

# Monitoramento de cursos d'água: Utilização de indicadores biológicos em conjunto com o levantamento de hábitats locais

Prof. Diego Rodrigues Macedo



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE MINAS GERAIS

Departamento de Geografia

[www.diegomacedo.pro.br](http://www.diegomacedo.pro.br)

[diegorm@ufmg.br](mailto:diegorm@ufmg.br)

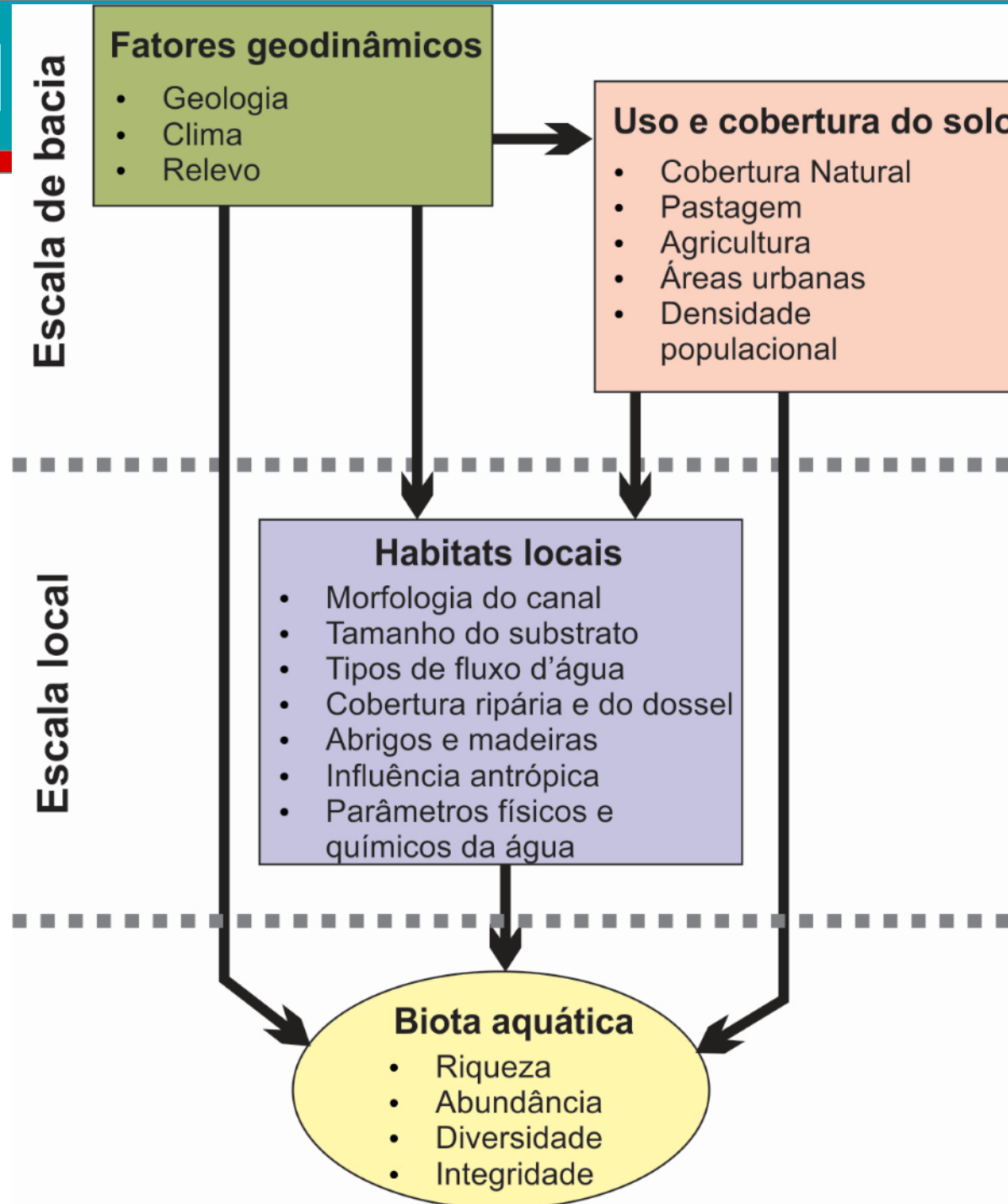


INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
**PROGRAMA de  
PÓS-GRADUAÇÃO  
em GEOGRAFIA**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



Programa de Pós-Graduação em  
*Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais*  
**UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE MINAS GERAIS**

# Modelo conceitual





# Nós alteramos os cursos d'água de várias maneiras



Urbanização



Reforestamento



Agricultura, Irrigação



Recreação



Represas



Queimadas



Pecuária



Intervenção em canais



# O que constitui um bom habitat?

Estes são fácies de determinar...



Riacho pristino

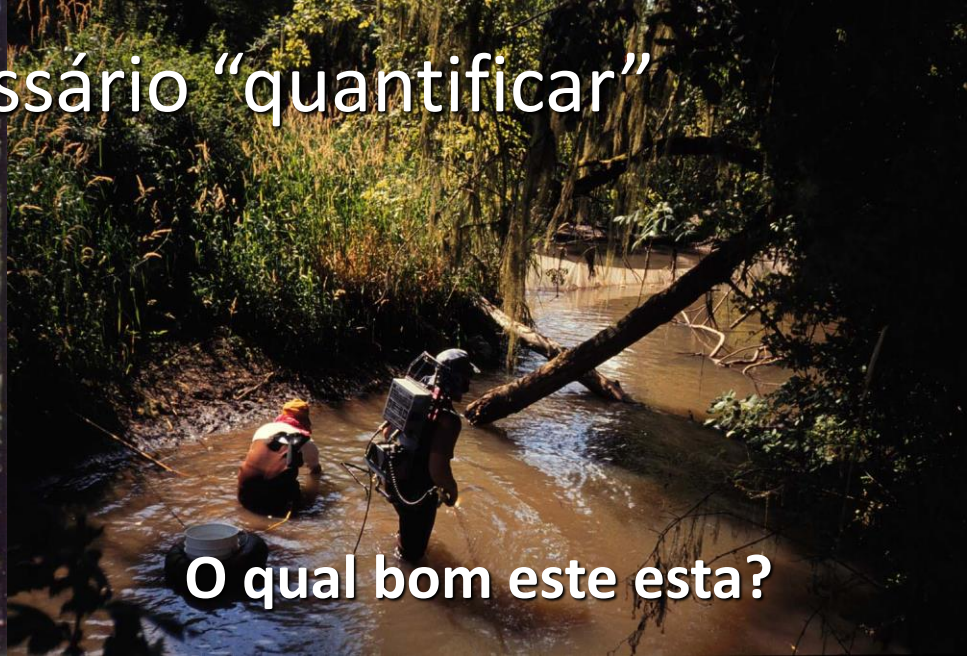


Obviamente, habitat pobre

Para alguns é necessário “quantificar”

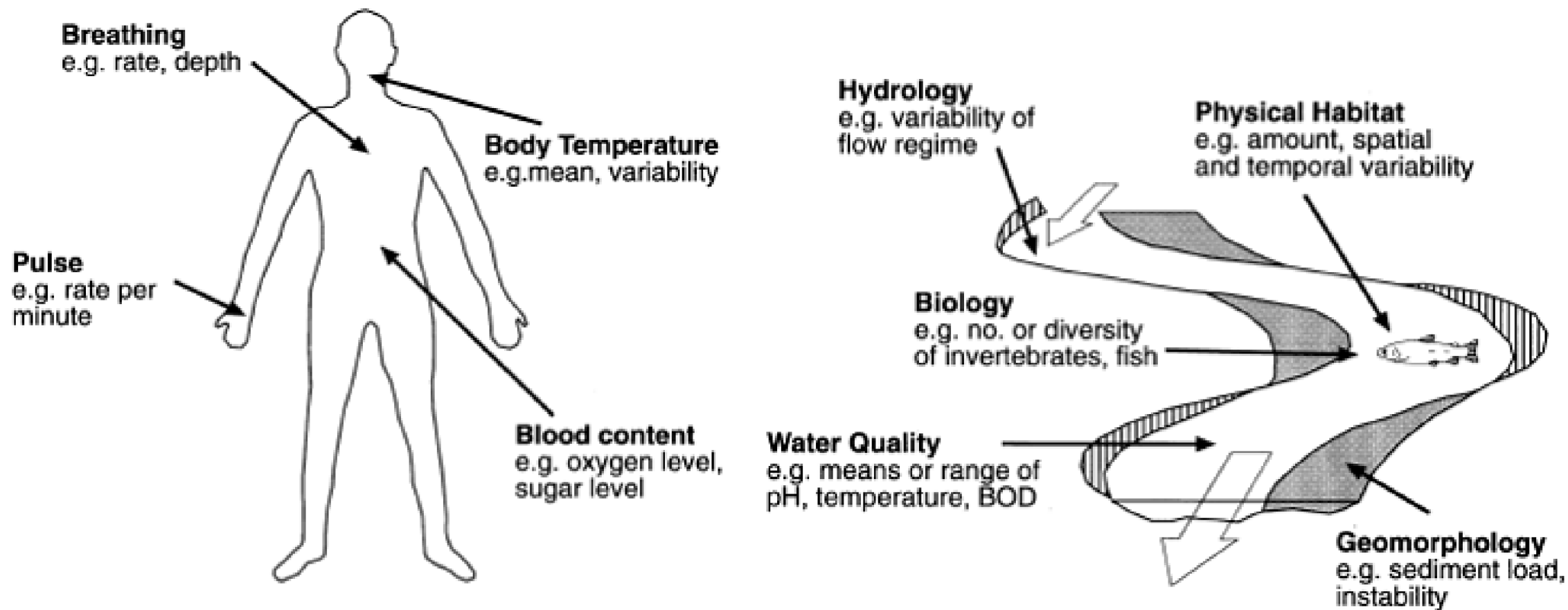


Alguns são intermediários



O qual bom este esta?

