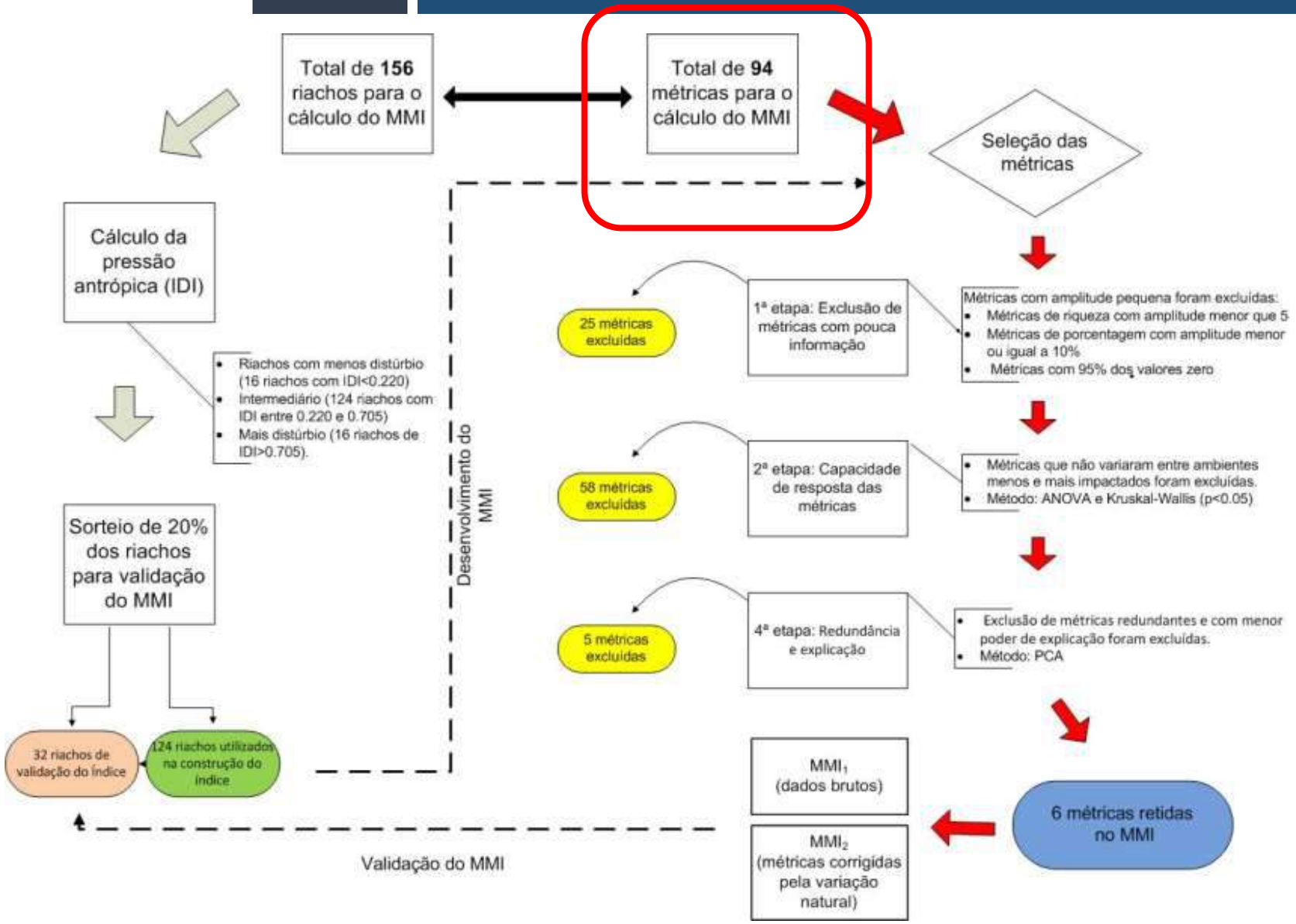
Avaliação da Integridade física de riachos



Índice de Distúrbio Integrado (IDI) calculado para os 156 riachos




Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI

Espécies diferentes

Quais métricas selecionar?

Bacia do Paraná ✖ Bacia do São Francisco

Riqueza, abundância e Composição

Nº total de espécies
Abundância de indivíduos
Número de ordens
Número de famílias

Espécies Indicadoras

% indiv. espécie exótica
(*Poecilia reticulata*)

Aspectos tróficos

% indiv. onívoros
% indiv. Invertívoros
% indiv. herbívoros
% indiv. Piscívoros
% indiv. detritívoros

Aspectos da história de vida

% espécies bentônicas
% espécies nectônicas
% espécies nectobentônicas
% espécies reofílicas
% espécies migratórias
% espécies nativas
% espécies exóticas

Diversidade e dominância

Índices de Diversidade
Densidade de indivíduos nativos
Raridade especial e numérica
% espécies comuns

