

## INTRODUÇÃO

Utilizamos a série histórica de vazões da estação fluviométrica 3406000 – RIBEIRO GONÇALVES obtida no site da ANA para alcançar os seguintes objetivos:

1. Correlacionar os valores de vazão com os índices climáticos;
2. Estabelecer uma base de dados com as variáveis a serem previstas e os índices;
3. Desenvolver um modelo de previsão utilizando técnicas de regressão e
4. Utilizar o método não-paramétrico K-Vizinho para reamostrar a série histórica.

## 1 ESCOLHA DA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

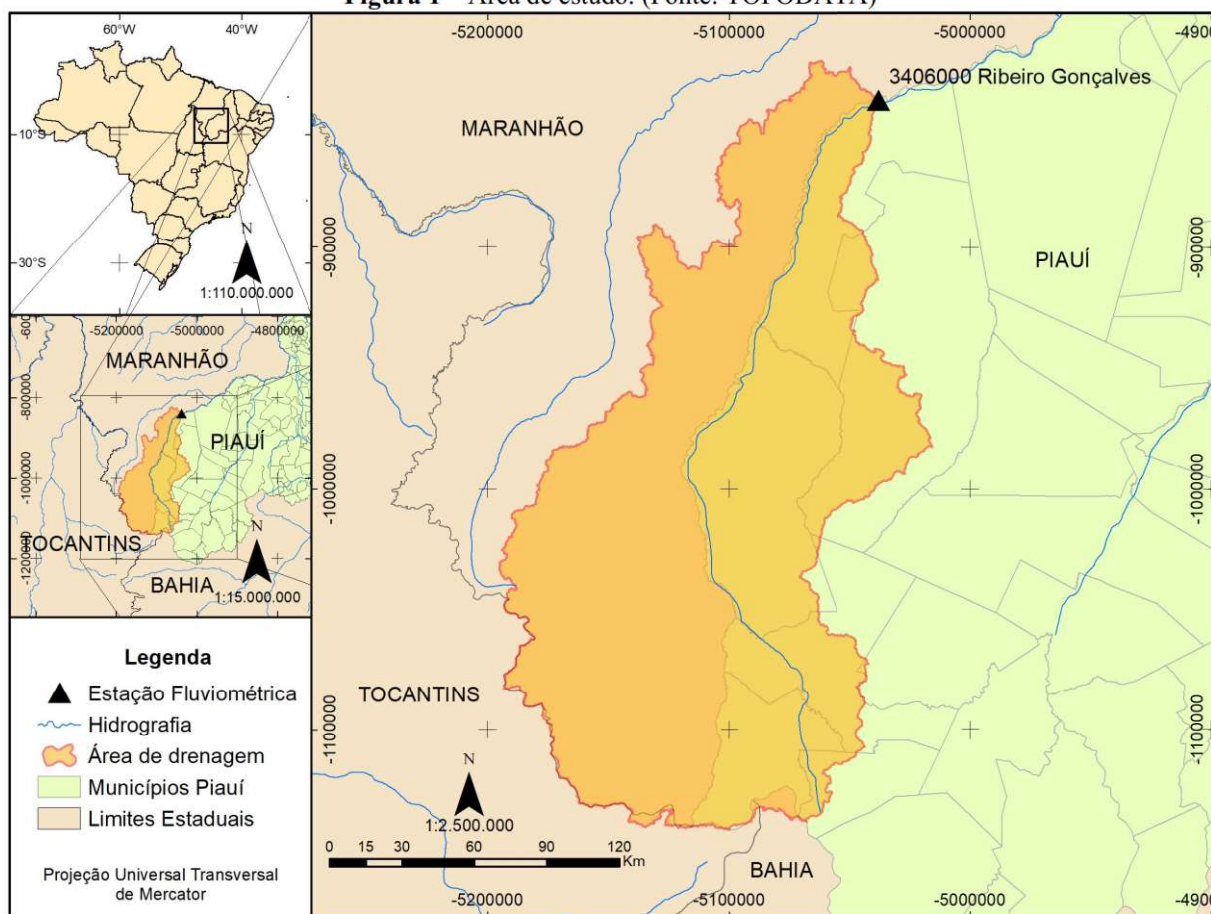
Para realizar a sequência de etapas que compõem os objetivos específicos desse trabalho, escolhemos a estação fluviométrica 34060000 – RIBEIRO GONÇALVES.

