



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**ANDERSON DE OLIVEIRA NEVES**

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO PARA ANÁLISE  
DA SECA 2014/2015 NA PORÇÃO PAULISTA DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO  
SUL**

Guaratinguetá

2016

ANDERSON DE OLIVEIRA NEVES

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO PARA ANÁLISE  
DA SECA 2014/2015 NA PORÇÃO PAULISTA DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO  
SUL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Ricardo Nogueira Vilanova

Guaratinguetá

2016

N519a Neves, Anderson de Oliveira  
Aplicação do índice padronizado de precipitação para análise da seca 2014/2015 na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul / Anderson de Oliveira Neves – Guaratinguetá, 2016.  
150 f : il.  
Bibliografia: f. 85-88

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.  
Orientador: Prof. Dr. Mateus Ricardo Nogueira Vilanova

1. Recursos hídricos. 2. Precipitação(meteorologia).  
3. Bacias hidrográficas – Paraíba do Sul, rio. I. Título

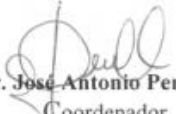
CDU 556.18(043)

*ADERSON DE OLIVEIRA NEVES*

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri  
Coordenador

*BANCA EXAMINADORA:*

  
Prof. Dr. MATEUS RICARDO NOGUEIRA VILANOVA  
Orientador / UNESP/SJC

  
Prof. Dr. ALEX MENDONÇA BIMBATO  
UNESP/FEG

  
Profa. Dra. DIOVANA APARECIDA DOS SANTOS  
NAPOLEÃO  
EEL/USP

## **DADOS CURRICULARES**

### **ANDERSON DE OLIVEIRA NEVES**

NASCIMENTO 16.08.1969

FILIAÇÃO Hélio Neves

Elizabeth de Oliveira Neves

2000/2003 Curso de Graduação

Projetos Mecânicos – Faculdades Integradas de Cruzeiro

Dedico este trabalho ao meu Pai, que me ensinou muitas coisas nesta vida com seus conhecimentos e experiências.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Mateus Ricardo Nogueira Vilanova, por me orientar e confiar em meu trabalho.

Aos meus filhos, que me inspiram e me motivam em tudo que faço.

A minha esposa, por todo companheirismo, carinho e dedicação.

Aos professores e amigos da FEG que, de alguma forma, fizeram parte da minha vida acadêmica.

A todos do programa de Pós-graduação da FEG/UNESP.

Viver

“Se tiver que amar, ame hoje. Se tiver que sorrir, sorria hoje. Se tiver que chorar, chore hoje. Pois o importante é viver hoje. O ontem já foi e o amanhã talvez não venha”

Chico Xavier



## **RESUMO**

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, assim como grande parte do Sudeste Brasileiro, foi afetada a partir do ano de 2014, por um dos maiores períodos de seca de sua história recente. Visando contribuir com o entendimento deste evento no trecho Paulista desta Bacia, a presente pesquisa propõe utilizar o índice padronizado de precipitação (IPP). O IPP foi calculado para as escalas de 1, 3, 6 e 12 meses para diversas estações pluviométricas localizadas na área de estudo. Os resultados obtidos demonstram que houve eventos de seca em anos anteriores ao ápice da crise 2014/2015, sugerindo que o IPP poderia ser utilizado com ferramenta de gestão e operação dos sistemas hídricos da bacia do Paraíba do Sul.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recursos hídricos. Secas. Índice padronizado de precipitação. Rio Paraíba do Sul.

## **ABSTRACT**

In 2014, the Basin of Paraíba do Sul River as well as much of the Brazilian Southeastern were affected by a major drought periods in their recent history. In order to contribute to understand this event, this research focuses on using the standardized precipitation index (IPP) in order to evaluate this event in part of São Paulo State Basin. The IPP was calculated using the scale of 1, 3, 6 and 12 months to the several rainfall stations, which is located in the study area. As a result, in the studied basin, there were drought events in the previous years to the summit crisis in the 2014/2015. It is suggested that IPP could be used as a tool management and operation of Basin of Paraíba do Sul water systems.

**KEYWORDS:** Water resources. Droughts. Standardized precipitation index. River Paraíba do Sul.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas metodológicas.....	28
Figura 2 – Localização da UGRHI-02 .....	30
Figura 3 – Resumo da precipitação total anual das estações base utilizadas na pesquisa.....	33
Figura 4 – Localização das estações base. ....	37
Figura 5 – IPP médio das estações avaliadas, escala mensal .....	60
Figura 6 – IPP médio das estações avaliadas, escala mensal, entre 2005 e 2015.....	60
Figura 7 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 3 meses .....	61
Figura 8 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 3 meses, entre 2005 e 2015.....	61
Figura 9 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 6 meses, entre 2005 e 2015.....	62
Figura 10 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 6 meses, entre 2005 e 2015.....	62
Figura 11 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 12 meses .....	63
Figura 12 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 12 meses, entre 2005 e 2015.....	63
Figura 13 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244001 .....	64
Figura 14 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244010 .....	65
Figura 15 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244020 .....	65
Figura 16 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244032 .....	66
Figura 17 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244035 .....	66
Figura 18 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244048 .....	67
Figura 19 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244053 .....	67
Figura 20 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244054.....	68
Figura 21 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2245001 .....	68
Figura 22 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2245004.....	69
Figura 23 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345008.....	69
Figura 24 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345012.....	69
Figura 25 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345022.....	70
Figura 26 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345062.....	70
Figura 27 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345063.....	71
Figura 28 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345071.....	72
Figura 29 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345106.....	72