Cálculo métricas IBI 2015 - Excel

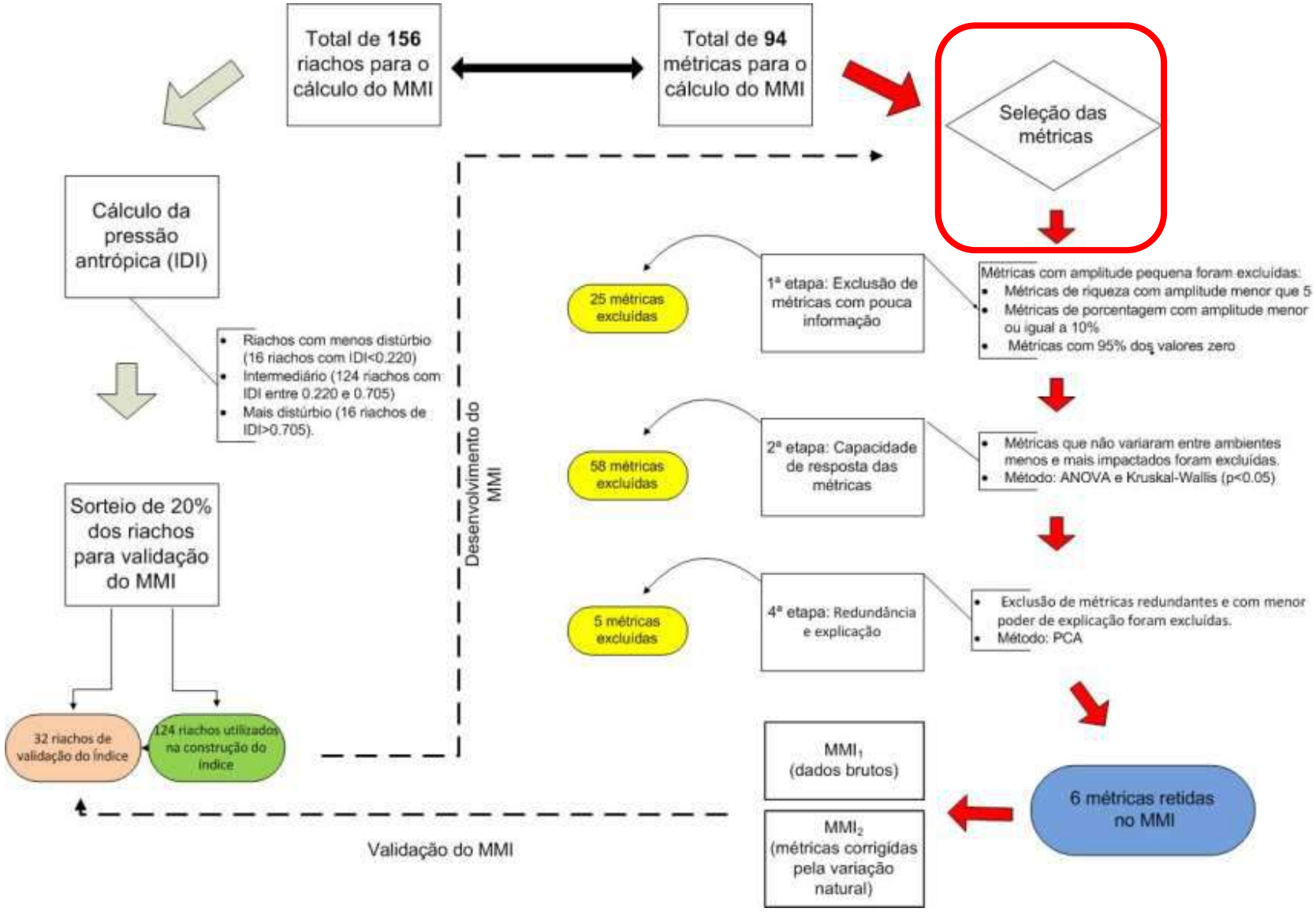
Débora Carvalho

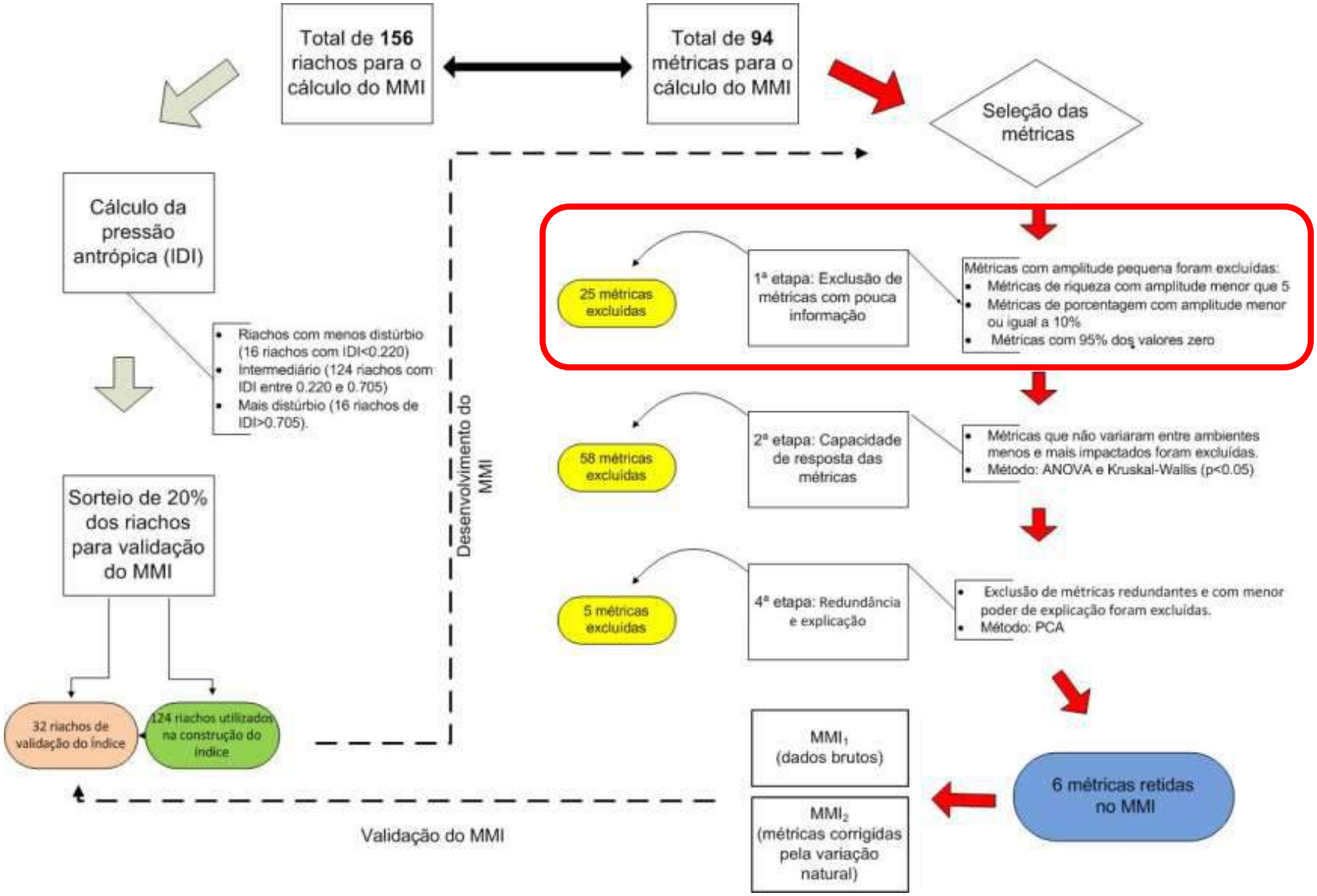
Arquivo | Página Inicial | Inserir | Layout da Página | Fórmulas | Dados | Revisão | Exibir | Suplementos | Diga-me o que você deseja fazer | Compartilhar