# Analogia entre a saúde humana e a saúde dos rios





# Componentes físicos vs biológicos

## Importance of environmental factors for the richness and distribution of benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams

---

Wander R. Ferreira<sup>1,6</sup>, Raphael Ligeiro<sup>1,7</sup>, Diego R. Macedo<sup>1,2,8</sup>, Robert M. Hughes<sup>3,9</sup>, Philip R. Kaufmann<sup>4,10</sup>, Leandro G. Oliveira<sup>5,11</sup>, and Marcos Callisto<sup>1,12</sup>

---

DOI: 10.1086/676951. Received 31 January 2013; Accepted 6 January 2014; Published online 14 May 2014.  
Freshwater Science. 2014. 33(3):860–871. © 2014 by The Society for Freshwater Science.

# Componentes físicos vs biológicos

Table 3. Best subsets multiple linear regression (MLR) models of environmental variables explaining Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera richness.  $AICc$  = Akaike's Information Criterion for small sample sizes,  $\Delta AICc$  = difference in  $AICc$  between the full and reduced models, adj = adjusted. See Table 1 for full names of metrics.

| Sites                     | Model                                                              | Metrics     | $\beta$ | $\beta$ (SE) | $AICc$  | $\Delta AICc$ |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------|---------|--------------|---------|---------------|
| Upper Araguari Basin      | 4 variables<br>$R^2$ adj. = 0.51; $F_{4,38} = 11.19$ ; $p < 0.001$ | xbkf_w      | 0.40    | 0.13         | 271.65  | 1.16          |
|                           |                                                                    | p_cb        | 0.43    | 0.12         |         |               |
|                           |                                                                    | pct_xfc_brs | 0.29    | 0.12         |         |               |
|                           |                                                                    | xslope      | -0.28   | 0.13         |         |               |
|                           | 3 variables<br>$R^2$ adj. = 0.46; $F_{4,38} = 12.19$ ; $p < 0.001$ | xbkf_w      | 0.51    | 0.12         | 272.81  |               |
|                           |                                                                    | p_cb        | 0.32    | 0.12         |         |               |
|                           |                                                                    | pct_xfc_brs | 0.23    | 0.19         |         |               |
|                           |                                                                    |             |         |              |         |               |
| Upper São Francisco Basin | 4 variables<br>$R^2$ adj. = 0.53; $F_{4,39} = 13.15$ ; $p < 0.001$ | p_slow      | -0.64   | 0.14         | 256.04  | -             |
|                           |                                                                    | lrbs        | 0.33    | 0.11         |         |               |
|                           |                                                                    | xwidth      | 0.34    | 0.13         |         |               |
|                           |                                                                    | DO          | -0.36   | 0.14         |         |               |
| Combined basins           | 8 variables<br>$R^2$ adj. = 0.44; $F_{8,79} = 8.69$ ; $p < 0.001$  | xbkf_w      | 0.44    | 0.10         | 530.932 | 0.005         |
|                           |                                                                    | vcdenmid    | -0.16   | 0.10         |         |               |
|                           |                                                                    | p_cb        | 0.21    | 0.10         |         |               |
|                           |                                                                    | xslope      | -0.22   | 0.10         |         |               |
|                           |                                                                    | xembed      | -0.17   | 0.10         |         |               |
|                           |                                                                    | p_pool      | 188.87  | 71.34        |         |               |
|                           |                                                                    | p_gl        | 168.18  | 63.50        |         |               |
|                           |                                                                    | p_slow      | -180.64 | 68.20        |         |               |
|                           | 4 variables<br>$R^2$ adj. = 0.39; $F_{8,79} = 13.96$ ; $p < 0.001$ | xbkf_w      | 0.53    | 0.10         | 530.927 |               |
|                           |                                                                    | xslope      | -0.19   | 0.10         |         |               |
|                           |                                                                    | p_cb        | 0.26    | 0.10         |         |               |
|                           |                                                                    | vcdenmid    | -0.20   | 0.10         |         |               |

**1989:** EPA iniciou o *Environmental Monitoring and Assessment Program* (EMAP)

- Desenvolver ferramentas científicas para monitorar a condição dos recursos aquáticos e importância dos estressores
- Focado em 2 áreas: desenho amostral e indicadores ecológicos
- Criar medidas biológicas que pudessem ser geradas e interpretadas de forma consistente em todo o país

**2006:** *Wadeable Streams Assessment* (WSA)

Primeiro resumo estatisticamente sólido da condição ecológica de riachos nos EUA







## 2006: *Wadeable Streams Assessment (WSA)*

Primeiro resumo estatisticamente sólido da condição ecológica de riachos nos EUA

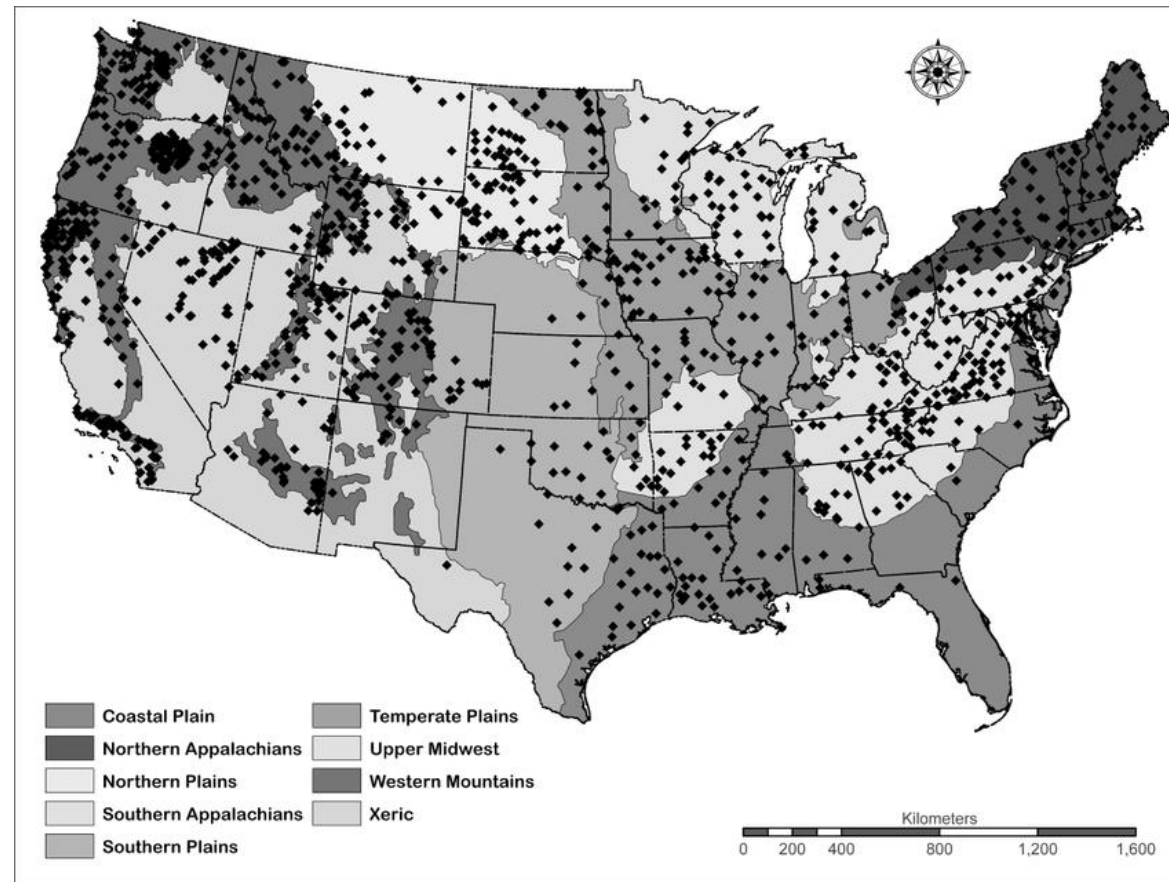
### **Objetivos**

1. Relatório sobre a condição ecológica de todos os rios e riachos dentro dos EUA
2. Descrever a condição ecológica desses sistemas com medidas diretas da vida aquática
3. Identificar e ranquear a importância relativa dos estressores químicos e físicos que afetam a condição de ecossistemas aquáticos

Protocolos padronizados de amostragem, processamento e interpretação dos principais indicadores de condição biológica e estressores