Figura 30 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345159 .....	73
Figura 31 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345161 .....	73
Figura 32 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 23450164 .....	74
Figura 33 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2346019 .....	74
Figura 34 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2346344 .....	75
Figura 35 – Resumo dos resultados para a primavera.....	76
Figura 36 – Resumo dos resultados para o verão .....	77
Figura 37 – Resumo dos resultados para o período úmido .....	78
Figura 38 – Resumo dos resultados para os anos hidrológicos .....	79
Figura 39 – IPP 1 e 3 meses, estações 2244001 .....	94
Figura 40 – IPP 6 e 12 meses, estações 2244001 .....	94
Figura 41 – IPP 1 e 3 meses, estações 2244010 .....	94
Figura 42 – IPP 6 e 12 meses, estações 2244010 .....	95
Figura 43 – IPP 1 e 3 meses, estações 2245020 .....	96
Figura 44 – IPP 6 e 12 meses, estações 2245020 .....	96
Figura 45 – IPP 1 e 3 meses, estações 2245032 .....	97
Figura 46 – IPP 6 e 12 meses, estações 2245032 .....	97
Figura 47 – IPP 1 e 3 meses, estações 2245035 .....	98
Figura 48 – IPP 6 e 12 meses, estações 2245035 .....	98
Figura 49 – IPP 1 e 3 meses, estações 2245048 .....	99
Figura 50 – IPP 6 e 12 meses, estações 2245048 .....	99
Figura 51 – IPP 1 e 3 meses, estações 2245053 .....	100
Figura 52 – IPP 6 e 12 meses, estações 2245053 .....	100
Figura 53 – IPP 6 e 12 meses, estações 2245054 .....	101
Figura 54 – IPP 6 e 12 meses, estações 2245054 .....	101
Figura 55 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345001 .....	102
Figura 56 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345001 .....	102
Figura 57 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345004 .....	103
Figura 58 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345004 .....	103
Figura 59 – IPP 1 e 3 meses, estações 23450008 .....	104
Figura 60 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345008 .....	104

Figura 61 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345012 .....	105
Figura 62 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345012 .....	105
Figura 63 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345022 .....	106
Figura 64 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345022 .....	106
Figura 65 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345062 .....	107
Figura 66 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345062 .....	107
Figura 67 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345063 .....	108
Figura 68 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345063 .....	108
Figura 69 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345071 .....	109
Figura 70 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345071 .....	109
Figura 71 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345106 .....	110
Figura 72 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345106 .....	110
Figura 73 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345106 .....	111
Figura 74 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345106 .....	111
Figura 75 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345159 .....	112
Figura 76 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345159 .....	112
Figura 77 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345161 .....	113
Figura 78 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345161 .....	113
Figura 79 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345164 .....	114
Figura 80 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345164 .....	114
Figura 81 – IPP 1 e 3 meses, estações 2345019 .....	115
Figura 82 – IPP 6 e 12 meses, estações 2345019 .....	115
Figura 83 – IPP 1 e 3 meses, estações 2346344 .....	116
Figura 84 – IPP 6 e 12 meses, estações 2346344 .....	116
Figura 85 – IPPs de primavera e verão, estação 2244001 .....	117
Figura 86 – IPPs de período úmido, estação 2244001 .....	117
Figura 87 – IPPs de ano hidrológico, estação 2244001 .....	118
Figura 88 – IPPs de primavera e verão, estação 2244010 .....	118
Figura 89 – IPPs de período úmido, estação 2244010 .....	119
Figura 90 – IPPs de ano hidrológico, estação 2244010 .....	119
Figura 91 – IPPs de primavera e verão, estação 2244020 .....	120

Figura 92 – IPPs de período úmido, estação 2245020 .....	120
Figura 93 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245020 .....	121
Figura 94 – IPPs de primavera e verão, estação 2245032 .....	121
Figura 95 – IPPs de período úmido, estação 2245032 .....	122
Figura 96 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245032 .....	122
Figura 97 – IPPs de primavera e verão, estação 2245035 .....	123
Figura 98 – IPPs de período úmido, estação 2245035 .....	123
Figura 99 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245035 .....	124
Figura 100 – IPPs de primavera e verão, estação 2244048 .....	124
Figura 101 – IPPs de período úmido, estação 2245048 .....	125
Figura 102 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245048 .....	125
Figura 103 – IPPs de primavera e verão, estação 2245053 .....	126
Figura 104 – IPPs de período úmido, estação 2245053 .....	126
Figura 105 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245053 .....	127
Figura 106 – IPPs de primavera e verão, estação 2245054 .....	127
Figura 107 – IPPs de período úmido, estação 2245054 .....	128
Figura 108 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245054 .....	128
Figura 109 – IPPs de primavera e verão, estação 2345001 .....	129
Figura 110 – IPPs de período úmido, estação 2345001 .....	129
Figura 111 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345001 .....	130
Figura 112 – IPPs de primavera e verão, estação 2345004 .....	130
Figura 113 – IPPs de período úmido, estação 2345004 .....	131
Figura 114 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345004 .....	131
Figura 115 – IPPs de primavera e verão, estação 2345008 .....	132
Figura 116 – IPPs de período úmido, estação 2345008 .....	132
Figura 117 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345008 .....	133
Figura 118 – IPPs de primavera e verão, estação 2345012 .....	133
Figura 119 – IPPs de período úmido, estação 2345012 .....	134
Figura 120 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345012 .....	134
Figura 121 – IPPs de primavera e verão, estação 2345022 .....	135
Figura 122 – IPPs de período úmido, estação 2345022 .....	135