A1 | Métricas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Métricas	NPMS-0008	NPMS-001	NPMS-001	NPMS-002	NPMS-004	NPMS-0052	NPMS-005	NPMS-005	NPMS-0075	NPMS-009	NPMS-009	NPMS-009	NPMS-009	NPMS-
2	***Informações habitat***														
3	IDI	0.56119475	0.342417	0.042324	0.427984	0.298894	0.435377735	0.220087	0.611635	0.138939276	0.441264	0.601007	0.561496	0.544661	0.1587
4	Categoria	Intermediat	Intermedi	Least-dist	Intermedi	Intermedi	Intermediate	Least-dist	Intermedi	Least-disturbed	Intermedi	Intermedi	Intermedi	Intermedi	Least-d
5	Altitude (m)	929	881	863	846	900	860	855	957	850	915	868	817	874	821
6	Área Bacia (km2)	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376	7376
7	Área amostragem riacho (m2)	342.50	596.59	629.63	495.75	271.74	372.60	122.25	288.75	648.38	229.88	192.23	375.00	470.29	433.5
8	***Taxonômica***														
9	diversidade (Índice de Shannon)	1.367	1.829	0.9814	0.6365	1.505	0.5999	0.4506	1.815	1	0.533	1.719	0.9505	1.475	1.4
10	Nº espécies	5	11	6	2	5	2	2	12	8	6	10	5	7	
11	Abundância de indivíduos	11	107	64	6	10	160	24	65	378	317	192	42	57	5
12	dominância	0.3058	0.2275	0.5029	0.5556	0.24	0.5903	0.7222	0.2208	0.5501	0.7786	0.2684	0.5181	0.3149	0.29
13	diversidade (Índice de Simpson)	0.6942	0.7725	0.4971	0.4444	0.76	0.4097	0.2778	0.7792	0.4499	0.2214	0.7316	0.4819	0.6851	0.70
14	densidade de indivíduos	0.03211679	0.179352	0.101648	0.012103	0.0368	0.429414922	0.196319	0.225108	0.582995951	1.37901	0.998829	0.112	0.121202	1.3794
15	densidade de indivíduos nativos	0.03211679	0.179352	0.101648	0.012103	0.0368	0.429414922	0.196319	0.225108	0.582995951	1.37901	0.998829	0.112	0.121202	1.3794
16	raridade espacial (singletons + dubletons)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
17	raridade numérica (Uniques + duplicates)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
18	% de spp. Comuns (+50% dos riachos)	0	18.18182	16.66667	50	40	50	50	8.333333	12.5	33.33333	10	40	28.57143	22.222
19	% de indivíduos de spp. Comuns (+50% dos riachos)	0	14.01869	3.125	66.66667	40	71.25	16.66667	7.692308	12.43386243	2.839117	6.770833	23.80952	19.29825	27.926
20	Número de ordens	3	3	2	2	2	2	1	2	2	3	2	2	3	
21	% de espécies de Characiformes e Siluriformes	60	90.90909	100	50	100	100	100	100	100	83.33333	100	100	85.71429	1
22	% de riqueza de espécies da ordem Siluriformes	0	54.54545	50	0	60	50	100	58.33333	62.5	50	40	60	42.85714	22.222
23	% de indivíduos da ordem Siluriformes	0	34.57944	6.25	0	80	71.25	100	50.76923	25.13227513	8.201893	20.3125	90.47619	75.4386	1.6722

Métricas completas | IDI | Sorteio riachos | 124 riachos construção índice | 32 riachos validação ír ...


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI

Métricas que apresentam valor zero em mais que 95% dos riachos

(mais que 118 riachos)

Métricas com 95% dos valores zero (mais que 118 riachos)	Nº de riachos com 0
% de riqueza de espécies da família Cetopsidae	124
% de indivíduos da família Cetopsidae	124
% de riqueza de espécies da família Acestrorhynchidae	123
% de indivíduos da família Acestrorhynchidae	123
% de riqueza de espécies da família Lebiasinidae	123
% de indivíduos da família Lebiasinidae	123
% de riqueza de espécies da família Curimatidae	122
% de indivíduos da família Curimatidae	122
% de riqueza de espécies da família Auchenipteridae	121
% de indivíduos da família Auchenipteridae	121
% de riqueza de espécies da família Rivulidae	121
% de indivíduos da família Rivulidae	121
% de riqueza de espécies herbívoras	121
% de indivíduos herbívoros	121
% de riqueza de espécies migradoras	120
% de indivíduos migradoras	120
% de riqueza de espécies da ordem Synbranchiformes	118
% de indivíduos da ordem Synbranchiformes	118
% de riqueza de espécies da família Pseudopimelodidae	118
% de indivíduos da família Pseudopimelodidae	118

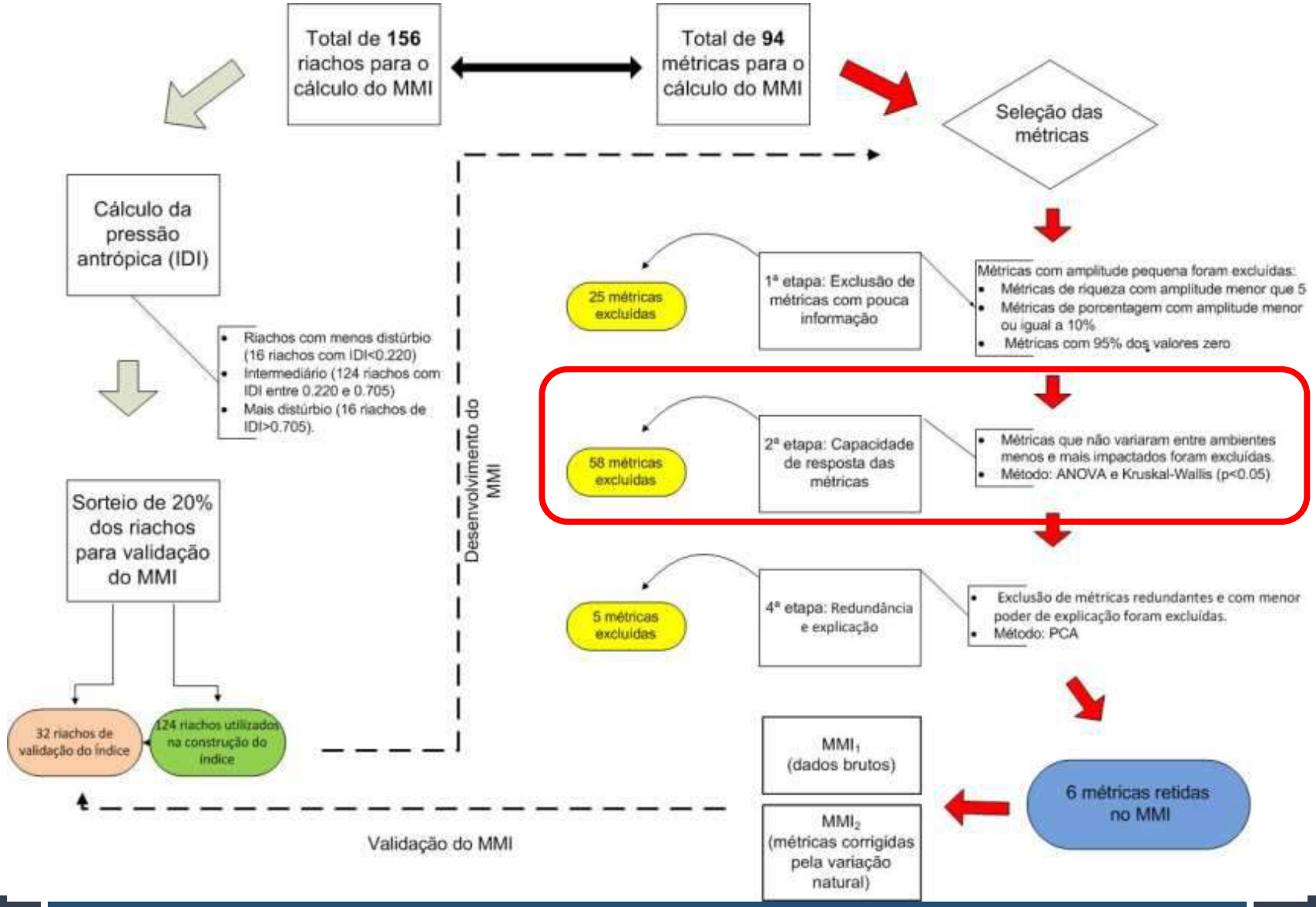
Métricas de porcentagem com amplitude pequena (<ou=10%)