Essa estação fluviométrica está localizada na Bacia do Rio Parnaíba, importante curso d'água localizado no conjunto das Bacias Norte-Nordeste e identificada pelo código 34 pela ANA (Agência Nacional de Águas) (Figura 1). A ANA também é responsável pela estação, ao passo em que a CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) é sua operadora.

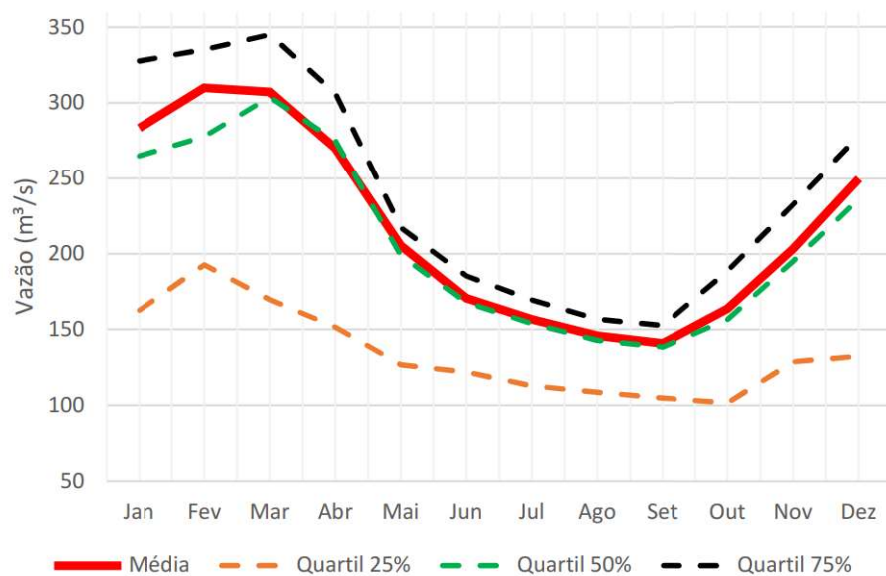
A estação se localiza no município piauiense de Ribeiro Gonçalves nas margens do Rio Parnaíba e registra a vazão diária através da Curva-chave de cota-vazão segundo a leitura de uma régua vertical. A área de drenagem correspondente a esse ponto é oficialmente de 31,3 mil km<sup>2</sup>, mas, segundo dados do TOPODATA, essa área é equivalente a **32 mil km<sup>2</sup>** (representada na cor laranja na figura 1).

Os dados tabelados de Vazão Média Mensal foram obtidos na plataforma HIDROWEB em formato de banco de dados. Sua leitura foi realizada utilizando o software Hidro 1.4 disponibilizado no próprio HIDROWEB. A série histórica é composta por valores consistidos e brutos segundo uma amplitude temporal que se inicia em **janeiro de 1966** e termina em **agosto de 2019**. Foram usados, entretanto os valores até dezembro de 2018. Os dados preparados (removidas as entradas duplicadas) podem ser acessados nesse [link](#) em formato de arquivo de texto (\*.txt) e estão representados na figura 2.

**Figura 1 – Área de estudo. (Fonte: TOPODATA)**



**Figura 2 – Resumo da série histórica de vazões mensais médias para 34060000 – RIBEIRO GONÇALVES (Fonte: ANA)**





## 2 IDENTIFICAÇÃO DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS

### 2.1 Correlacionar a variável de interesse com o índice pré-definido

Buscamos no site “<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>” a série histórica de 41 índices climatológicos para correlacionar os valores de média mensal de vazão da estação fluviométrica 34060000 RIBEIRO GONÇALVES. Para tanto, desenvolvemos um programa em Java, que lê os dados do website, prepara um conjunto de dados temporalmente equivalentes entre os dados de índices e da série histórica de vazões e realiza as correlações trimestrais com lag 0 e lag 1 para os valores de vazão do conjunto de meses de Janeiro a Maio. Os resultados dessa análise são mostrados na tabela 1, onde, para cada coluna, os quatro maiores valores de correlação em módulo estão em negrito. As colunas subsequentes representam o valor de R (correlação) para intervalos mensais e anual com Lag 0 e Lag 1, respectivamente.