Figura 123 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345022 .....	136
Figura 124 – IPPs de primavera e verão, estação 2345062.....	136
Figura 125 – IPPs de período úmido, estação 2345062 .....	137
Figura 126 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345062 .....	137
Figura 127 – IPPs de primavera e verão, estação 2345063.....	138
Figura 128 – IPPs de período úmido, estação 2345063 .....	138
Figura 129 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345063 .....	139
Figura 130 – IPPs de primavera e verão, estação 2345071 .....	139
Figura 131 – IPPs de período úmido, estação 2345071 .....	140
Figura 132 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345071 .....	140
Figura 133 – IPPs de primavera e verão, estação 2345106.....	141
Figura 134 – IPPs de período úmido, estação 2345106.....	141
Figura 135 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345106 .....	142
Figura 136 – IPPs de primavera e verão, estação 2345159.....	142
Figura 137 – IPPs de período úmido, estação 2345159 .....	143
Figura 138 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345159 .....	143
Figura 139 – IPPs de primavera e verão, estação 2345161 .....	144
Figura 140 – IPPs de período úmido, estação 2345161 .....	144
Figura 141 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345161 .....	145
Figura 142 – IPPs de primavera e verão, estação 2345164.....	145
Figura 143 – IPPs de período úmido, estação 2345164.....	146
Figura 144 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345164 .....	146
Figura 145 – IPPs de primavera e verão, estação 2346019.....	147
Figura 146 – IPPs de período úmido, estação 2346019 .....	147
Figura 147 – IPPs de ano hidrológico, estação 2346019 .....	148
Figura 148 – IPPs de primavera e verão, estação 2346344.....	148
Figura 149 – IPPs de período úmido, estação 2346344.....	149
Figura 150 – IPPs de ano hidrológico, estação 2346344 .....	149

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações base e estações auxiliares utilizadas no preenchimento, com respectivas correlações.....	32
Tabela 2 – Estações base utilizadas na pesquisa.....	35
Tabela 3 - Classificação de secas de acordo com o valor do IPP.....	40
Tabela 4 – Análise dos IPPs das estações.....	42
Tabela 5 - Períodos mais secos do histórico completo das estações analisadas* .....	47
Tabela 6 – Estações que apresentaram secas condizentes com os períodos apresentados por Otto et al. (2015)* .....	48
Tabela 7 – Análise dos IPPs das estações no período 2005/2015, para primavera, verão, período úmido e ano hidrológico .....	51
Tabela 8 – Ocorrência e magnitude de secas na primavera .....	80
Tabela 9 – Ocorrência e magnitude de secas no verão .....	81
Tabela 10 – Ocorrência e magnitude de secas no período úmido .....	82
Tabela 11 – Ocorrência e magnitude de secas no ano hidrológico .....	83
Tabela 12 – Inventário de estações pluviométricas analisadas .....	89



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGEVAP	Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul
ANA	Agencia Nacional de Águas
BAS	<i>Brazilian Academy of Sciences</i>
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
COBRADE	Classificação Brasileira de Desastres
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPP	Índice Padronizado de Precipitação
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PDSI	Índice de Severidade de Seca de Palmer
PIB	Produto Interno Bruto
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SPI	<i>Standardized Precipitation Index</i>
UGRH-02	Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos 02
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	<b>Objetivos específicos</b> .....	19
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
2.1	SECAS.....	20
2.2	A SECA NO SUDESTE BRASILEIRO A PARTIR DO ANO DE 2014 .....	22
2.3	ÍNDICES DE SECA.....	24
2.4	ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (IPP) .....	25
3	<b>MATERIAL E MÉTODO</b> .....	27
3.2	BASE DE DADOS UTILIZADA E PREPARAÇÃO DAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS	31
3.4	CÁLCULO DO IPP.....	38
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	41
4.1	IPPS MÉDIOS DAS ESTAÇÕES AVALIADAS NA UGRHI-02 .....	56
4.2	SECAS MODERADAS, SEVERAS E EXTEMAS ENTRE 2005 E 2015 NAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS .....	64
4.3	SECAS NA PRIMAVERA .....	76
4.4	SECAS NO VERÃO .....	77
4.5	SECAS NO PERÍODO ÚMIDO .....	78
4.6	SECAS NOS ANOS HIDROLÓGICOS .....	79
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	84
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	85
	<b>APENDICE A – INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UGRHI-02</b> .....	89
	<b>APÊNDICE B – IPPS DE PERÍODO COMPLETO PARA AS ESTAÇÕES UTILIZADA</b> .....	94
	<b>APÊNDICE C – IPPS DE PRIMAVERA, VERÃO, PERÍODO ÚMIDO E ANO HIDROLÓGICO</b> .....	117

## 1 INTRODUÇÃO

A Região Sudeste do Brasil enfrentou um período de déficit hídrico atípico desde o início do ano de 2014, cujas causas foram avaliadas por (OTTO et al., 2015, p. 35) e (COELHO, et al., 2015, p. 1) explicitou a vulnerabilidade da região mais populosa e desenvolvida do país a eventos hidro climáticos extremos, tendo como exemplo mais emblemático o colapso dos sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (ESCOBAR, 2015a).

Fernandes et al. (2009a), define seca como um fenômeno natural desastroso, que tem um impacto significativo nas esferas socioeconômicas, agrícolas e ambientais. Segundo os autores, a seca difere-se de outros desastres naturais por seu processo dar-se de forma lenta e de difícil previsão do seu início e fim, persistindo seu impacto mesmo depois do término do evento.