Métricas de porcentagem com aplitude pequena (<ou=10%)	Amplitude
% de riqueza de espécies da família Cetopsidae	0.000
% de indivíduos da família Cetopsidae	0.000
% de indivíduos da família Curimatidae	2.493
% de indivíduos herbívoros	2.985
% de indivíduos da família Anostomidae	3.731
% de indivíduos migradoras	3.731
% de riqueza de espécies da família Lebiasinidae	7.143
% de riqueza de espécies da família Curimatidae	7.692
% de riqueza de espécies herbívoras	7.692
% de indivíduos da família Rivulidae	8.000
% de indivíduos da família Erythrinidae	9.091
% de indivíduos da ordem Synbranchiformes	10.000
% de indivíduos da família Synbranchidae	10.000
% de indivíduos da família Sternopygidae	10.588
% de riqueza de espécies migradoras	11.111
% de indivíduos da família Auchenipteridae	12.500
% de indivíduos da família Lebiasinidae	12.500
% de riqueza de espécies da família Rivulidae	12.500
% de indivíduos da família Pseudopimelodidae	13.861
% de riqueza de espécies da família Acestrorhynchidae	14.286

Métricas de riqueza com amplitude pequena (<ou=5)

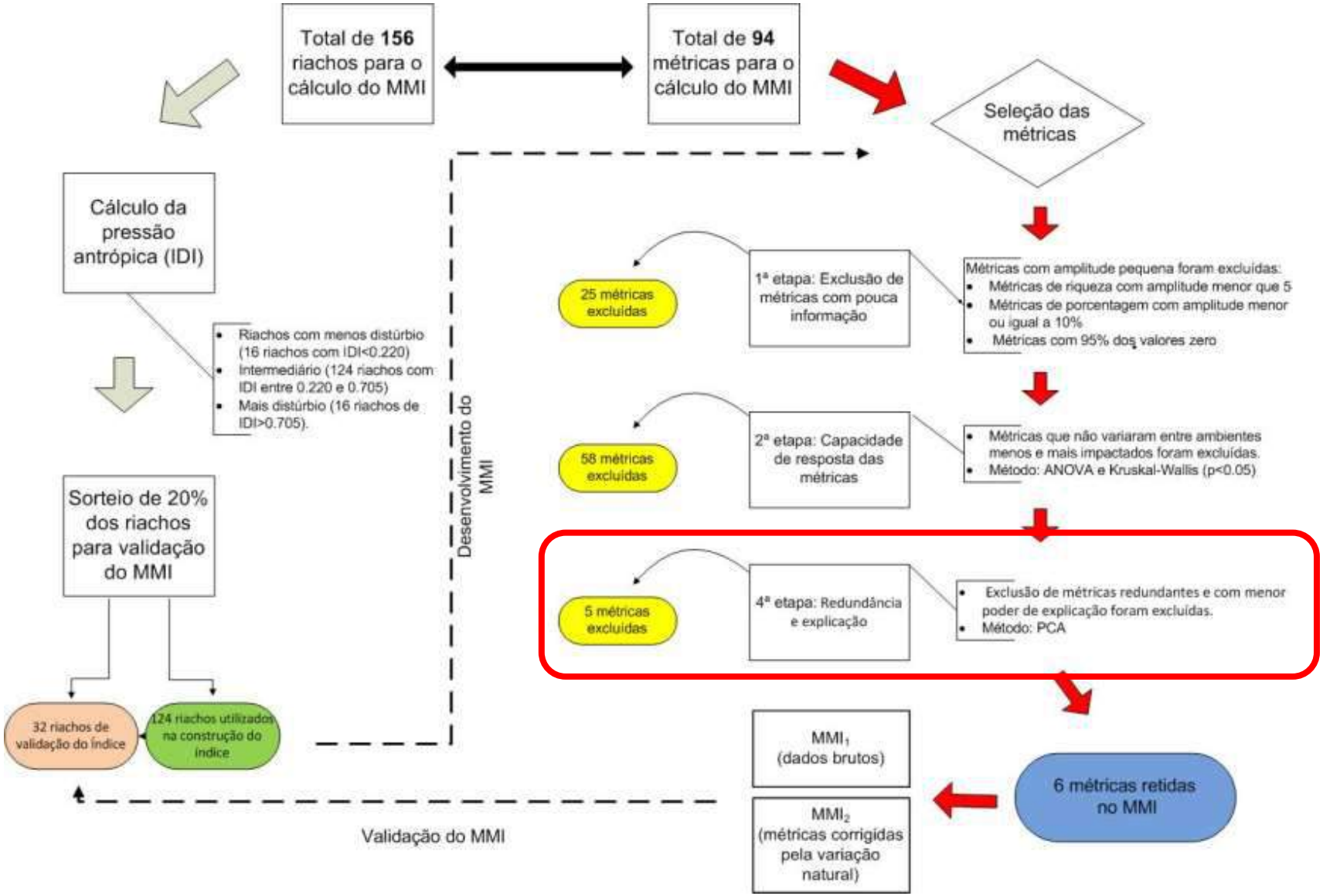
Métricas de riqueza com aplitude pequena (<5)	Amplitude
raridade espacial (singletons + dubletons)	4.000
número de categorias tróficas	5.000
raridade numérica (Uniques + duplicates)	6.000
Número de ordens	6.000
número de famílias	10.000
Nº espécies	20.000
Abundância de indivíduos	1138.000