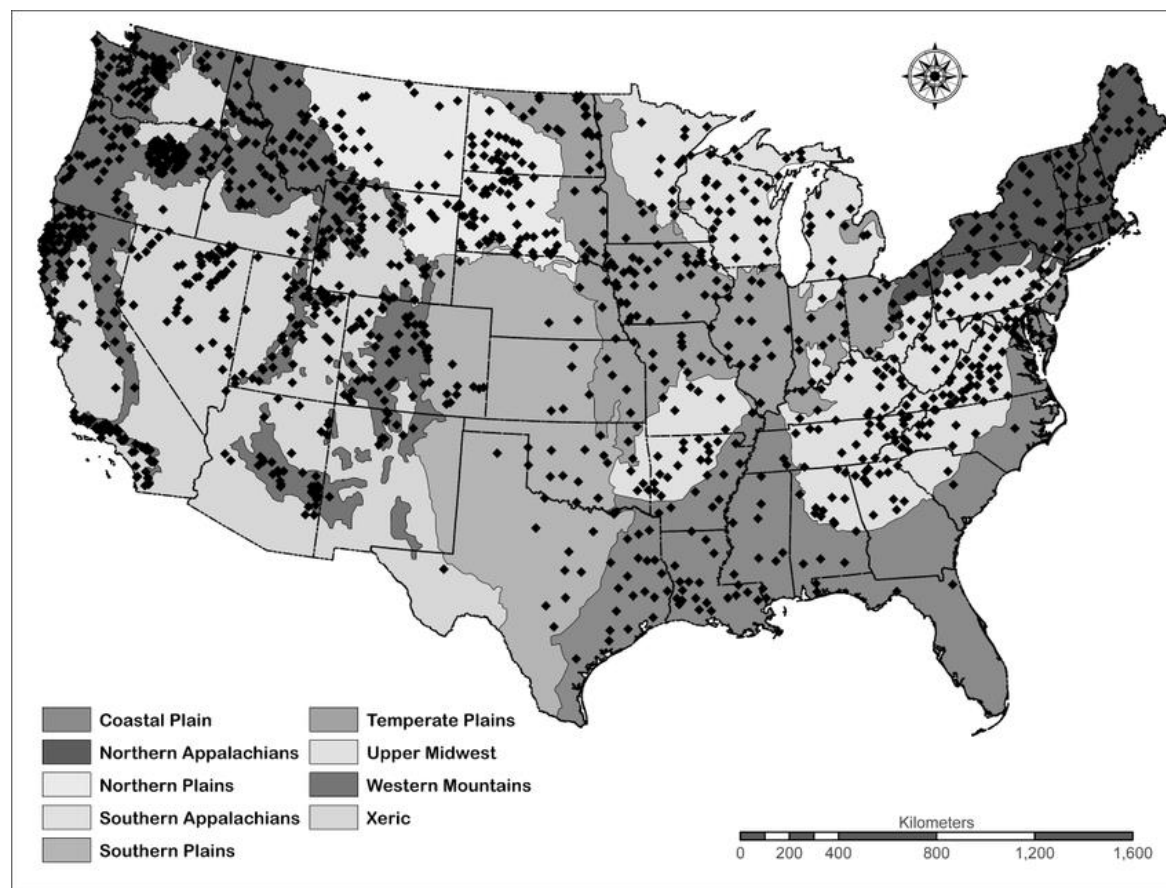
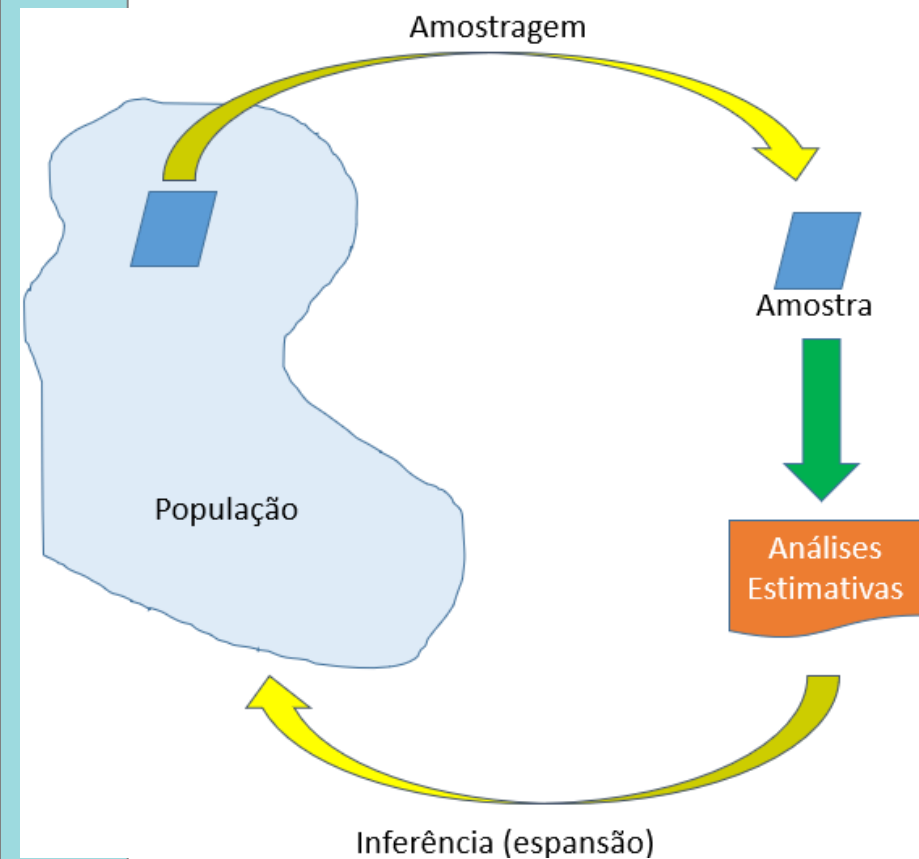
# Desenho amostral probabilístico

- Seleção aleatória espacialmente balanceada: permite expansão dos resultados para as áreas não amostradas
- Riachos *wadeable*, perenes, 1-5ª ordem
- 1392 sites
- **Protocolos padronizados:** avaliação nacional consistente



# Desenho amostral probabilístico

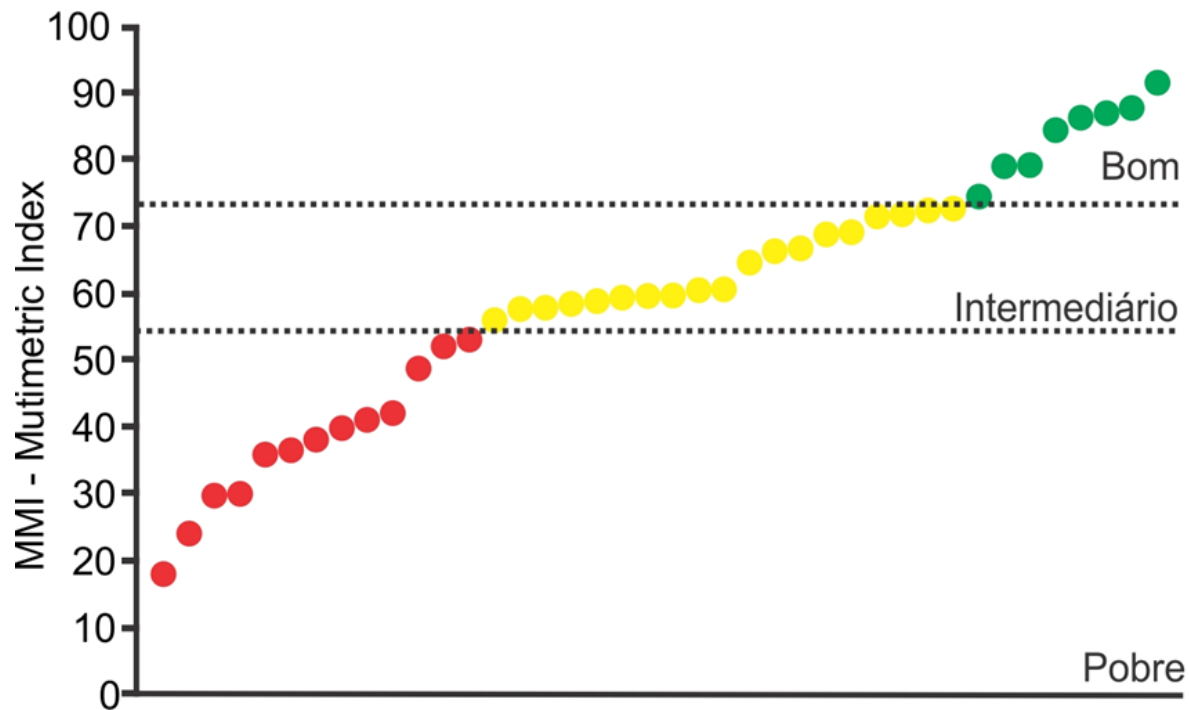
- Seleção aleatória espacialmente balanceada: permite expansão dos resultados para as áreas não amostradas
- Riachos *wadeable*, perenes, 1-5ª ordem
- 1392 sites
- **Protocolos padronizados:** avaliação nacional consistente