**Tabela 1** – Correlação entre os índices climatológicos e a série de vazões da Estação Fluviométrica 34060000 RIBEIRO GONÇALVES. (Fonte: ANA e PSL/NOAA)

Índice	Lag 0						Lag 1					
	JFM	AMJ	JAS	OND	JFMAM	Anual	JFM	AMJ	JAS	OND	JFMAM	Anual
PNA	-0.12	-0.01	-0.18	0.17	-0.09	-0.08	-0.03	-0.02	-0.10	-0.11	0.01	-0.12
EP NP	0.17	0.05	0.29	0.17	0.14	0.29	0.11	-0.13	0.32	0.09	-0.01	0.15
G M L OC TEMP	<b>-0.44</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.48</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.45</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.48</b>	<b>-0.44</b>	<b>-0.44</b>	<b>-0.47</b>
NE BR RF ANM	<b>0.39</b>	0.14	0.03	0.20	0.31	0.23	0.20	0.24	0.13	<b>0.33</b>	0.23	0.32
ENSO	-0.06	-0.01	0.18	0.21	-0.06	0.11	-0.13	-0.30	-0.19	-0.14	-0.21	-0.25
QBO	0.13	0.19	0.13	0.04	0.17	0.16	-0.05	-0.06	-0.09	-0.02	-0.05	-0.07
AMO SMOOTHED	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
CAR	<b>-0.54</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.40</b>	-0.45	-0.51	<b>-0.48</b>	<b>-0.34</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.57</b>	-0.37	<b>-0.51</b>
NTA	-0.13	-0.19	-0.39	-0.37	-0.15	-0.29	-0.20	-0.16	-0.34	-0.33	-0.18	-0.28
AMM	0.13	0.23	-0.09	-0.34	0.18	-0.02	-0.05	0.15	-0.12	-0.27	0.04	-0.08
AMO	-0.29	-0.31	<b>-0.41</b>	<b>-0.44</b>	-0.31	-0.39	<b>-0.32</b>	-0.30	-0.32	-0.36	<b>-0.33</b>	-0.35
AT TRIP SST EOF	-0.10	-0.11	-0.23	-0.18	-0.11	-0.17	-0.18	-0.09	-0.08	-0.17	-0.16	-0.14
TRO PAC SST EOF	-0.10	0.04	0.12	0.22	-0.08	0.09	-0.07	-0.28	-0.20	-0.10	-0.16	-0.20
PAC WARMPOOL	-0.18	-0.13	-0.31	-0.03	-0.16	-0.16	-0.10	-0.21	-0.24	-0.23	-0.14	-0.20
AAO	-0.29	-0.33	-0.24	-0.33	-0.40	-0.47	-0.27	-0.02	0.11	0.04	-0.23	-0.03
NP	-0.09	0.14	-0.16	-0.35	-0.07	-0.23	-0.08	0.22	-0.09	0.01	-0.04	-0.01
NOI	-0.13	0.16	0.16	0.16	-0.11	0.16	0.04	0.28	0.10	-0.13	0.08	0.07
TPI IPO	-0.06	0.19	0.24	0.32	0.02	0.22	0.07	-0.10	-0.13	-0.07	0.03	-0.07
PDO	-0.05	0.03	0.17	0.11	-0.01	0.08	0.08	0.00	0.00	-0.11	0.08	-0.01
NINO3 4	-0.12	-0.10	0.07	0.14	-0.13	0.02	-0.05	-0.35	-0.19	-0.13	-0.14	-0.21
NINO4	-0.04	-0.09	0.00	0.10	-0.07	0.00	-0.08	-0.30	-0.21	-0.10	-0.15	-0.19
NINO1 2	-0.31	-0.16	-0.09	0.04	-0.26	-0.14	-0.25	-0.38	-0.36	-0.22	-0.34	-0.37
MEI V2	-0.06	0.05	0.29	0.26	-0.04	0.18	-0.07	-0.19	-0.07	-0.05	-0.11	-0.13
ONI	-0.10	0.01	0.16	0.19	-0.08	0.10	-0.04	-0.24	-0.12	-0.08	-0.09	-0.14
TSA	<b>-0.39</b>	-0.42	-0.33	-0.32	-0.42	<b>-0.44</b>	-0.18	-0.15	0.04	-0.09	-0.18	-0.12
TNA	-0.12	-0.09	-0.30	-0.35	-0.11	-0.23	-0.16	-0.09	-0.28	-0.33	-0.13	-0.24
BEST	-0.07	0.02	0.11	0.23	-0.06	0.10	0.02	-0.21	-0.12	-0.04	-0.06	-0.10
NINO3	-0.19	-0.13	0.03	0.10	-0.21	-0.04	-0.08	<b>-0.39</b>	-0.26	-0.16	-0.20	-0.28
SOI	0.07	-0.01	-0.08	-0.29	0.05	-0.10	0.00	0.12	0.08	-0.04	0.03	0.04
NAO Jones	-0.13	-0.16	0.22	0.19	-0.18	0.19	-0.28	0.09	0.21	0.01	-0.28	-0.03
NAO	-0.20	0.03	0.16	-0.07	-0.21	-0.04	<b>-0.30</b>	0.00	0.27	0.10	<b>-0.36</b>	0.02
EA WR	-0.01	0.21	0.34	0.14	0.09	0.31	-0.14	0.08	0.24	-0.07	-0.10	0.06
WP	-0.19	0.27	0.26	-0.12	-0.09	0.12	0.05	0.26	<b>0.41</b>	0.10	0.08	0.39
HUR ACTIVITY	-0.24	0.00	0.06	-0.20	-0.24	-0.02	-	-0.01	0.10	0.04	-0.12	0.10
G INT ANG M	0.23	0.24	0.25	0.24	0.24	0.24	-0.04	-0.03	0.09	0.08	-0.04	0.02
CENT INDIA PRE	0.25	0.14	-0.28	0.05	0.23	-0.14	0.44	-0.05	-0.06	0.03	0.30	-0.02
SAHEL RAINFALL	0.12	-0.06	-0.31	-0.07	-0.04	-0.29	-0.11	0.14	-0.23	0.01	-0.03	-0.17
SW	0.25	0.27	-0.24	0.06	0.31	0.17	0.22	0.26	-0.19	0.01	0.27	0.15
S FLUX 10-7CM	0.32	<b>0.36</b>	0.33	<b>0.37</b>	0.34	0.35	0.15	0.22	0.22	0.27	0.17	0.22
TNI	-0.09	-0.05	-0.05	-0.09	-0.08	-0.08	-0.03	-0.11	-0.13	-0.10	-0.06	-0.11
WHWP	-0.32	<b>-0.35</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.40</b>	-0.36	<b>-0.44</b>	-0.25	<b>-0.41</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.54</b>	<b>-0.34</b>	<b>-0.54</b>