Segundo Mckee et al. (1993), cinco questões práticas tornam-se importantes em análises de secas: (1) escala temporal, (2) probabilidade, (3) déficit de precipitação, (4) aplicação da definição de precipitação e (5) a relação da definição aplicada aos impactos da seca.

O índice padronizado de precipitação (IPP)<sup>1</sup>, descrito pela primeira vez por Mckee et al. Mckee et al. (1993), é uma ferramenta que possibilita calcular índices indicativos de uma seca por meio da normalização da precipitação em várias escalas temporais (mensal, trimestral, semestral, anual, dentre outras), a partir de uma função de distribuição de probabilidade.

A capacidade de calcular o IPP em várias escalas de tempo permite a flexibilidade temporal na avaliação do monitoramento de condições associadas a secas e excesso de chuvas.

O IPP vem sendo utilizado em programas estaduais e nacionais para análise e monitoramento de secas de diversas regiões brasileiras. Dentre esses, os portais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Centro Nacional de Monitoramento e alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Ministério

---

<sup>1</sup> O IPP é comumente referenciado na literatura através de sua sigla na língua inglesa, SPI (*standardized precipitation index*).

da Agricultura, utilizam o IPP, demonstrando sua relevância. Segundo Blain e Kayano (2011), apesar de alguns trabalhos utilizarem o IPP, esse indicador é ainda pouco explorado e aplicado ao Estado de São Paulo.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é avaliar os padrões de precipitação na região paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (sub-bacia 58 da Agência Nacional de Águas e Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 02 (UGRHI-02) do Estado de São Paulo), durante o período de escassez hídrica estabelecido entre os anos de 2014 e 2015, através do cálculo do IPP. Através do IPP, poderão ser avaliados, dentre outros, o início e a duração do período de seca, sua magnitude, e também a possibilidade de utilização do IPP para previsão de futuros episódios de seca severa na UGRHI-02.

### 1.1.1 objetivos específicos

São objetivos específicos da pesquisa:

- Desenvolver uma revisão da literatura sobre seca, índices de seca e IPP;
- Identificar as estações pluviométricas existentes na UGRHI-02, com extensão e qualidade de dados suficientes para o cálculo do IPP;
- Calcular o IPP para as estações selecionadas;
- Analisar o período de escassez hídrica da UGRHI-02 entre os anos de 2014 e 2015, através dos IPPs calculados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção é apresentada uma revisão da literatura sobre os temas relevantes à pesquisa. A revisão priorizou artigos publicados em bases de reconhecida qualidade (dentre elas, Scopus e Scimedirect), e também utilizou outros documentos de autoria de instituições de reconhecida competência, como a Organização Meteorológica Mundial (OMM).

O Rio Paraíba do Sul resulta da junção dos rios Paraitinga e Paraibuna, com nascentes no Estado de São Paulo, a 1.800 metros de altitude. Em sua extensão o rio percorre 1.150Km, passando pelo Estado de Minas Gerais até desaguar no Oceano Atlântico pelo Estado do Rio de Janeiro, mais precisamente pela cidade de São João da Barra (RJ). As águas do rio Paraíba do Sul, em sua bacia tem como uso o abastecimento, diluição de esgotos, irrigação e geração de energia hidrelétrica como a de Paraibuna, Santa Branca e Funil. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016)

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul tem um destaque importante no cenário nacional por estar localizada entre os maiores polos industriais e populacionais do País que envolve o gerenciamento de seus recursos hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

### 2.1 SECAS

Segundo o Glossário Internacional de Hidrologia World Meteorological Organization (2012), seca é a ausência ou o déficit prolongado de precipitação, sob a perspectiva meteorológica. (MISHRA; SINGH, 2010), citando outros autores, classificam a seca em quatro tipos:

- Seca hidrológica: períodos de insuficiência de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, tendo em vista os usos da água estabelecidos em determinado sistema de gerenciamento de recursos hídricos;
- Seca meteorológica: falta de precipitação sobre uma área durante determinado período;
- Seca agrícola: período de redução da umidade do solo e conseqüente insuficiência para

uma safra, sem nenhuma referência aos recursos hídricos superficiais;

- Seca socioeconômica: falha de um sistema de recursos hídricos em atender uma demanda de água.

No Brasil, as secas são consideradas desastres naturais de origem climatológica, código 1.4.1.2.0 da Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) (BRASIL, 2012). O desequilíbrio na disponibilidade de água é a indicação de seca e aridez<sup>2</sup>.

Van Loon e Van Lanen (2013) estabeleceram uma distinção entre seca e escassez hídrica. Segundo os autores, seca consiste em um período de disponibilidade hídrica abaixo do normal e com causas naturais, enquanto a escassez corresponde à super exploração antrópica dos recursos hídricos, na qual a demanda supera a disponibilidade.

Apesar do sério impacto social, ambiental e econômico acarretado pela falta de água, não há unanimidade a respeito da definição de conceitos relativos a escassez de água e a seca na literatura (PEDRO-MONZONÍS et al., 2015, p 482 )

A implementação de uma política pública ambiental é intimamente relacionada à gestão ambiental, onde o ato de administrar, de dirigir ou reger os ecossistemas naturais e sociais onde o homem se insere individual e socialmente, tem o objetivo principal de estabelecer, recuperar ou manter o equilíbrio entre a natureza e o homem (PHILIPPI, 2002).

Para um planejamento relacionado com a gestão de água doce, torna-se necessário e primordial a avaliação das secas através de dados históricos para a melhor compreensão na região em estudo. Contudo, torna-se necessário a compreensão de diferentes conceitos de seca para o melhor desenvolvimento de modelos investigativos relacionados a seca (MISHRA; SINGH 2010).