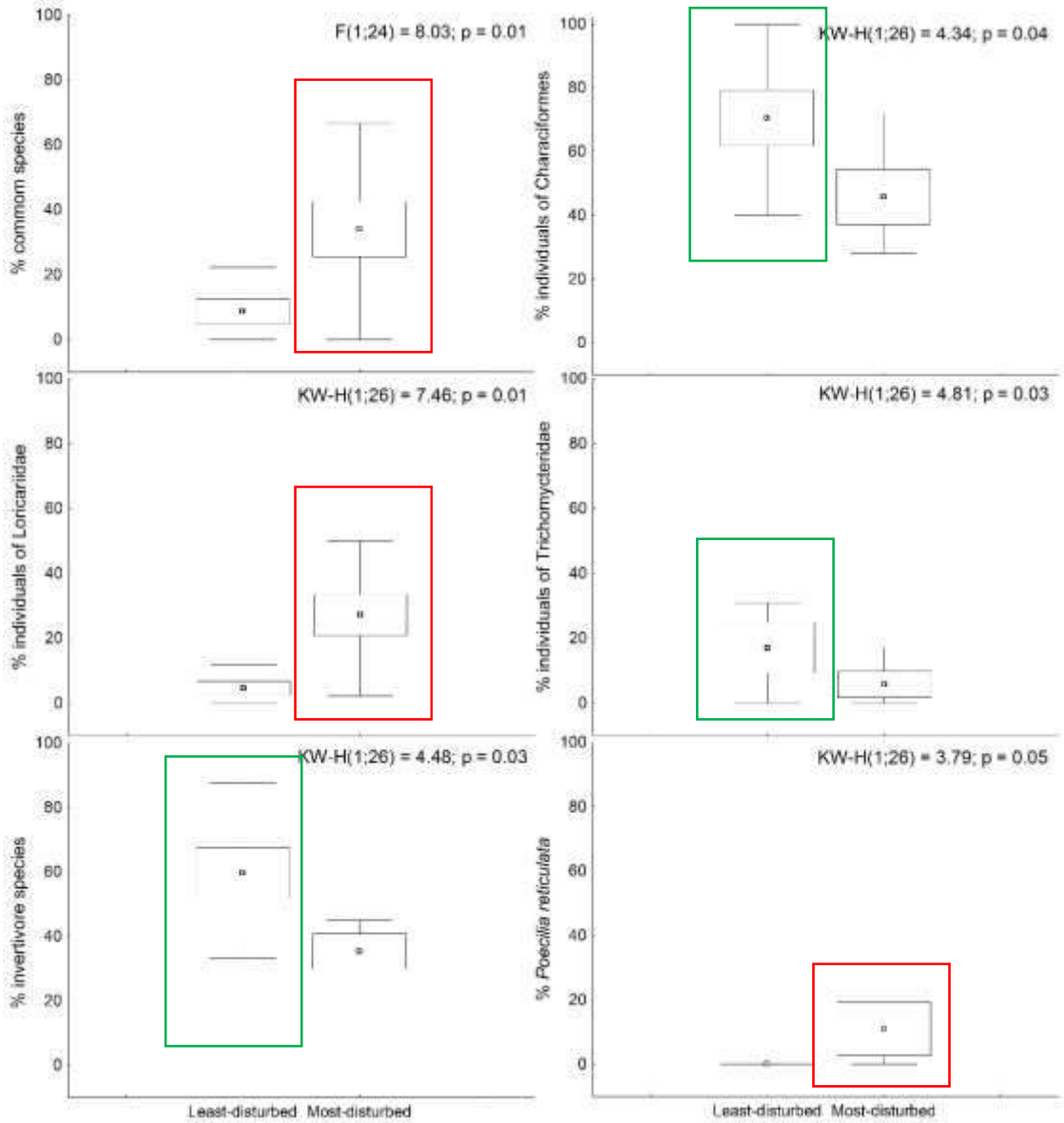
Total de 25 métricas excluídas na primeira etapa!!!


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI

11 métricas selecionadas → **58 métricas excluídas na segunda etapa**

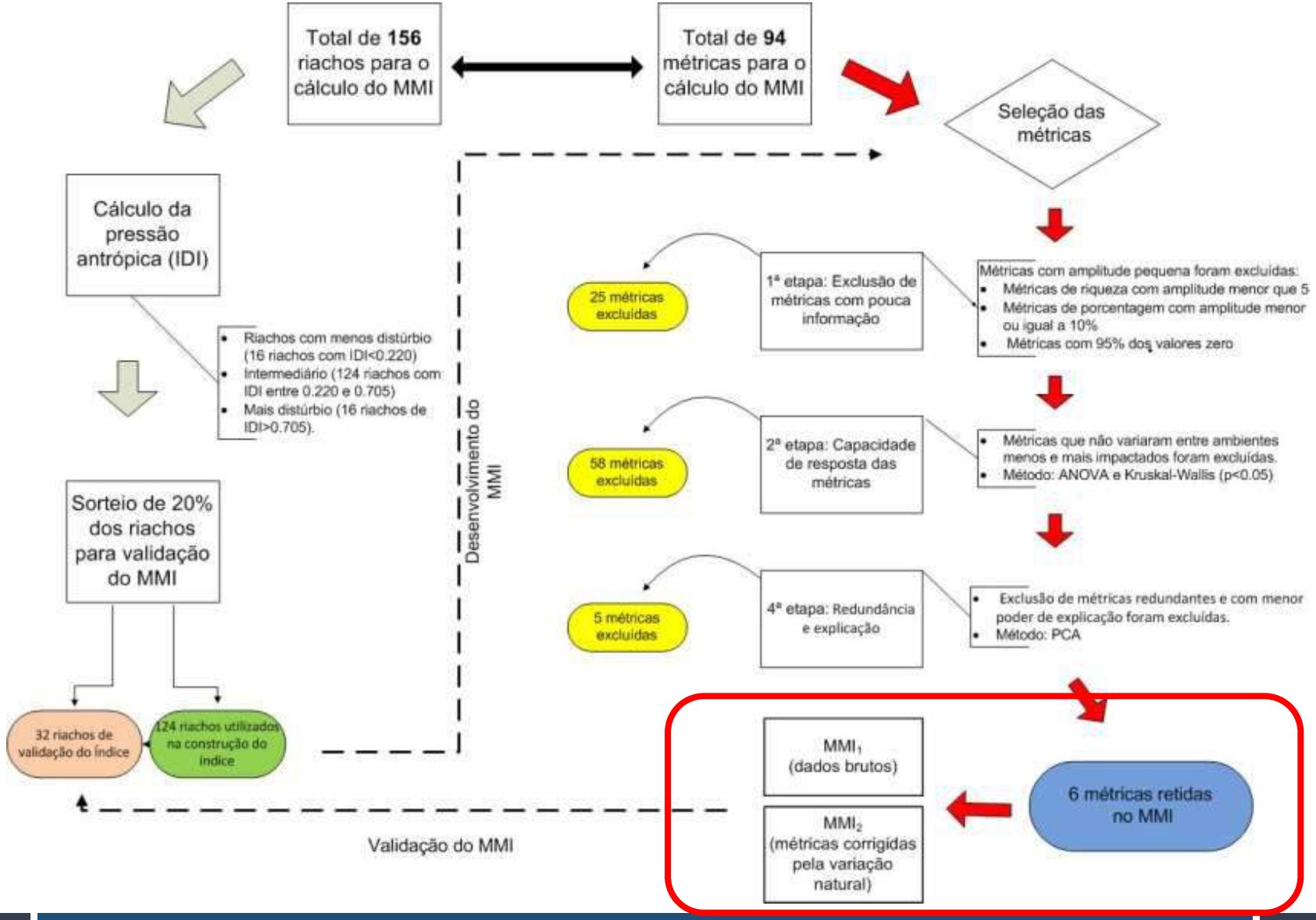
Metrics
% commom species
% commom individuals
% Characiformes individuals
% species of Loricariidae
% individuals of Loricariidae
% species of Trichomycteridae
% individuals of Trichomycteridae
% detritivorous species
% detritivorous individuals
% invertivore species
% *Poecilia reticulata*


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI



% de spp. Comuns (+50% dos riachos)
% de indivíduos da ordem Characiformes
% de indivíduos da família Loricariidae
% de indivíduos da família Trichomycteridae
% de riqueza de espécies invertívoras
% de *Poecilia reticulata*

6 métricas restantes


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
124 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI

% de spp. Comuns (+50% dos riachos)
% de indivíduos da ordem Characiformes
% de indivíduos da família Loricariidae
% de indivíduos da família Trichomycteridae
% de riqueza de espécies invertívoras
% de *Poecilia reticulata*

ALTITUDE e ÁREA DA BACIA

MMI_1
Métricas sem correção por variáveis ambientais

MMI_2
Métricas corrigidas por variáveis ambientais

(Declividade não foi incluída devido à sua alta correlação com altitude e área da bacia).