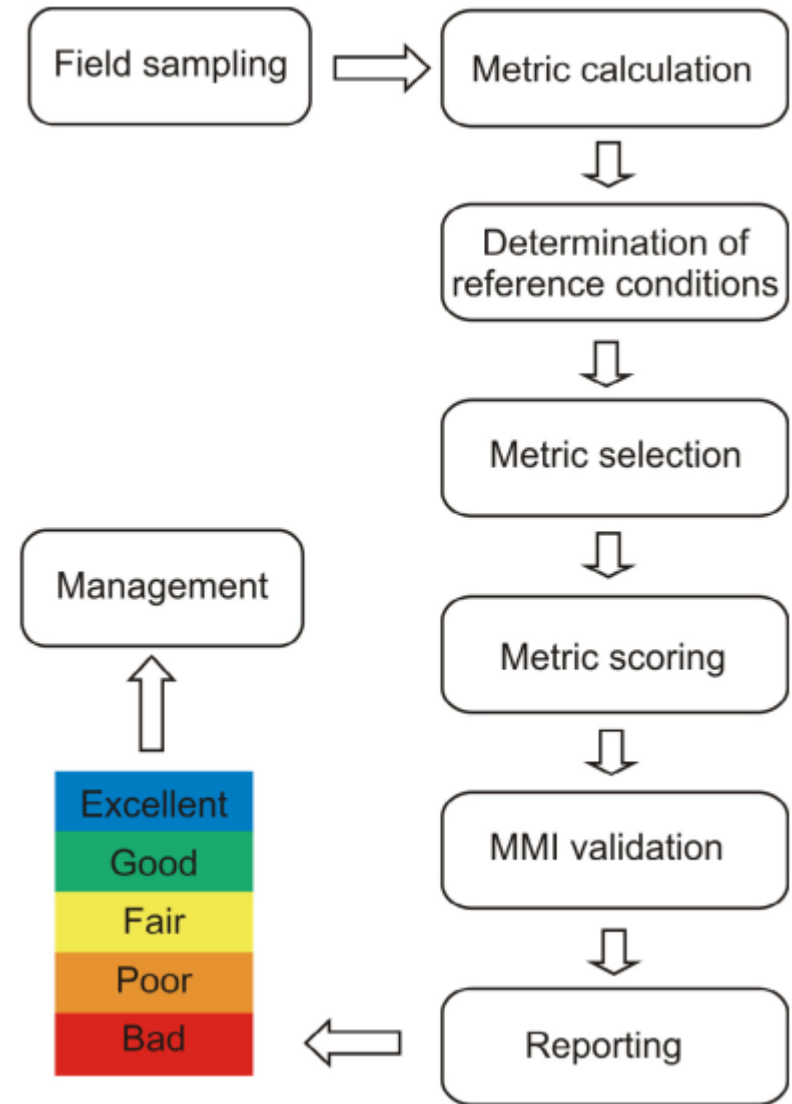


# Índices de Integridade Biótica (Índices Multimétricos)

- Índice sintético de atributos ou métricas biológicas que reflita distúrbios antrópicos em ecossistemas aquáticos ao longo de um gradiente de condições ambientais (Karr et al., 1986)



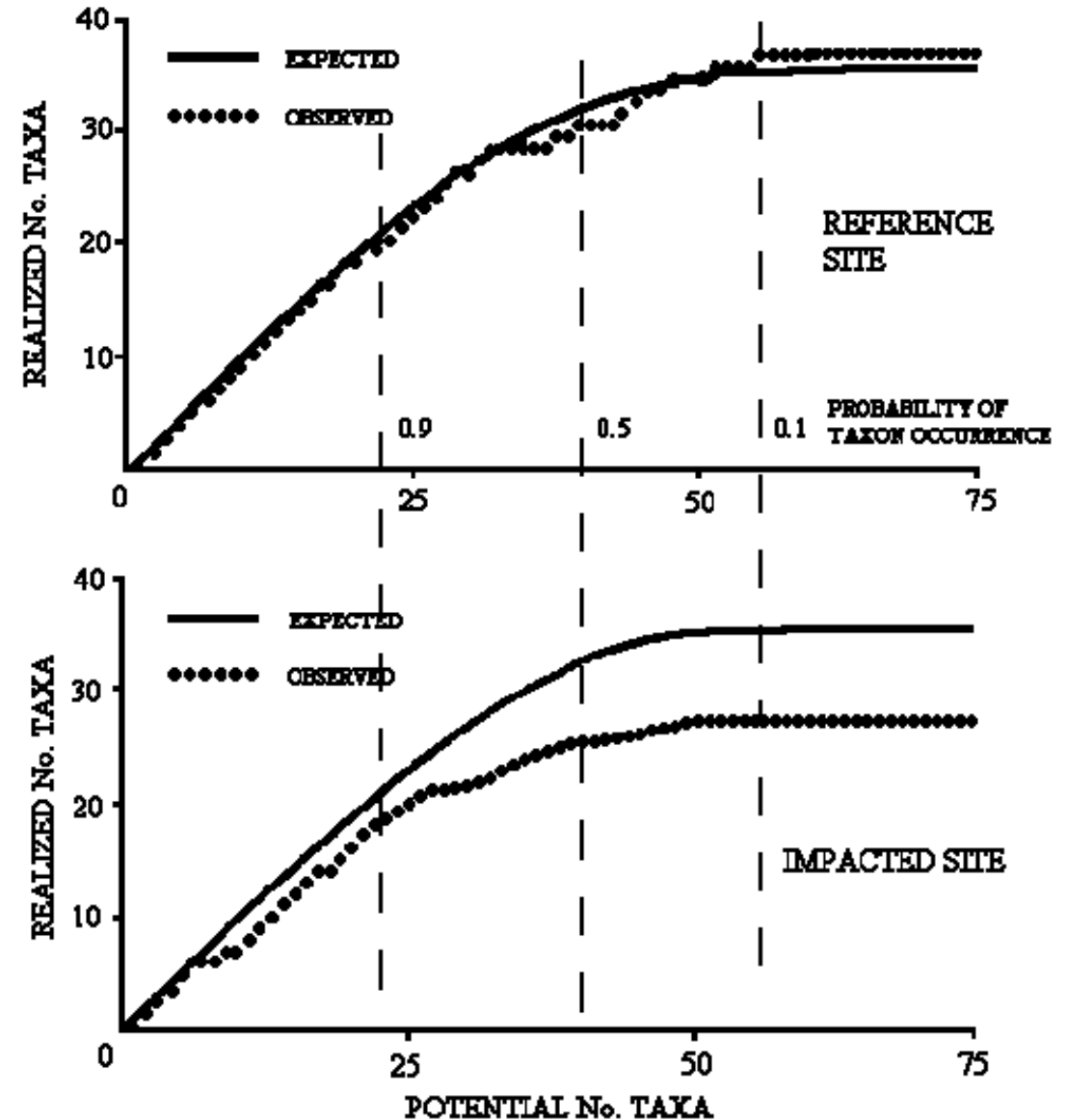
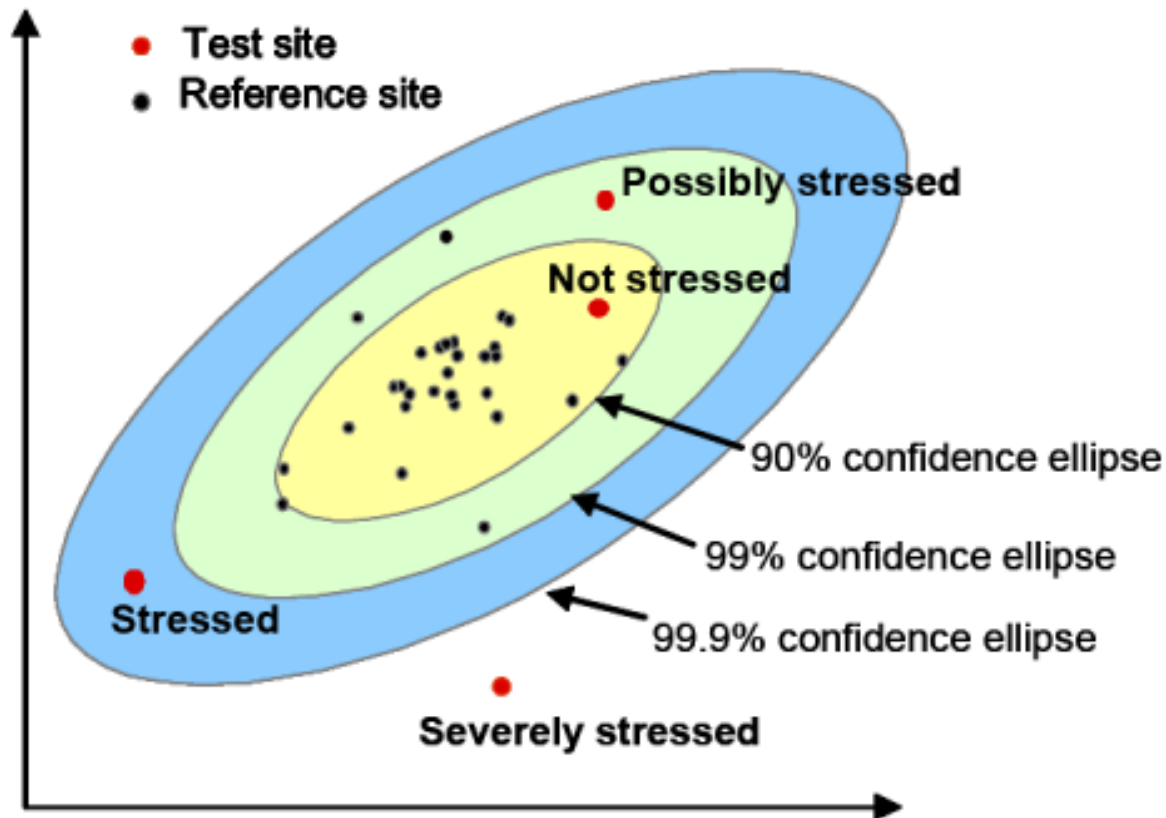
Macedo et al. 2016



Ruaro et al. 2020

# Modelos Expected / Observed

- “desvios da comunidade”



# Risco Relativo (RR)

- **Risco Relativo-RR:** probabilidade de se encontrar condição biológica ruim associada a estressores em condição ruim.

$$RR = \frac{\Pr(MMlp|ng)}{\Pr(MMlp|g)}, \quad (1)$$

$$RR = \frac{\text{Probabilidade de encontrar Condição Biológica pobre} \mid \text{Condição ruim do ambiente}}{\text{Probabilidade de encontrar Condição Biológica pobre} \mid \text{Condição boa do ambiente}}$$