Webster et al. (1996) alerta que as secas também afetam a qualidade da água, onde sedimentos, matéria orgânica e nutrientes são transportados em águas de superfície e de escoamento, sendo necessário durante os períodos de seca a interrupção destes.

Aridez é um aspecto climático constante, que resulta na baixa disponibilidade hídrica e capacidade de atendimento à demanda hídrica dos ecossistemas, enquanto a seca é um risco

---

<sup>2</sup> Entende-se como aridez o balanço negativo entre precipitação e evapotranspiração; em outras palavras, aridez é a incapacidade do clima de uma região de fornecer suporte hídrico ao crescimento de vegetação.

momentâneo (ASADI et al, 2015, p. 183). Duas principais características para o estudo de uma seca são sua frequência e duração, e várias outras características básicas levam em conta o intervalo de tempo da mesma, (MCKEE et al., 1993, p. 183).

A questão da escassez/seca de recursos hídricos passam necessariamente por uma conjunção de fatores, dentre eles atmosféricos, condições de mananciais, gestão da oferta/demanda, com isto criando condições para o desenvolvimento a favor da sustentabilidade de maneira a não comprometer o meio ambiente e esgotar os recursos (PHILIPPI, 2002).

Segundo Barbieri (1988), a gestão de recursos hídricos passa por: gestão ambiental (preservação, conservação, produção), gestão de uso (diminuição e mecanismos de controle), gestão de distribuição (otimização de perdas na rede).

De Lama (2011) afirma que, seja qual for a abordagem utilizada (planejamento de água, gestão da água, gestão da seca), a sociedade espera que os responsáveis políticos e as partes que visam o lucro pelo uso da água, utilizem os índices que são altamente relevantes para os processos de tomada de decisão.

A seca produz uma complexa teia de impactos que tocam diversos setores da sociedade, incluindo a economia, podendo chegar muito além da área atingida pela seca (MISHRA; SINGH, 2010).

## 2.2 A SECA NO SUDESTE BRASILEIRO A PARTIR DO ANO DE 2014

A Região Sudeste do Brasil foi afetada por um período de seca a partir de janeiro de 2014 até fevereiro de 2015, com repercussões na geração de energia hidroelétrica, produção e irrigação agrícola e na disponibilidade de água para o uso e consumo humano (COELHO et al., 2015, p. 1; OTTO et al., 2015, p. 35) .

O episódio de déficit de água até fevereiro de 2015 na região sudeste do Brasil, foi o mais grave registrado desde 1954; outros eventos ocorreram em 1963 e 1970, sendo o mais recente o mais intenso. O crescimento acelerado da população é o ponto mais provável para este fato, porém não se pode descartar que pode haver a influência humana, conforme (HERRING, 2015).

Os efeitos desta seca, atribuída inicialmente à possíveis efeitos da mudança climática, levaram diversos sistemas de recursos hídricos vitais do Sudeste brasileiro – tais como o Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento da RMSP – à proximidade de um colapso (ESCOBAR, 2015b).

Apesar da inicial atribuição da seca e problemas de abastecimento no Sudeste brasileiro à mudanças climáticas de origem antrópica, Otto et al. (2015) não encontraram evidências suficientes para sustentar unicamente esta causa, sendo os impactos da seca também decorrentes do aumento da população e demanda de água.

A fragilidade dos sistemas de abastecimento de água brasileiro permanece alta, mostrando que uma melhor gestão das águas, é fundamental para a mitigação desta vulnerabilidade no Brasil (ENGLE; LEMOS, 2010).

A questão escassez/seca de recursos hídricos passa necessariamente por uma conjugação de fatores, dentre eles atmosféricos, condições dos mananciais, gestão da oferta / demanda (MUÑOZ; MUÑOZ, 2000)

Conforme entrevista ao Jornal Estado de São Paulo e publicado no dia 04 de abril de 2015 o meteorologista e pesquisador Paulo Ethichury afirmou que a região Sudeste do Brasil passa pela pior crise hídrica dos últimos 85 anos e que a perspectiva é que a mesma pode vir a durar por 30 anos ou mais (VILARIANO, 2015).

O Sistema Cantareira, que abastece mais de 5 milhões de pessoas na região metropolitana de São Paulo, utilizou nos anos de 2014 e 2015 as duas cotas do chamado “volume morto”, uma reserva técnica adicional dos reservatórios de água, (ESTADÃO, 2015b).

O presidente da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Maurício Antônio Lopes concorda com Paulo Ethichury sobre o detalhe de que a agropecuária terá que produzir em ciclos mais curtos devido aos ciclos de secas (ESTADÃO, 2015a).

Segundo notícias do jornal Folha no dia 06 de novembro de 2014, que dizia naquela data que a seca já tinha atingido 133 cidades na região sudeste, atingindo mais de 27 milhões de habitantes e provocando transtornos socioeconômicos que juntos correspondem perto de 23% do PIB brasileiro; em valores corresponderiam por volta de R\$1,1 trilhão, praticamente 25% do PIB nacional.

Conforme o pesquisador Paulo Nobre, meteorologista do Instituto Nacional de



Pesquisas Espaciais (INPE), esta situação é muito séria, pois não estamos falando somente de escassez de água, mas sim sobre um possível colapso nos maiores e principais mananciais de água (ESCOBAR, 2015b). José Galizia Tundisi, hidrólogo da Academia Brasileira de Ciências, diz que existe um risco real de “convulsão social”, levando as autoridades, principalmente do Estado de São Paulo à tarefa de não se tomar ações mais ousadas, devido à ausência de transparência da gravidade da situação, porém, medidas imediatas são necessárias para se evitar o pior (ESCOBAR, 2015b).