Construção do Índice Multimétrico (MMI)

- Para construir os 2 MMIs padronizamos todas as métricas selecionadas na mesma escala e as combinamos em um índice final.
- Utilizamos a pontuação contínua (0-10) para pontuar as métricas selecionadas (percentis).
- O MMI final foi a pontuação média das métricas biológicas e os riachos foram diferenciados em **alta condição biológica (MMI = 10)** e riachos com **baixa condição (MMI = 0)**.

MMI_1

Métricas sem correção por variáveis ambientais

1) Padronização das métricas

Macedo et al., 2016

Métricas que crescem em locais de boa condição

$$\frac{\text{Métrica}}{\text{Percentil 95}} \times 100$$

Métricas que diminuem em locais de boa condição

$$\frac{(100 - \text{Métrica})}{(100 - \text{Percentil 5})} \times 100$$

2) Pontuação

3) Cálculo da pontuação final

Table A3
Metric scores of MMI_1 and MMI_2.

Percentiles (%) MMI_1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% Common species	0	50	64	70	75	80	86	100	100	100	100
% Characiformes individuals	0	5	17	33	49	65	75	85	91	98	100
% Loricariidae individuals	0	43	61	74	84	91	95	99	100	100	100
% Trichomycteridae individuals	0	0	0	0	0	0	4	14	37	65	100
% invertivorous species	0	33	36	44	50	50	58	64	75	88	100
% *Poecilia reticulata*	0	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100

MMI_2

Métricas corrigidas por variáveis ambientais

1) Correção (usando resíduos) das métricas correlacionadas com a altitude e área da bacia

% de espécies comuns (R2 = 0,12; p = <0,01)
% de indivíduos trichomycteridae (R2 = 0,35; p = <0,01)

Corrections applied to MMI_2 metrics for natural landscape characteristics.

Variables	Correction
% common species	= 52.1483 – 0.03949 * altitude – 0.17154 * catchment area
% trichomycterid individuals	= –1.71658 + 0.00475* altitude – 0.01037* catchment area

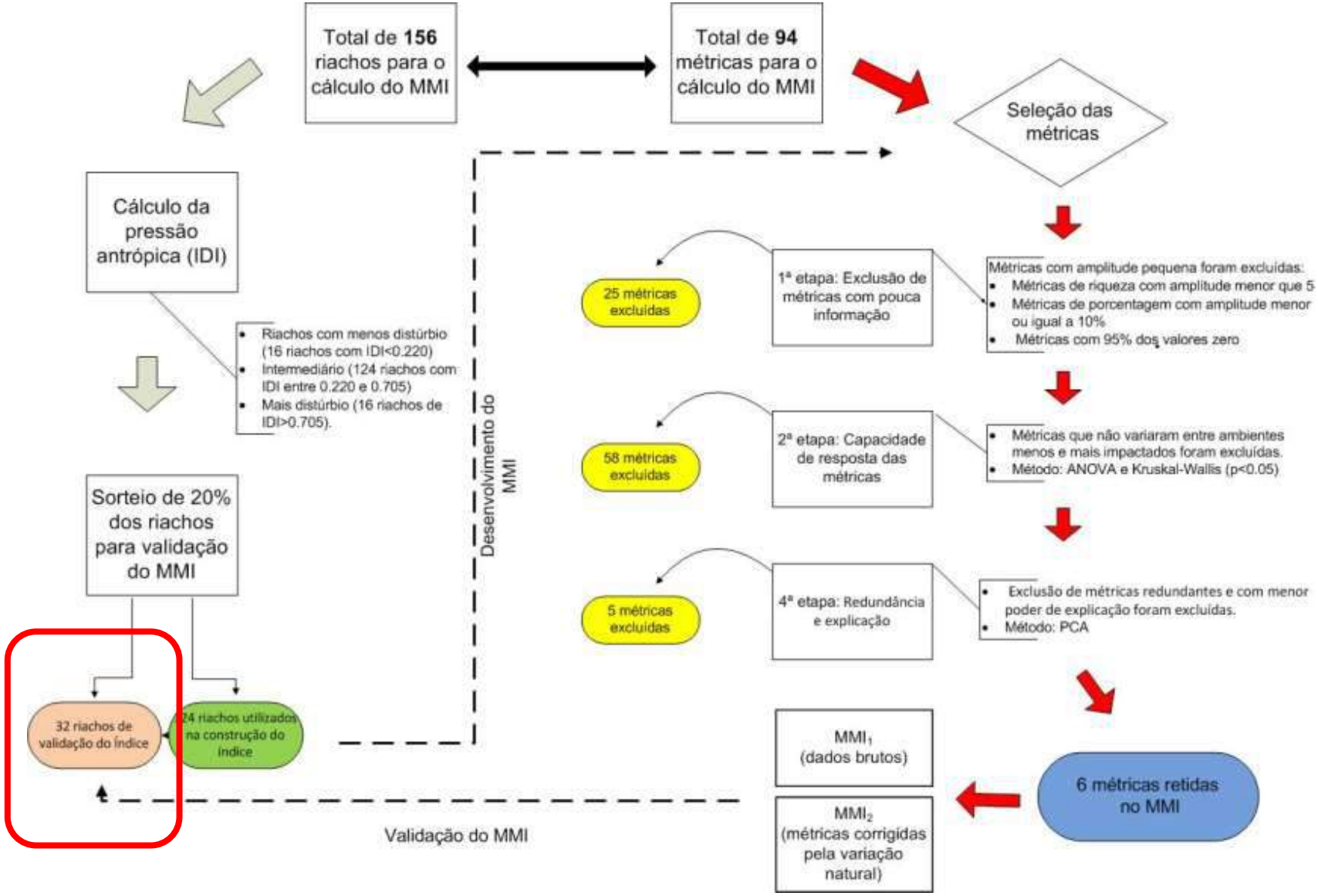
2) Padronização das métricas

3) Pontuação

4) Cálculo da pontuação final

Table A3
Metric scores of MMI_1 and MMI_2.