2.2 Correlacionar a variável de interesse com o campo de uma variável

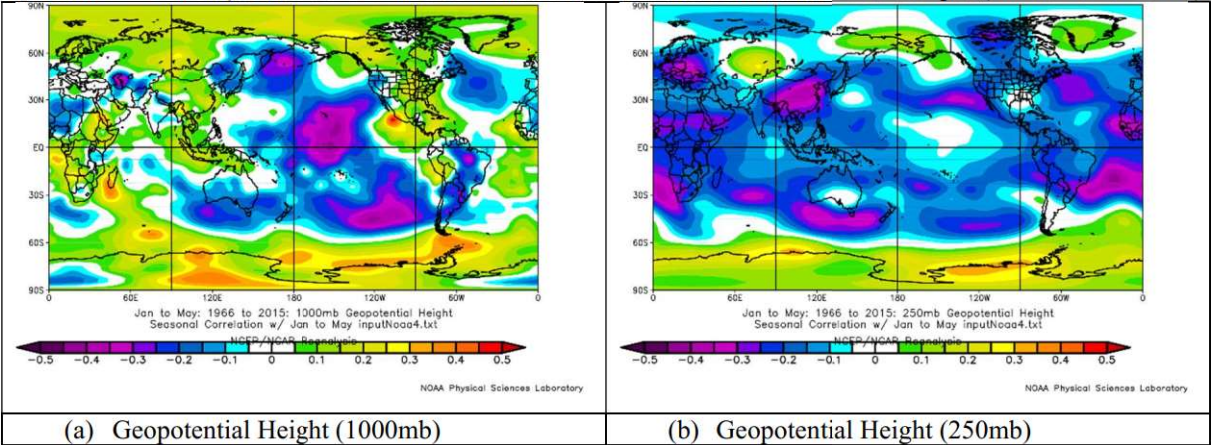
O site atual do NOAA requer que o arquivo de dados do usuário esteja formatado conforme uma sequência própria e que esteja armazenado em um servidor que possa ser acessado por um protocolo FTP para realizar a correlação. O formato é o mesmo que é usado para fornecer os dados dos Índices Climáticos. O arquivo de dados de vazão média mensal de 34060000 – RIBEIRO GONÇALVES formatado e em formato de texto (\*.txt) pode ser baixado [aqui](#).

```
year1 yearN
year1 janval febval marval aprval mayval junval julval augval sepval octval novval decval
year2 janval febval marval aprval mayval junval julval augval sepval octval novval decval
...
yearN janval febval marval aprval mayval junval julval augval sepval octval novval decval
missing_value
```