RR < 1 indica ausência de associação entre condição biológica e o estressor

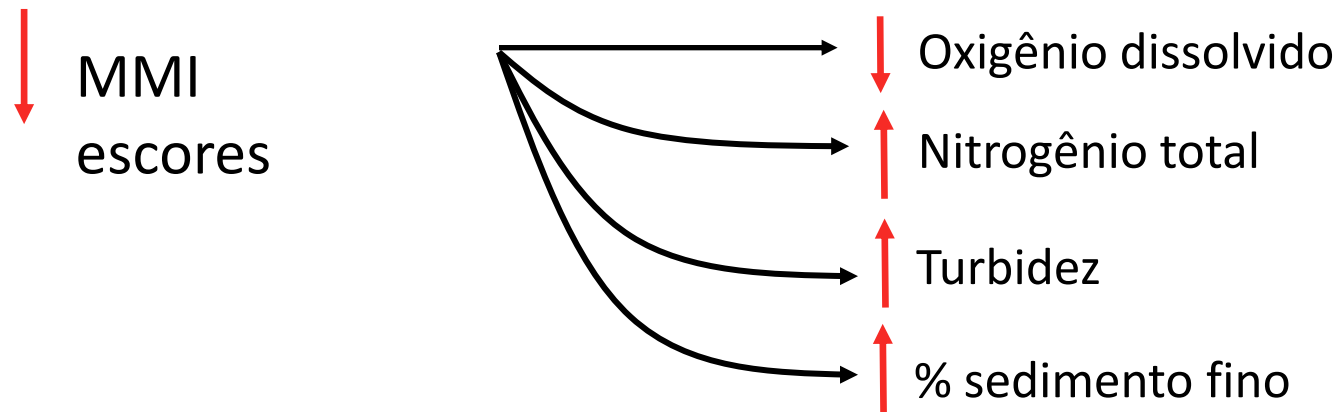


# Risco Relativo (RR)

- **Risco Relativo-RR**: probabilidade de se encontrar condição biológica ruim associada a estressores em condição ruim.

Condição biológica ruim

Estressores em condição ruim

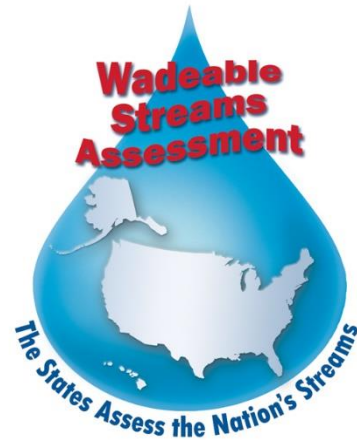


- **Severidade** de determinado estressor para a condição biológica

# Extensão de Estressores (RE)

- **Extensão de Estressores -RE**: extensão de riachos em condição ruim para determinado estressor em dada área.
- p. ex.: 100 sítios amostrados, 70 apresentaram condição ruim para oxigênio dissolvido.
- Desenho amostral: estimativas extensão de riachos (km).
- p. ex.: de 2000 km de riachos amostrados, 1800 km apresentaram condição ruim para oxigênio dissolvido.
- **Magnitude** na qual a condição ruim para determinados estressores foi encontrada em uma região.

# Condição Geral dos EUA – 2000-2004



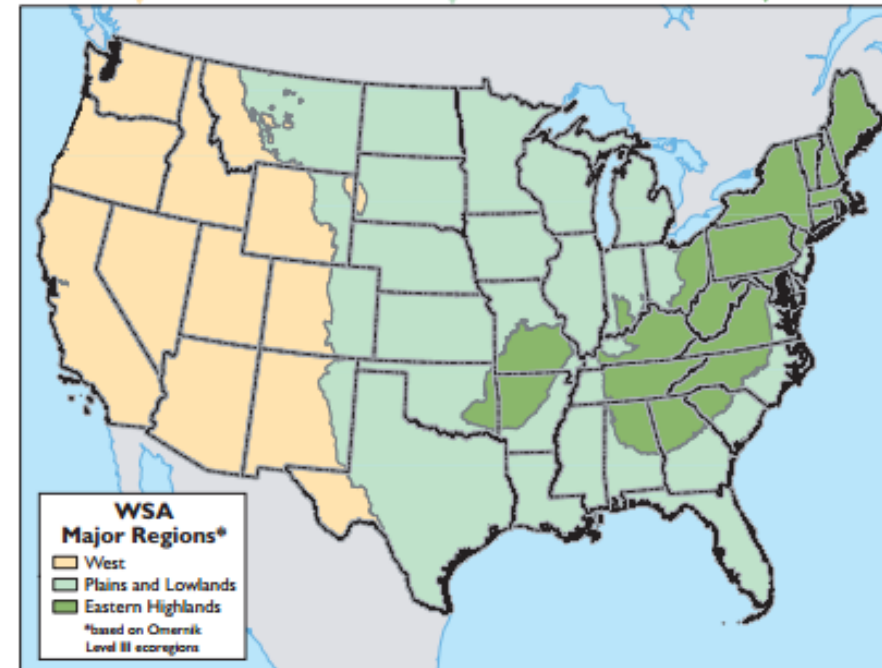
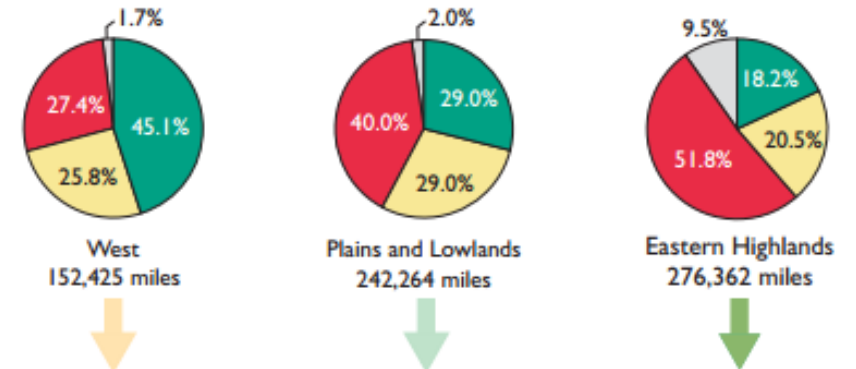
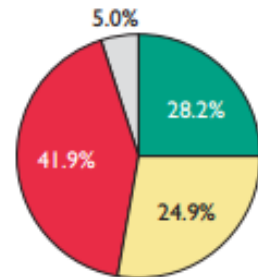
## Condição ecológica

42%: condição ecológica ruim  
25%: condição ecológica razoável  
28%: condição ecológica boa

## Principais estressores:

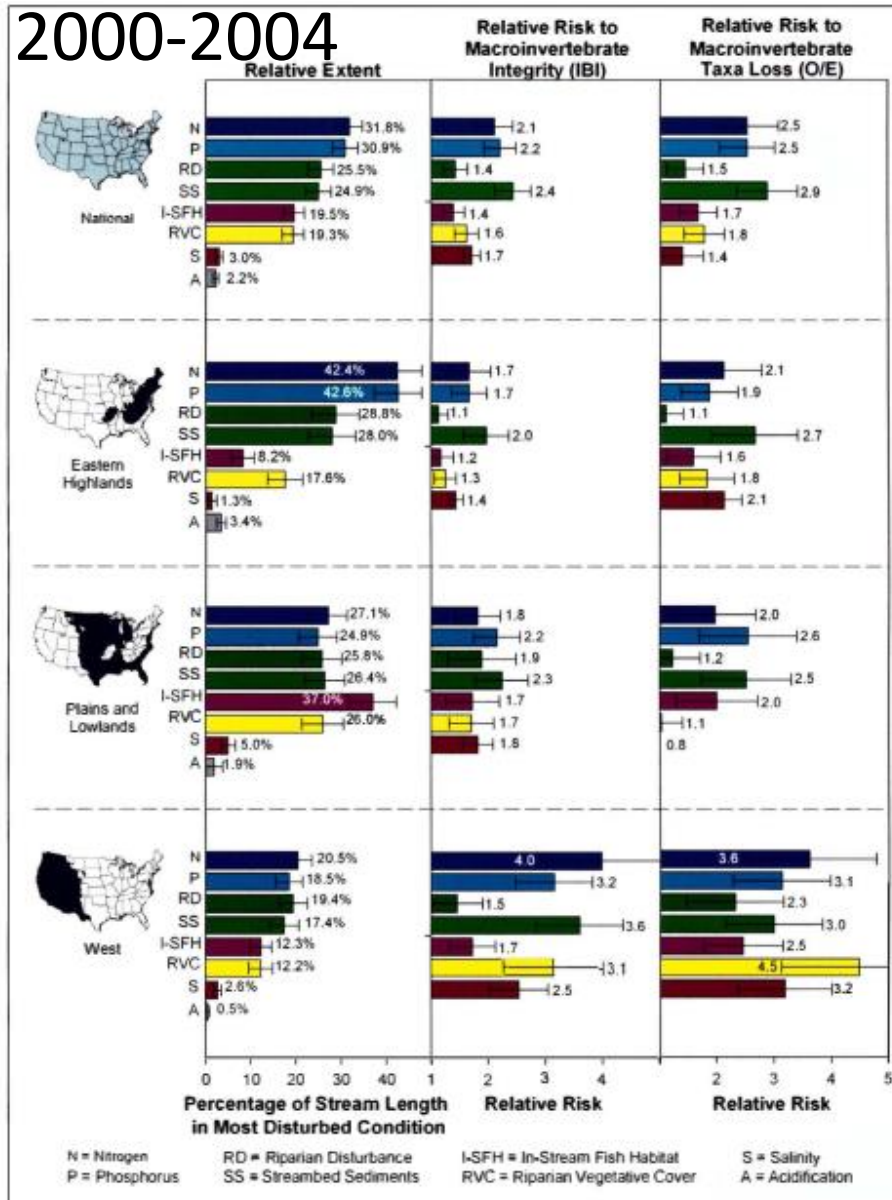
- Nitrogênio
- Fósforo
- Distúrbio na vegetação ripária
- Deposição de material fino