Percentiles (%) MMI_2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% Common species	0	60	71	76	79	82	85	89	95	99	100
% Characiformes individuals	0	5	17	33	49	65	75	85	91	98	100
% Loricariidae individuals	0	43	61	74	84	91	95	99	100	100	100
% Trichomycteridae individuals	0	11	13	15	17	21	24	30	47	69	100
% invertivorous species	0	33	36	44	50	50	58	64	75	88	100
% *Poecilia reticulata*	0	95	99	99	99	99	100	100	100	100	100


Total de 156 riachos para o cálculo do MMI
Total de 94 métricas para o cálculo do MMI
Seleção das métricas
Cálculo da pressão antrópica (IDI)
Riachos com menos distúrbio (16 riachos com IDI<0.220)
Intermediário (124 riachos com IDI entre 0.220 e 0.705)
Mais distúrbio (16 riachos de IDI>0.705).
Sorteio de 20% dos riachos para validação do MMI
32 riachos de validação do índice
74 riachos utilizados na construção do índice
Desenvolvimento do MMI
25 métricas excluídas
1ª etapa: Exclusão de métricas com pouca informação
Métricas com amplitude pequena foram excluídas:
Métricas de riqueza com amplitude menor que 5
Métricas de porcentagem com amplitude menor ou igual a 10%
Métricas com 95% dos valores zero
58 métricas excluídas
2ª etapa: Capacidade de resposta das métricas
Métricas que não variaram entre ambientes menos e mais impactados foram excluídas.
Método: ANOVA e Kruskal-Wallis (p<0.05)
5 métricas excluídas
4ª etapa: Redundância e explicação
Exclusão de métricas redundantes e com menor poder de explicação foram excluídas.
Método: PCA
6 métricas retidas no MMI
MMI1 (dados brutos)
MMI2 (métricas corrigidas pela variação natural)
Validação do MMI

Qual MMI com melhor desempenho?

MMI_1
Métricas sem correção por variáveis ambientais

?

MMI_2
Métricas corrigidas por variáveis ambientais

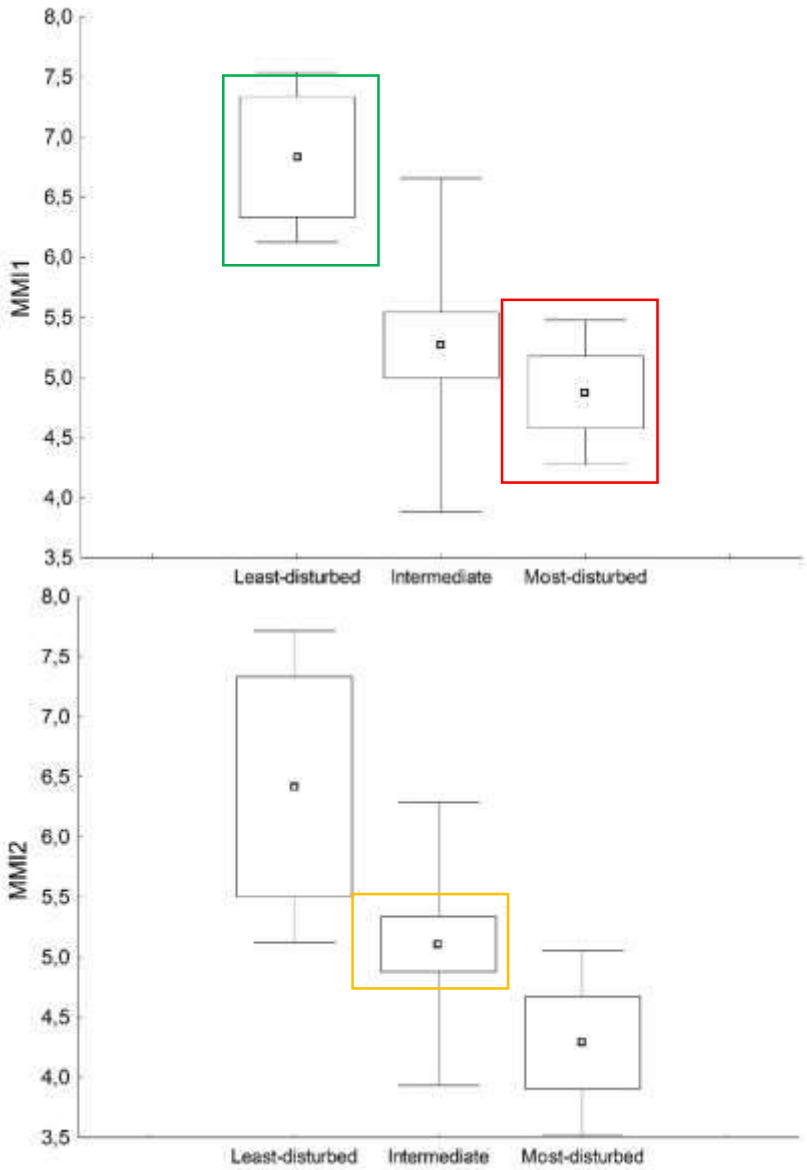
Capacidade de resposta

ANOVA para verificar o grau em que cada MMI discriminou os riachos mais e menos perturbados.

Sensibilidade às pressões antropogênicas (LDI, CDI e IDI).

Regressão da pontuação dos 2 MMIs dos 32 locais de validação contra as variáveis de pressão antropogênica (LDI, CDI e IDI).

Escolhemos o MMI com o melhor desempenho em ambos os testes.



Capacidade de resposta

MMI1 (F (1,4) = 12,98; p = 0,02) apresentou melhor desempenho do que MMI2 (F (1,4) = 7,03; p = 0,06) em diferenciar locais mais e menos perturbados.

No entanto, o MMI2 apresentou melhor desempenho na discriminação de riachos com nível intermediário de perturbação.

Fig. 5. MMI_1 and MMI_2 scores for validation sites. Mean; Mean ± SE; Mean ± SD.

Sensibilidade às pressões antropogênicas (LDI, CDI e IDI)

Table 2
Correlation between MMI_1 and MMI_2 and metrics of anthropogenic pressures. LDI = Local Disturbance Index, CDI = Catchment Disturbance Index and IDI = Integrated Disturbance Index.

MMI's x Anthropogenic pressures		r^2	r	p	
MMI_1	LDI	0.00	0.00	0.99	y = 5.3386 + 0.0035*x
	CDI	0.27	−0.52	**0.00**	y = 13.6043 − 1.7032*x
	IDI	0.10	−0.31	0.08	y = 4.6945 − 1.0244*x
MMI_2	LDI	0.02	−0.13	0.50	y = 5.0974 − 0.1375*x
	CDI	0.15	−0.39	**0.03**	y = 10.652 − 1.1435*x
	IDI	0.14	−0.37	**0.04**	y = 4.4257 − 1.0895*x

Ambos os índices foram negativamente correlacionados com o CDI, mas apenas o MMI_2 foi correlacionado negativamente com IDI.

Para inferir como estão as condições de preservação nas regiões hidrológicas:

Proporção de riachos de cada ordem em cada condição

X

Comprimento (Km) dos riachos de cada ordem nas bacias

Table 3
Inferences of stream length condition, based on the percentage of most-disturbed, intermediate, and least-disturbed stream length for first, second and third order streams in the study areas.