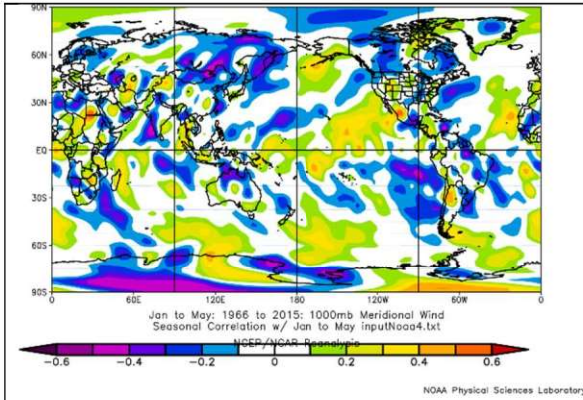
O programa criado em Java foi adaptado para criar esse arquivo partindo dos dados importados do HIDROWEB. O servidor utilizado como *host* para hospedar o arquivo formatado foi o disponibilizado no pelo próprio Laboratório de Ciências Físicas do NOAA através do endereço `ftp://ftp2.psl.noaa.gov/Public/incoming/timeseries/`

Realizamos a correlação para o conjunto de meses janeiro-maio com Lag 0. Obtivemos os seguintes resultados.

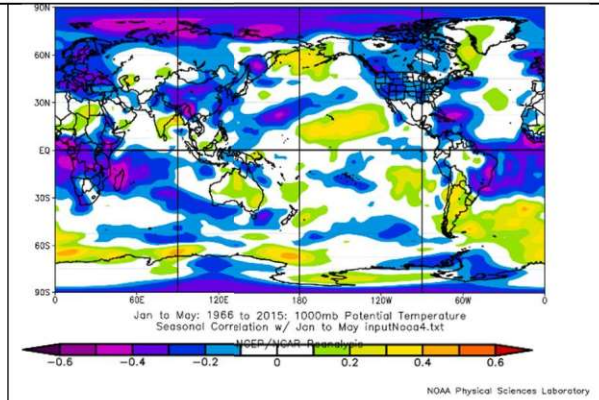
Quadro 1 – Correlação das vazões médias mensais de 34060000 com variáveis de campo. (Fonte: PSL/NOAA)



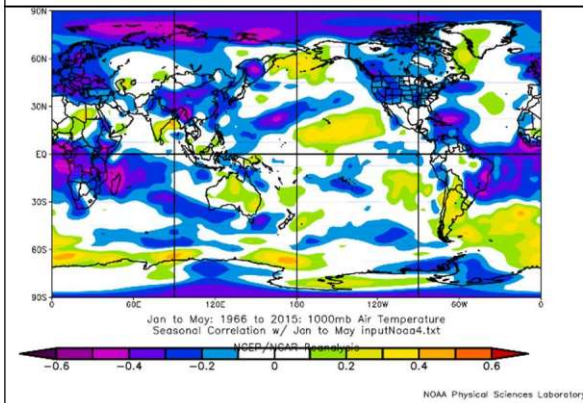




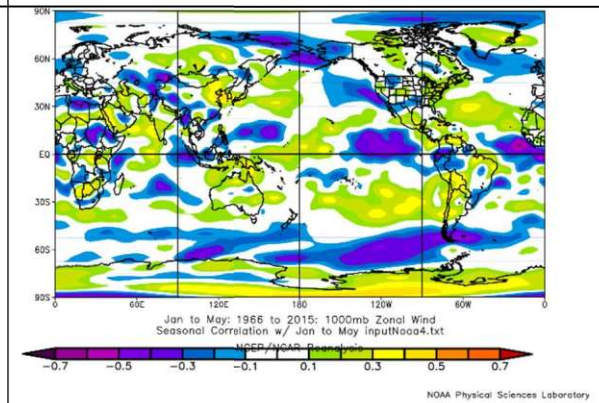
(c) Meridional Wind (1000mb)