National  
Biological Condition

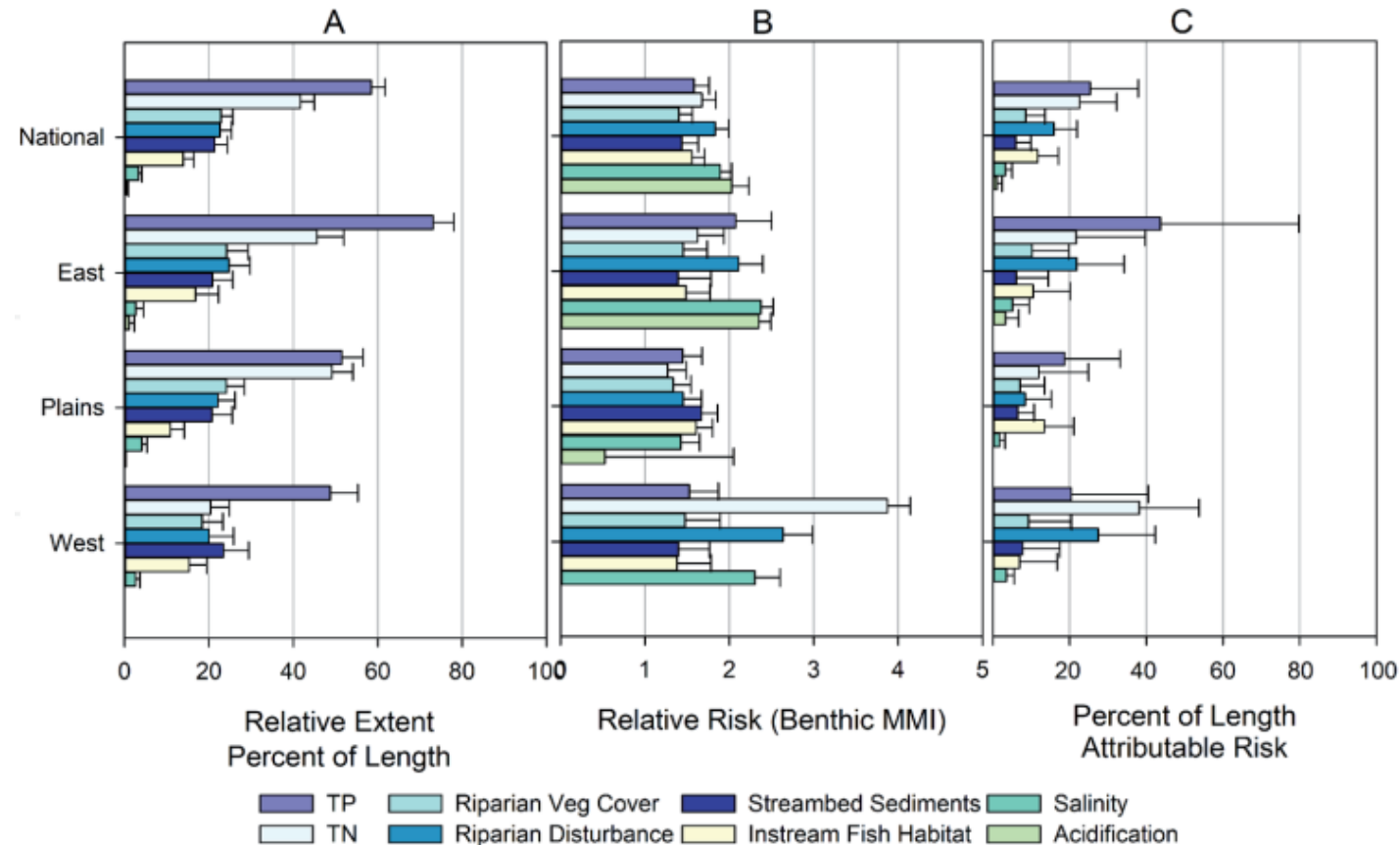


# Comparação multi-temporal

2000-2004



2013-2014

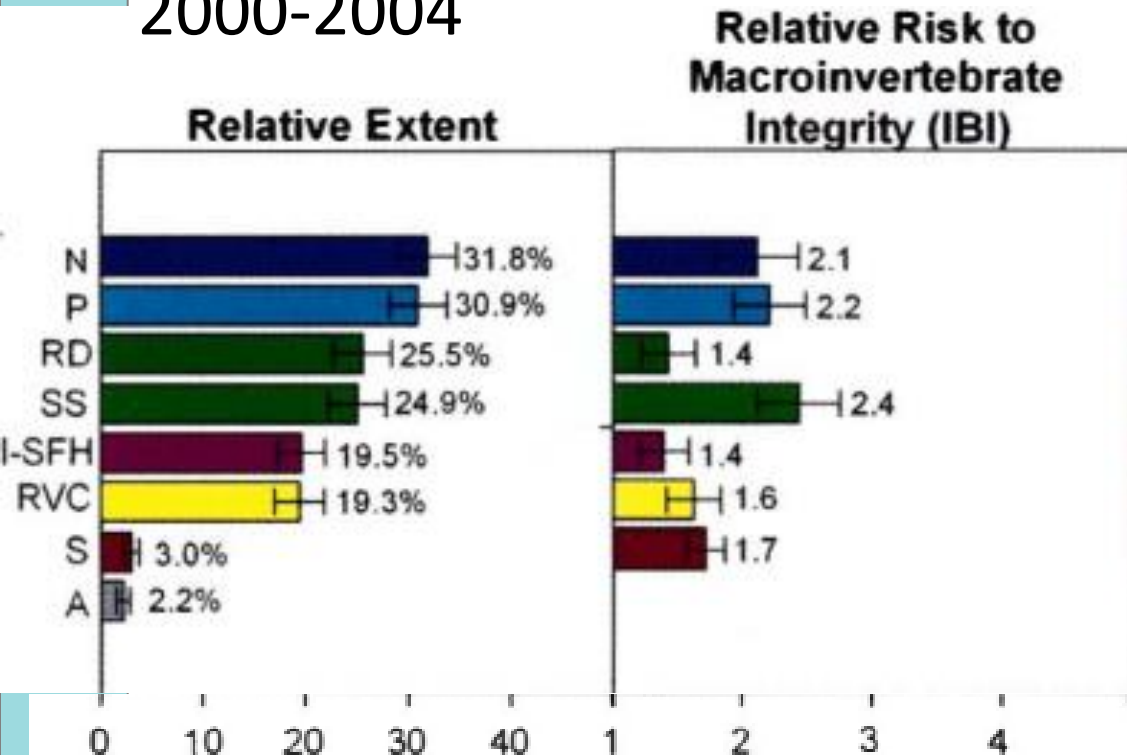


Paulsen et al., 2020



# Comparação multi-temporal

2000-2004



Percentage of Stream Length  
in Most Disturbed Condition

Relative Risk

N = Nitrogen

RD = Riparian Disturbance

P = Phosphorus

SS = Streambed Sediments

I-SFH = In-Stream Fish Habitat

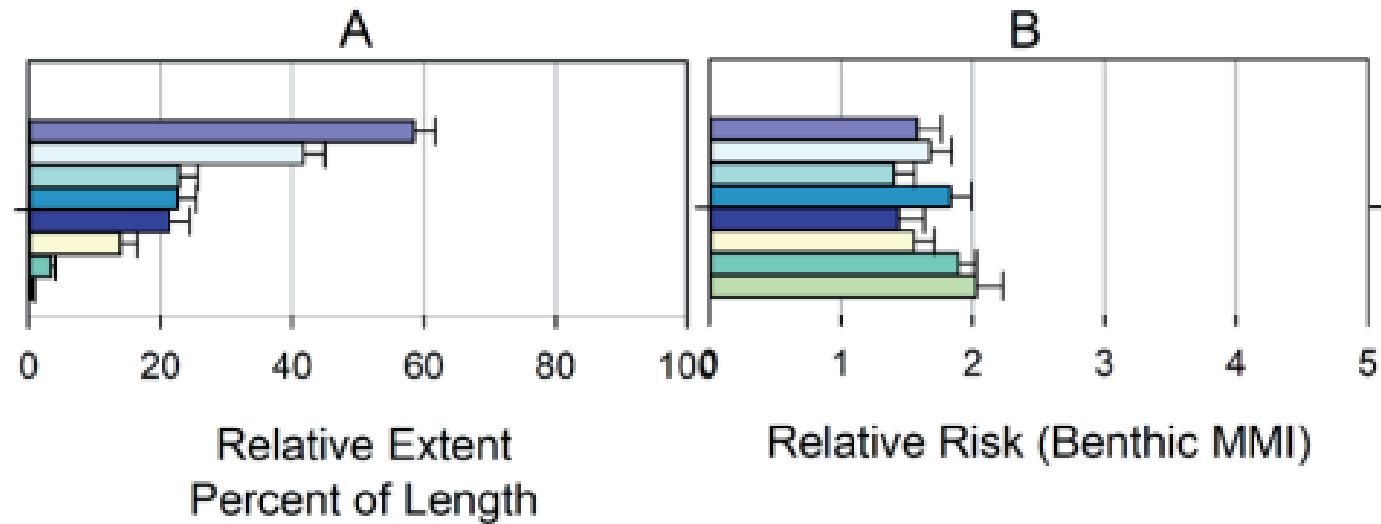
S = Salinity

RVC = Riparian Vegetative Cover

A = Acidification

Faustini et al., 2009

2013-2014



National

Paulsen et al., 2020

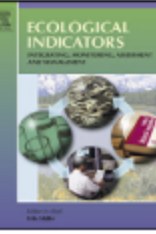
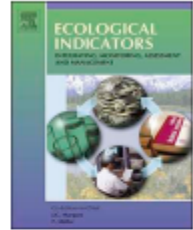
# É possível implementar no Brasil?