	Stream order			Total
	1	2	3	
% of sites				
Most-disturbed	4.35%	13.21%	4.76%	7.91%
Intermediate	91.30%	71.70%	88.89%	82.73%
Least-disturbed	4.35%	15.09%	6.35%	9.35%
Total stream length (km)	5589	2521	1355	9466
Stream length (km)				
Most-disturbed	243	333	65	641
Intermediate	5103	1808	1204	8115
Least-disturbed	243	380	86	709

Discussão

% de spp. Comuns (+50% dos riachos)
% de indivíduos da ordem Characiformes
% de indivíduos da família Loricariidae
% de indivíduos da família Trichomycteridae
% de riqueza de espécies invertívoras
% de *Poecilia reticulata*

Diversidade e dominância

Riqueza, abundância e Composição

Aspectos tróficos

Espécies Indicadoras de tolerância

Discussão

% de spp. Comuns (+50% dos riachos)
% de indivíduos da ordem Characiformes
% de indivíduos da família Loricariidae
% de indivíduos da família Trichomycteridae
% de riqueza de espécies invertívoras
% de *Poecilia reticulata*

An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil

Bozzetti and Schulz (2004)

MMI criado a partir de 6 pontos amostrais em 5 riachos subtropicais

- Numero de espécies de characiformes

Integridade biótica de um córrego na bacia do Alto Rio Paraná avaliada por meio da comunidade de peixes

Ferreira and Casatti (2006)

Índice criado a partir de 1 córrego do cerrado

- % characiformes
- % siluriformes
- % indivíduos de *Poecilia reticulata*

Assessment of biotic condition of Atlantic Rain Forest streams: A fish-based multimetric approach

Terra et al. (2013)

MMI criado a partir de 48 riachos da mata atlântica

- % characiformes

Discussão

Menos impactados

Mais impactados

% de indivíduos da ordem Characiformes

% de indivíduos da família Trichomycteridae

% de riqueza de espécies invertívoras

% de indivíduos da família Loricariidae

% de spp. Comuns

% de *Poecilia reticulata*

Qual MMI utilizar?

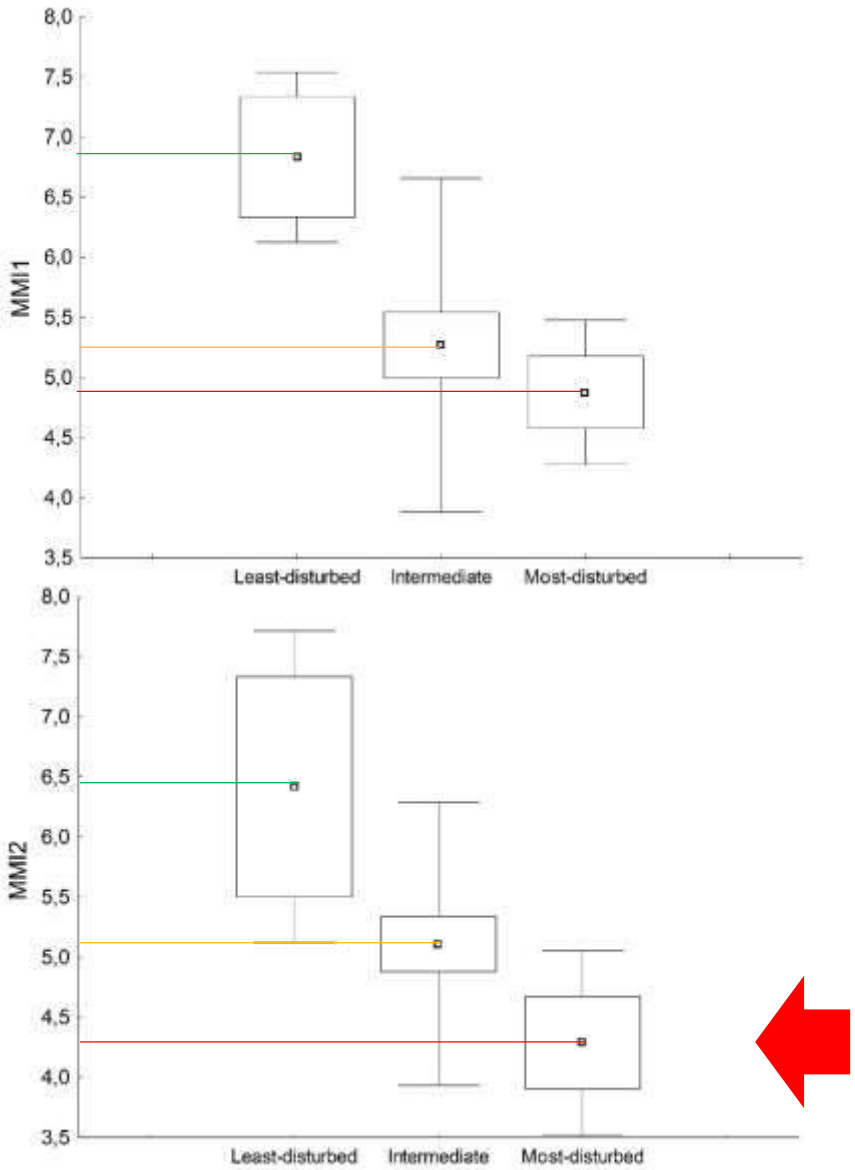
MMI_1
Métricas sem correção por variáveis ambientais

?

MMI_2
Métricas corrigidas por variáveis ambientais

Maior capacidade de resposta

Maior sensibilidade às pressões antropogênicas (IDI).



O MMI_2 não apresentou desempenho melhor que o MMI_1

No entanto, as médias das pontuações para o MMI2 foram inferiores aos do MMI1 (especialmente para os sites mais perturbados).

O que indica que a falha na calibração de métricas pode elevar as pontuações do MMI.

Fig. 5. MMI_1 and MMI_2 scores for validation sites. Mean; Mean ± SE; Mean ± SD.

Discussão

A calibração reduziu parte dessa variabilidade conforme relatado para **peixes** (Oberdorff et al., 2002; Pont et al., 2006; Pont et al., 2009; Esselman et al., 2013) e **macroinvertebrados** (Moya et al., 2011; Chen et al., 2014, Macedo et al., 2016, Pereira et al., 2016).

Portanto, vale a pena enfatizar que a aplicação de um MMI sem calibração métrica, embora mais simples, deve ser feita com cautela, especialmente ao atribuir um valor para locais degradados.

Conclusão

Elevada aplicabilidade:

Amostragem ampla

156 riachos de 1ª a 3ª ordem de duas das mais importantes bacias brasileiras (Paraná e São Francisco) incluídas em um bioma que representa mais do que 20% do país.

Ferramenta no planejamento da gestão de outras unidades hidrológicas

Estudo realizado em áreas influenciadas por agricultura e pastagem (entretanto não foram amostrados riachos influenciados por mineração).

Facilidade de aplicação

Métricas fáceis de calcular e envolvem uma amostragem rápida e de baixo custo.

Obrigada!!

deboracarvalhobio@yahoo.com.br