Devido à redução na pressão de suas redes de água, a SABESP causou falta de água em torneiras da cidade de São Paulo, juntamente com medidas punitivas (multas), para o desperdício e uso da água de forma não aceitável, trouxe a milhares de famílias de São Paulo o racionamento drástico de água. Segundo Tundisi, se uma reversão do panorama meteorológico não acontecer, as faltas serão brutais, (ESCOBAR, 2015b).

### 2.3 ÍNDICES DE SECA

Um índice de seca é uma variável primordial para avaliar os efeitos e definir diferentes parâmetros de uma seca, devendo ser capaz de quantificar a seca para diferentes escalas temporais (MISHRA; SINGH, 2010).

Índices de seca representam a severidade dela e estes têm sido desenvolvidos para monitorar, detectar e avaliar eventos de seca (ESTRELA; VARGAS, 2012). Devido à grande quantidade de índices e indicadores que exigem uma coleta de informações relacionadas com as diversas disciplinas, onde surge uma complexa questão devido a não unanimidade sobre os termos básicos como escassez de água e seca (PEDRO-MONZONÍS et al., 2015, p. 483).

Não existe um único indicador (índice) apropriado para todas as áreas de estudo e sim uma clara necessidade para a utilização de índices diferentes conforme os objetivos e / ou necessidades apresentadas (PEDRO-MONZONÍS et al., 2015, p. 483).

A melhor compreensão de seca e seus impactos, incluindo seu começo e o seu fim, envolve a utilização de índices que permitam quantificar seu período e magnitude.

Os índices de seca utilizam dados históricos de variáveis hidro meteorológicas, tais como: evapotranspiração, temperatura do ar, precipitação, escoamento superficial (na

superfície do solo e/ou na rede de drenagem), umidade do solo, dentre outras variáveis, e assim as combinam a fim de identificar através de cálculos matemáticos, o início de um período de seca, além de sua intensidade. Apesar de sua utilidade, deve-se ter em mente que nenhum índice é perfeito para todas as situações (FERNANDES et al., 2009, p.12).

Diversos são os índices utilizados na mensuração de eventos de seca, dentre eles (MISHRA; SINGH, 2010): índice de severidade de seca de Palmer, índice de abastecimento de água superficial, índice de condição de vegetação e índice de precipitação efetiva.

#### 2.4 ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (IPP)

O IPP é um índice amplamente conhecido e presente na literatura, tendo sido proposto por (MCKEE; DOESKEN E KLEIST; MCKEE et al., 1993, p. 179). Apesar de ser flexível e eficiente para avaliar períodos de déficit e excesso hídrico, seu cálculo é relativamente simples, sendo a precipitação a única variável necessária (WMO, 2012).

O IPP é amplamente aceito pela comunidade científica, conforme demonstra a literatura (ZARCH et al., 2015, p. 183; CANCELLIERE et al., 2007, p. 801; COELHO et al., 2015, p. 35; GUTTMAN, 1999; HONG et al., 2016, p. 1; LI et al., 2016, p. 1; LIVADA, 2007; ASSIMAKOPOULOS, 2007; MOREIRA et al., 2016, p. 1; KUMAR et al., 2009, p. 103; TIGKAS et al., 2015, p. 97).

O IPP é calculado através do seguinte algoritmo (MCKEE et al., 1993, p. 180):

- Prepara-se uma série de dados de precipitação, idealmente para um período contínuo de pelo menos 30 anos;
- Selecionam-se os períodos para os quais os IPPs devem ser calculados, que representam escalas temporais de análise, geralmente relacionadas aos usos nos sistemas de recursos hídricos da região analisada (por exemplo, 1 mês, 3 meses, 6 meses, dentre outros). Tais períodos originam novas séries de dados. A análise ocorre em “janelas móveis”, tendo em vista que a cada período um novo valor é calculado, com os meses adjacentes e em cada escala temporal definida;
- Uma distribuição de probabilidade, geralmente a distribuição Gama, é ajustada para cada nova série de dados;

- A probabilidade de cada evento de precipitação das séries é calculada, e então normalizada com média zero e desvio-padrão igual a um. Essa probabilidade normalizada corresponde ao valor do IPP.

O IPP pode ser calculado para diferentes escalas de tempo, por exemplo, meses, trimestres, semestres, anos e vários anos, permitindo a análise da pluviosidade de estações do ano, períodos secos e úmidos, e anos hidrológicos. Essa flexibilidade de escalas favorece a utilização do IPP em diversas aplicações: aplicações agrônômicas, por exemplo, podem se valer de IPPs calculados para curtas durações, como meses, enquanto o gerenciamento de sistemas de recursos hídricos pode requerer análises em escalas anuais ou superiores (GUTTMAN, 1999).

Estudos realizados com IPP na Austrália, Brasil, China, Etiópia, Índia, Estanha, Portugal, ajudaram a definir qual a melhor metodologia a ser utilizada para caracterizar eventos de seca a curto e a longo prazo. Estes estudos facilitam a previsão das mudanças climáticas que podem afetar o futuro. Com os resultados destes que são importantes para mitigar os impactos destas mudanças, assim, facilitando a tomada de decisões aos riscos de seca, que são vitais para certas regiões (JENKINS; WARREN, 2014).