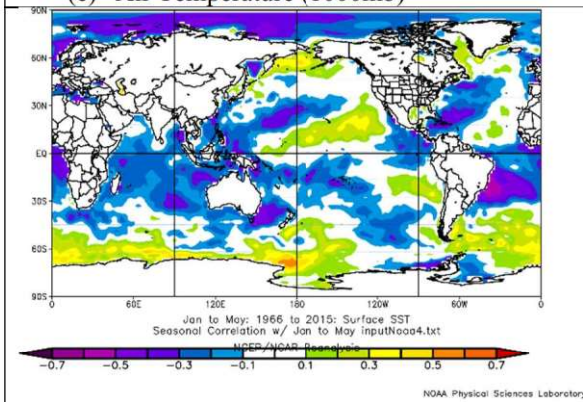
(d) Potential Temperature (1000mb)



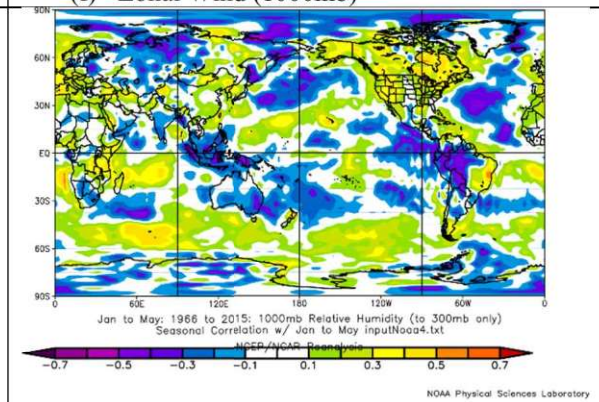
(e) Air Temperature (1000mb)



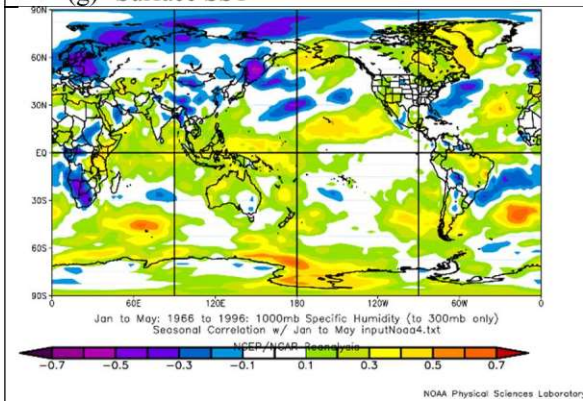
(f) Zonal Wind (1000mb)



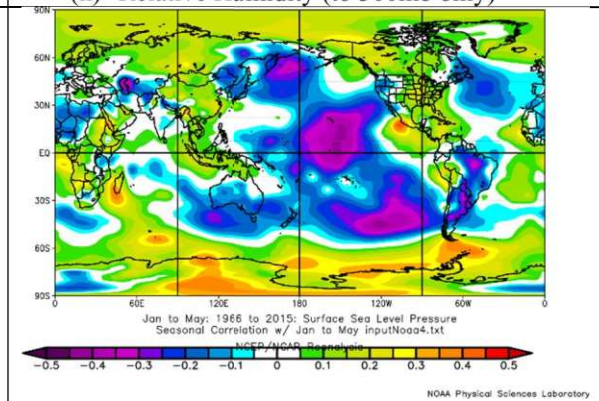
(g) Surface SST



(h) Relative Humidity (to 300mb only)



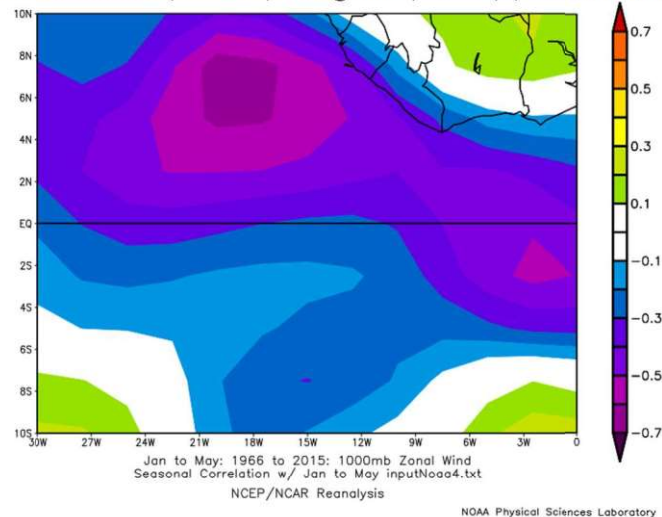
(i) Specific Humidity (to 300mb only)