Ecological Indicators 110 (2020) 105953

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind)



ELSEVIER

Are multiple multimetric indices effective for assessing ecological condition in tropical basins?

Isabela Martins<sup>a,\*</sup>, Diego Rodrigues Macedo<sup>b</sup>, Robert M. Hughes<sup>c</sup>, Marcos Callisto<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Laboratório de Ecologia de Bentos, Avenida Antônio Carlos 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>b</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Avenida Antônio Carlos 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>c</sup> Amnis Opes Institute and Oregon State University, Department of Fisheries & Wildlife, 104 Nash Hall 97331-3803 Corvallis, OR, USA



at of the

ghes<sup>d,e</sup>



ELSEVIER

Unified Multimetric Index for the Evaluation of the Biological Condition of Streams in Southern Brazil Based on Fish and Macroinvertebrate Assemblages

Renata Ruaro<sup>1,2</sup> · Éder André Gubiani<sup>1,3</sup> · Almir Manoel Cunico<sup>4,5</sup> · Janet Higuti<sup>2</sup> · Yara Moretto<sup>4,5</sup> · Pitágoras Augusto Piana<sup>1,3</sup>

Development of  
(MMI) for Neotropical Savanna headwater streams

Diego R. Macedo<sup>a,\*</sup>, Robert M. Hughes<sup>b</sup>, Wander R. Ferreira<sup>a</sup>, Kele R. Firmiano<sup>a</sup>, Deborah R.O. Silva<sup>a</sup>, Raphael Ligeiro<sup>c</sup>, Philip R. Kaufmann<sup>d</sup>, Marcos Callisto<sup>a</sup>



ELSEVIER

journal home

Cont

Ec

A multi-assemblage, multi-metric index for assessing ecological condition in eastern Amazonia streams

Kai Chen<sup>a,b</sup>, Robert M. Hughes<sup>c,\*</sup>, Janaina José M.B. de Oliveira-Júnior<sup>i</sup>, Vívian C. de Joice Ferreira<sup>k</sup>, Neusa Hamada<sup>d</sup>, Leandro Juen<sup>l</sup>, Jorge Ne Jansen Zuanon<sup>d</sup>

A macroinvertebrate multimetric index for streams in the Central Amazon

S.R.M. Couceiro<sup>a,b,\*</sup>, N. Hamada

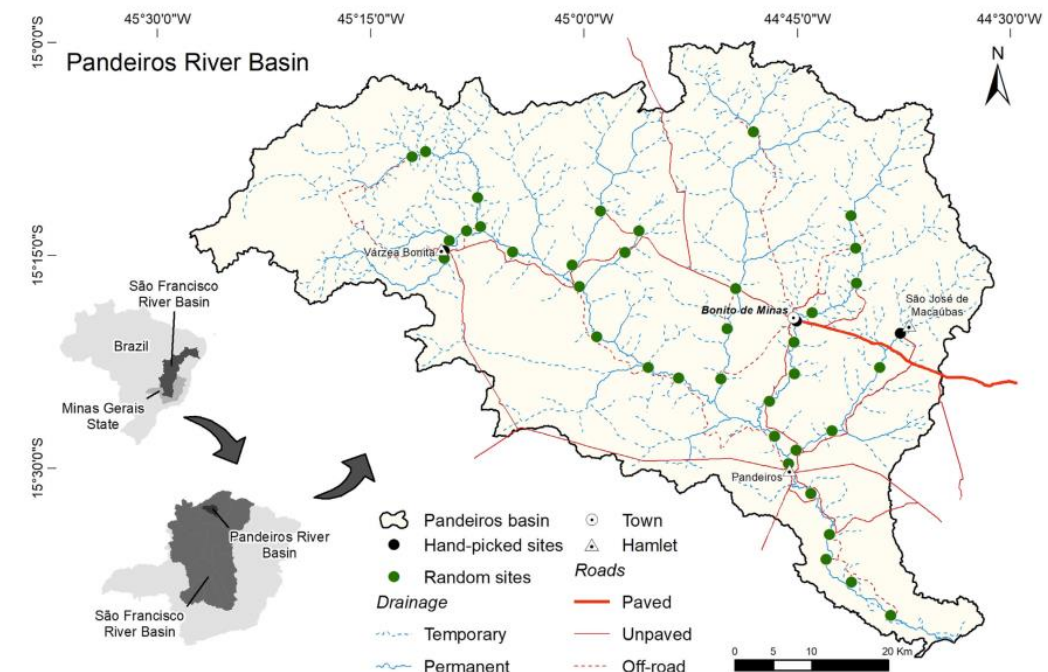
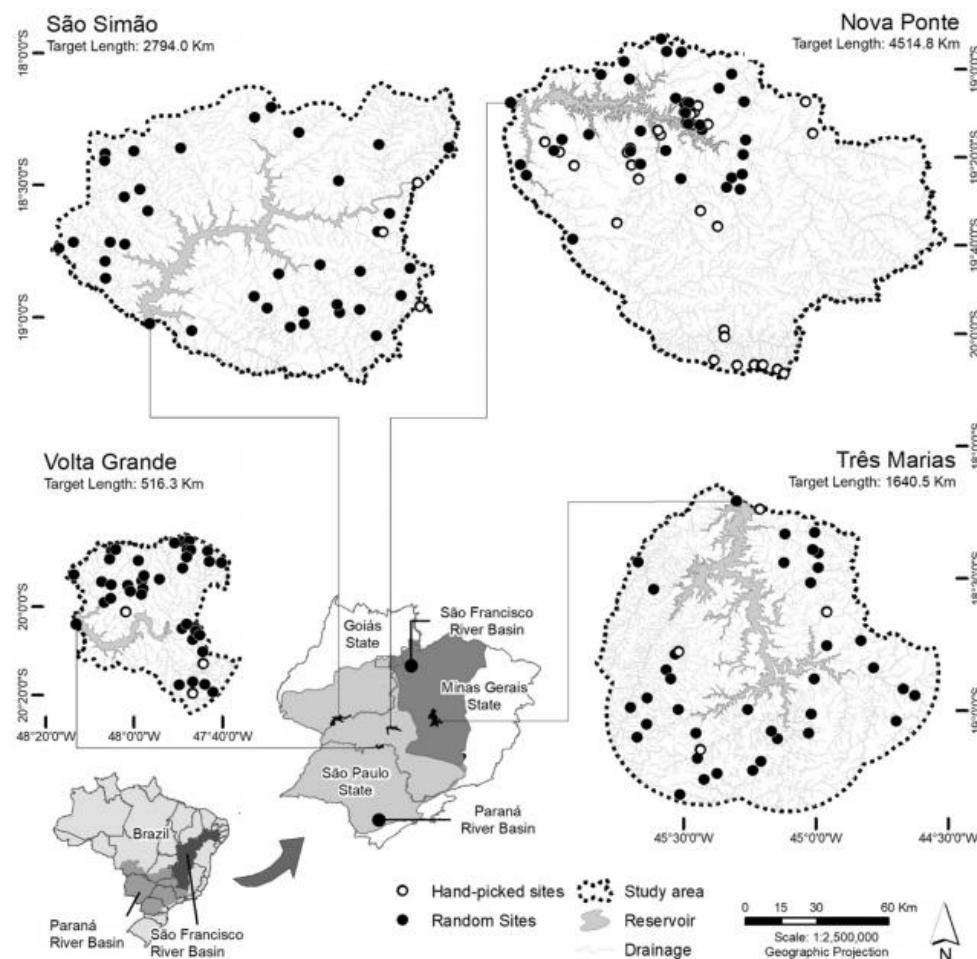
## Assessing the extent and relative risk of aquatic stressors on stream macroinvertebrate assemblages in the neotropical savanna

Déborah R.O. Silva<sup>a,\*</sup>, Alan T. Herlihy<sup>b</sup>, Robert M. Hughes<sup>c</sup>, Diego R. Macedo<sup>d</sup>, Marcos Callisto

## RESEARCH ARTICLE

## Major risks to aquatic biotic condition in a Neotropical Savanna River basin

Isabela Martins<sup>1</sup> | Diego Rodrigues Macedo<sup>2</sup> | Robert Mason Hughes<sup>3,4</sup> | Marcos Callisto<sup>1</sup>