Cinco das seis maiores inundações históricas na bacia do rio Minjiang na China, foram identificadas através de estudos de dados históricos de 1960 a 2006 através da IPP, comprovando uma correlação alta entre os resultados da IPP e os fatos históricos (WANG et al., 2015, p. 1).

Com emprego da abordagem IPP na Turquia, para a verificação de seca meteorológica através de dados históricos, pode se concluir que a ocorrência de seca (frequência, intensidade e extensão espacial) pode ajudar a identificar os riscos associados a ela. Através deste estudo obteve-se uma nova visão sobre o fenômeno da seca na Turquia, principalmente no tocante do grau de vulnerabilidade em múltiplos períodos de tempo e localidades, abrindo fronteiras para o estudo nos diferentes recursos hídricos para as decisões a serem tomadas mediante este fato, amenizando maiores impactos nos recursos naturais e sociais (SÖNMEZ et al., 2005, p. 243).

Estudos para mitigação adequada a fim de reduzir os efeitos (impactos) negativos da seca, foram realizados na Sicília, através do monitoramento e previsão de secas como ferramentas essenciais. Estes estudos resultaram em uma boa concordância entre as previsões

resultantes dos cálculos do IPP e as observações históricas (CANCELLIERE et al., 2007, p. 802).

Além da aplicação clássica do IPP para avaliar eventos de seca, alguns trabalhos utilizam o índice para quantificar o impacto de mudanças climáticas sobre os regimes de seca (JENKINS; WARREN, 2014), prever secas (CANCELLIERE et al., 2007), e analisar a periodicidade de secas (MOREIRA et al., 2015, p. 571).

### **3 MATERIAL E MÉTODO**

Descrevendo sucintamente as etapas ilustradas na Figura 1, inicialmente, foram identificadas e inventariadas as estações pluviométricas existentes na área de estudo, a partir do servidor Hidroweb, da Agência Nacional de Águas. As séries históricas de precipitação destas estações foram analisadas, segundo critérios apresentados nas seções seguintes.

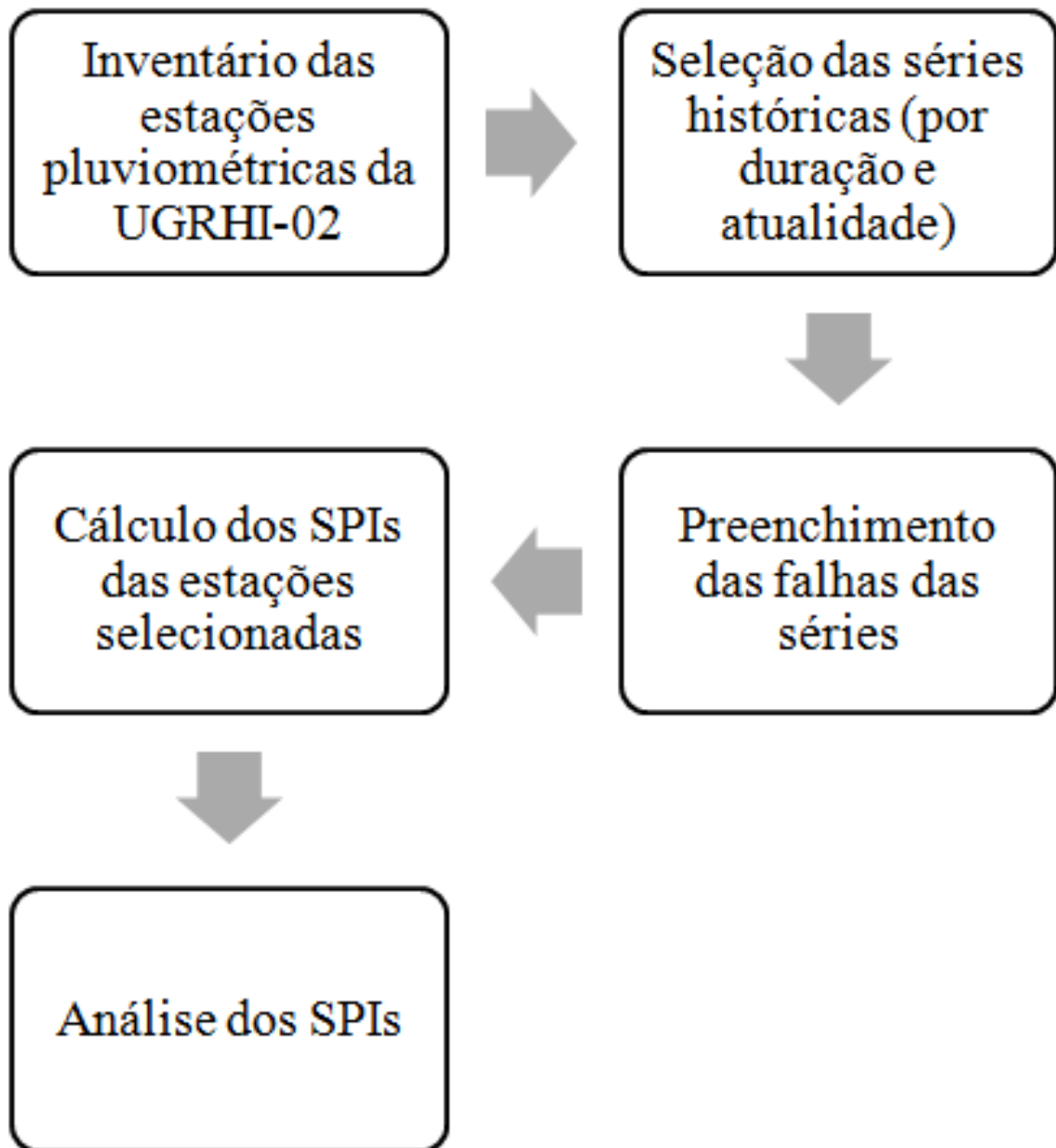
As séries que atenderam aos critérios estabelecidos foram preenchidas e complementadas através de dados de estações auxiliares existentes na área de estudo. Com as séries das estações base preenchidas e complementadas, foram calculados os IPPs através de ferramentas computacionais.