(j) Surface Sea Level Pressure

Na tentativa de explicar a variabilidade das vazões do posto fluviométrico 3406000 – RIBEIRO GONÇALVES para o período de **janeiro a maio** foi escolhido o **Zonal Wind (1000mb)** como referência, segundo a área mostrada na Figura 3.

**Figura 3** – Correlação entre Zonal Wind (1000mb) e vazões de 3406000 – RIBEIRO GONÇALVES no intervalo de latitude (10°/-10°) e longitude (-30°/0°) (Fonte: PSL/NOAA)



Infelizmente, o mecanismo de obtenção dos dados de campo tabelados dessa região acabou se apresentando muito confuso, apesar das instruções disponibilizadas no roteiro deste trabalho, o que inviabilizou a utilização desse índice nas fases subsequentes.

### 3 BASE DE DADOS COM AS VARIÁVEIS A SEREM PREVISTAS E OS ÍNDICES

Foram escolhidos da tabela 1, os índices a seguir todos com Lag 1 para realizar a previsão climática sazonal em função da sua melhor correlação com as vazões de janeiro a maio da estação pluviométrica.

- GLOBAL\_MEAN\_OCEAN\_LAN\_TEMPERATURE (GMT) – JAS LAG1
- CAR (Caribbean Index) – OND LAG1

A tabela a seguir resume o conjunto de dados utilizado.



**Tabela 2** – Resumo do conjunto de dados utilizados. (Fonte: ANA e PSL/NOAA)

	Vazão	GMT	CAR		Vazão	GMT	CAR
ANO	padronizada	JAS	OND	ANO	padronizada	JAS	OND
1966	0.04	-0.33	-0.16	1993	-0.81	17.00	-0.13
1967	1.02	-1.33	-0.14	1994	-0.23	26.67	0.09
1968	0.57	-13.00	0.05	1995	0.01	42.00	0.03
1969	-0.12	3.33	0.05	1996	-0.40	36.33	-0.21
1970	-0.13	0.00	-0.13	1997	0.46	43.00	0.04
1971	-0.57	-6.00	-0.16	1998	-1.01	58.67	0.36
1972	-0.80	6.67	0.01	1999	-0.24	36.33	-0.07
1973	-0.48	7.67	-0.25	2000	0.56	40.00	0.00
1974	0.99	-1.33	-0.42	2001	-0.62	53.67	0.13
1975	0.13	-7.67	-0.39	2002	0.06	58.67	0.22
1976	0.02	-11.00	-0.27	2003	-1.01	60.67	0.22
1977	0.46	12.00	-0.11	2004	0.19	39.00	0.18
1978	1.42	-3.00	-0.03	2005	0.13	65.67	0.17
1979	2.19	13.67	-0.21	2006	-0.41	61.00	0.22
1980	3.10	23.33	-0.02	2007	-1.02	58.67	0.09
1981	1.06	27.67	-0.15	2008	-0.46	55.00	-0.10
1982	0.89	11.33	-0.17	2009	0.09	67.67	0.37
1983	0.32	30.00	0.14	2010	-1.12	60.33	-0.01
1984	-0.36	18.00	-0.38	2011	-0.32	65.33	0.04
1985	1.99	9.67	-0.22	2012	-0.91	62.33	0.33
1986	1.35	7.67	-0.16	2013	-0.83	67.00	0.27
1987	0.54	37.33	0.02	2014	-1.38	75.00	0.35
1988	0.42	40.67	-0.19	2015	-1.88	77.33	0.57
1989	1.04	36.00	-0.11	2016	-1.91	90.00	0.48
1990	0.40	34.33	0.00	2017	-1.75	81.67	0.41
1991	0.35	45.33	-0.25	2018	-1.27	75.67	0.20
1992	0.23	6.33	-0.15				

## 4 MODELO REGRESSIVO

A figura 4 mostra o resultado da regressão linear tomando o conjunto de dados discriminado anteriormente, onde os índices correspondem às variáveis independentes e as vazões padronizadas, às variáveis dependentes. Vazão 1 se refere à regressão feita com o índice GMT JAS LAG1 e Vazão 2, com o índice CAR OND LAG1.