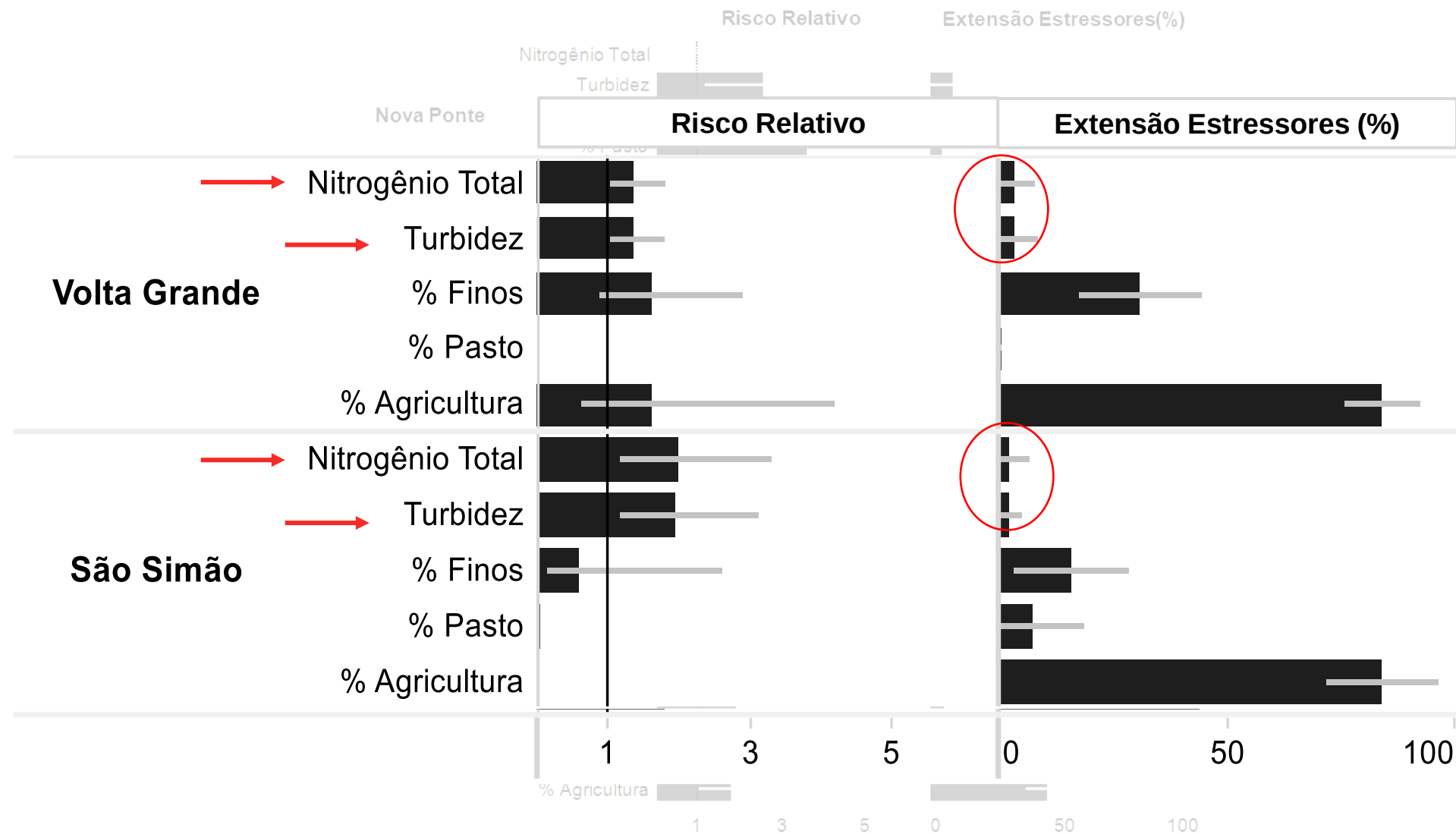


# Exemplo no Cerrado (Nova Ponte e Três Marias)

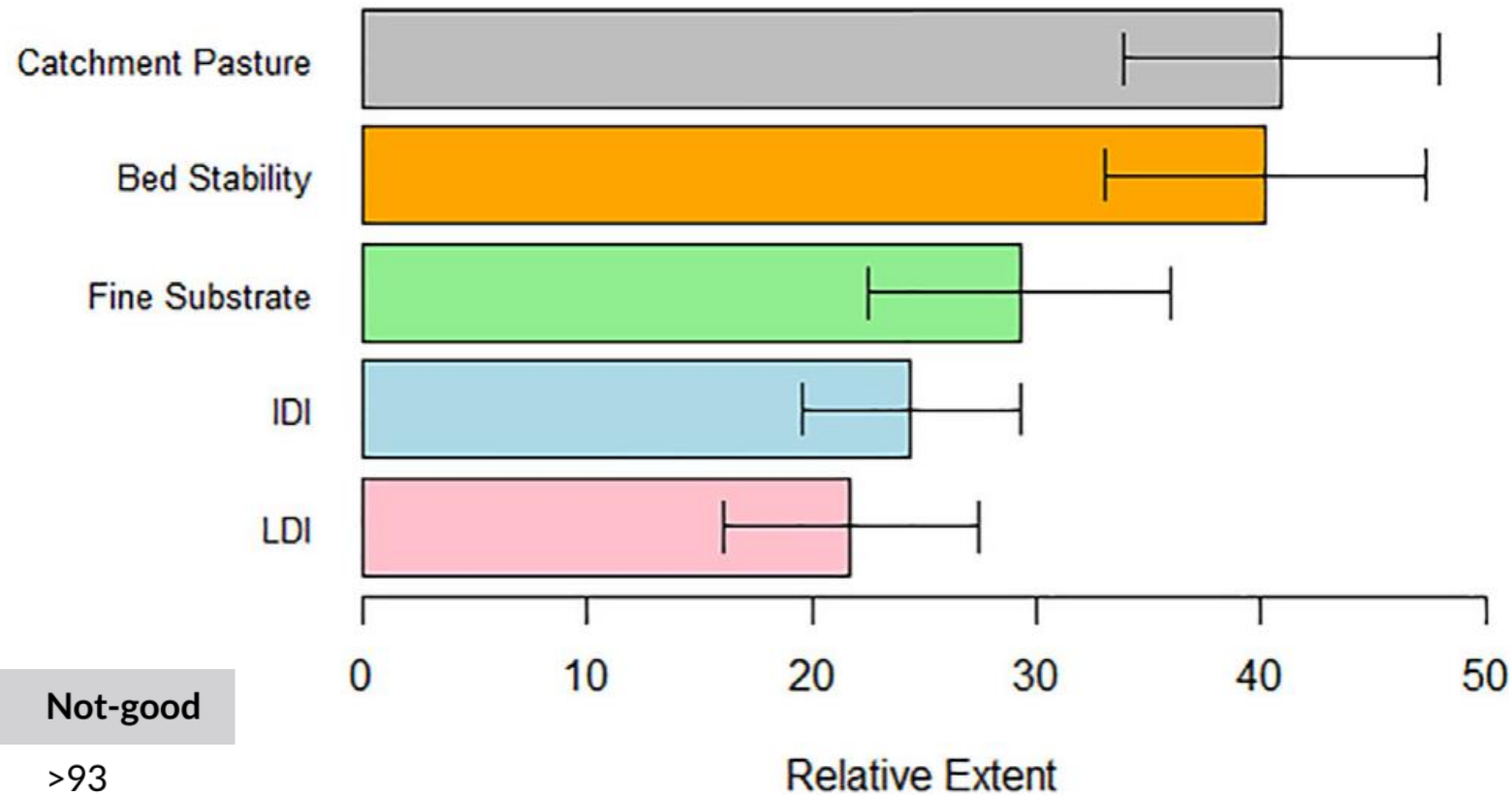




# Exemplo no Cerrado (Volta Grande e São Simão)



# Exemplo no Cerrado (Rio Pandeiros)



**TABLE 2** Disturbance metric thresholds

|                                    | Good        | Not-good |
|------------------------------------|-------------|----------|
| % Fines (substrates <16 mm)        | $\leq 93$   | $> 93$   |
| Local disturbance index (LDI)      | $\leq 1$    | $> 1$    |
| Bed stability                      | $\geq -1.5$ | $< -1.5$ |
| % Pasture (in the total watershed) | $\leq 40\%$ | $> 40\%$ |
| Integrated disturbance index (IDI) | $\leq 0.23$ | $> 0.23$ |

# Conclusões

- Metodologia padronizada é robusta para avaliações ao longo do tempo
- Indicadores biológicos respondem a um série de distúrbios antropogênicos
- Possibilidade em identificar os principais estressores associados às piores condições biológicas
- Possibilidade em avaliar a magnitude destes estressores
- Avaliação integrada da qualidade ambiental
- Mudança da base legal, regulando o monitoramento biológico
- Necessidade da ação coordenada da Agencia Nacional de Águas

# Referencias

- Faustini et al. 2009. Assessing stream ecosystem condition in the United States. *Eos, Trans. Am. Geophys. Union* 90, 309–310.
- Ferreira et al. 2014. Importance of environmental factors for the richness and distribution of benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams. *Freshwater Science*, 33:860-871
- Macedo et al. 2016. Development of a benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams. *Ecol. Indic.* 64, 132–141.
- Macedo et al. 2014. The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in Cerrado biome streams. *Landscape Ecology*, 29(6): 1001–1016
- Martins et al. 2021. Major risks to aquatic biotic condition in a Neotropical Savanna River basin. *River Research and Applications*, (October 2020): rra.3801, ISSN: 1535-1459
- Martins et al. 2020. Are multiple multimetric indices effective for assessing ecological condition in tropical basins? *Ecol. Indic.* 110, 105953.
- Maddock, I. (1999). The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biology* 41: 37
- Paulsen et al. 2008. Condition of stream ecosystems in the US: an overview of the first national assessment. *J. North Am. Benthol. Soc.* 27, 812–821
- Paulsen et al. 2020. Rivers and Streams: Upgrading Monitoring of the Nation's Freshwater Resources - Meeting the Spirit of the Clean Water Act, in: *Water Quality - Science, Assessments and Policy*. IntechOpen, London, UK, pp. 50–74.
- Ruaro et al. 2020. Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. *Ecol. Indic.* 110, 105862.
- Shapiro et al. 2008. The need to assess the condition of aquatic resources in the US. *J. North Am. Benthol. Soc.* 27, 808–811.
- Silva et al. 2017. An improved macroinvertebrate multimetric index for the assessment of wadeable streams in the neotropical savanna. *Ecol. Indic.* 81, 514–525.
- Silva et al. 2018. Assessing the extent and relative risk of aquatic stressors on stream macroinvertebrate assemblages in the neotropical savanna. *Sci. Total Environ.* 633, 179–188.



Muito Obrigado

[www.diegomacedo.pro.br](http://www.diegomacedo.pro.br)

[diegorm@ufmg.br](mailto:diegorm@ufmg.br)