**Figura 4** – Resultado da regressão linear.

Parameters

		Value	Standard Error
Vazao (1)	Intercept	0.68881	0.17948
	Slope	-0.02026	0.00408
Vazao (2)	Intercept	0.01956	0.11579
	Slope	-2.4296	0.51483
Vazao (3)	Intercept	0.19688	0.12859
	Slope	-0.27989	0.0669

Statistics

	Vazao (1)	Vazao (2)	Vazao (3)
Number of Points	53	53	53
Degrees of Freedom	51	51	51
Residual Sum of Squares	35.05426	36.19434	38.71277
Adj. R-Square	0.31266	0.29031	0.24093

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
Vazao (1)	0.68881	0.17948	-0.02026	0.00408	0.31266
Vazao (2)	0.01956	0.11579	-2.4296	0.51483	0.29031
Vazao (3)	0.19688	0.12859	-0.27989	0.0669	0.24093

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Vazao (1)	Model	1	16.94574	16.94574	24.65414	8.06692E-6
	Error	51	35.05426	0.68734		
	Total	52	52			
Vazao (2)	Model	1	15.80566	15.80566	22.27112	1.88254E-5
	Error	51	36.19434	0.70969		
	Total	52	52			
Vazao (3)	Model	1	13.28723	13.28723	17.50453	1.13027E-4
	Error	51	38.71277	0.75907		
	Total	52	52			

## 5 REAMOSTRAGEM DA SÉRIE HISTÓRICA UTILIZANDO O MÉTODO NÃO PARAMÉTRICO K-VIZINHO

Aplicamos o método paramétrico k-vizinho para reamostrar a série histórica e realizar a previsão para o ano de 2019 (Tabela 4). Usamos os 30 anos mais próximos do último ano da série (Tabela 3). Os pesos adotados para os índices GMT JAS LAG1 e CAR OND LAG1 foram **-0,02026** e **-2,4296** respectivamente. A planilha de cálculo utilizada está disponível [aqui](#)

Adicionalmente, podemos comparar o valor da vazão prevista para o ano de 2019 (**203,5229m³/s**) com o valor medido para esse ano. Segundo os dados da ANA, para o período de Janeiro a Maio de 2019, a vazão média acumulada entre janeiro e agosto é igual a **168,88 m³/s**. Os dados referentes aos demais meses do estão ausentes na série histórica.

**Tabela 3** -Tabela de reamostragem para o método não paramétrico k-vizinho.

ORDEM	ANO	DISTÂNCIA	VAZÃO MÉDIA PADRONIZADA
1	2005	0.0476	0.1261
2	2013	0.0598	-0.8268
3	2006	0.0899	-0.4147
4	2003	0.0940	-1.0096
5	2002	0.1210	0.0642
6	2014	0.1390	-1.3838
7	2012	0.1779	-0.9067
8	2007	0.1944	-1.0244
9	2011	0.2013	-0.3222
10	2009	0.2036	0.0870
11	2001	0.2304	-0.6186
12	1998	0.2635	-1.0052
13	2017	0.2834	-1.7524
14	2010	0.3652	-1.1244
15	2016	0.5362	-1.9085
16	2004	0.5551	0.1929
17	1997	0.5891	0.4638
18	1995	0.6426	0.0110
19	2008	0.7185	-0.4588
20	2000	0.7505	0.5609
21	1987	0.7944	0.5418
22	2015	0.7948	-1.8765
23	1983	0.8750	0.3165
24	1990	0.9453	0.3967
25	1994	1.0570	-0.2325
26	1999	1.0654	-0.2441
27	1989	1.2254	1.0382
28	1980	1.4013	3.0950
29	1988	1.4161	0.4155
30	1991	1.5908	0.3473

**Tabela 4** – Resumo da previsão para o ano de 2019.

Parâmetro	Valor
VAZÃO MÉDIA PADRONIZADA	5.422817
VAZÃO MÉDIA (m³/s)	<b>203.5229</b>
Q25	183.6743
Q50	204.6124
Q75	223.1277