Uma vez calculados os IPPs para diferentes escalas temporais e para diversos pontos da área de estudo, diversas informações foram extraídas, tais como o início dos períodos de seca, sua magnitude, e as regiões da UGRHI-02 mais afetadas pela seca.

A seguir, a metodologia da pesquisa é descrita em detalhes.

A Figura 1 apresenta o fluxograma que resume a metodologia utilizada na pesquisa.

Figura 1 - Etapas metodológicas.



Fonte: Produção do próprio autor.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

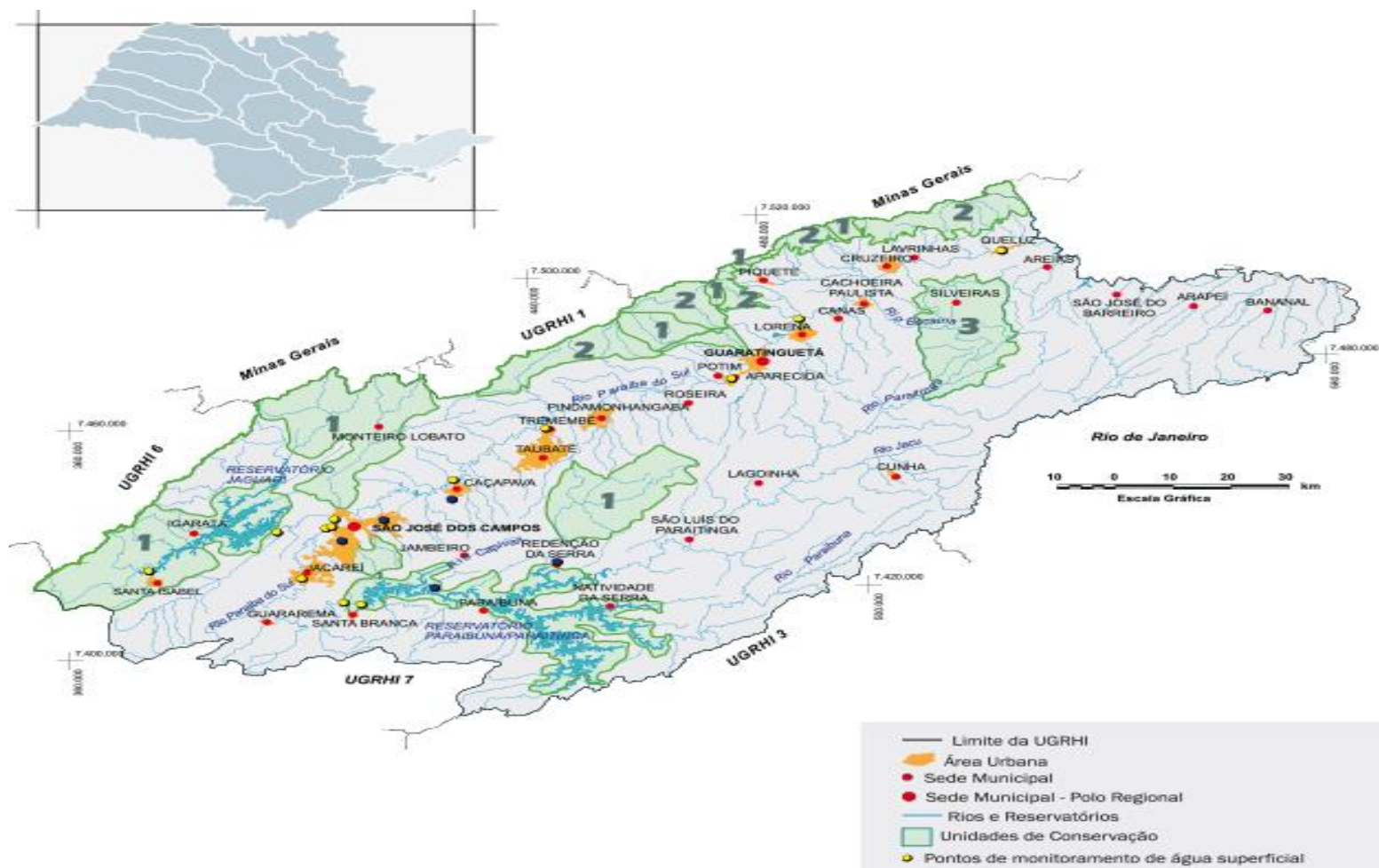
O trecho paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHRPS), que compõe a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 02 (UGRHI 02) do Estado de São Paulo, localiza-se no eixo entre as Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro, respondendo por 4,5% do produto interno bruto de SP (SÃO PAULO, 2011).

A BHRPS é uma das mais relevantes do País em termos de recursos hídricos, seja por suas características naturais ou pelo complexo sistema uso de recursos hídricos que ela abriga. A BHRPS é delimitada por duas das principais unidades de relevo brasileiras, as Serras do Mar e da Mantiqueira, nas quais se localizam importantes remanescentes de Mata Atlântica do Brasil. Além do uso dos recursos hídricos, compostos por demandas urbanas, industriais e agrícolas, a bacia é responsável pelo abastecimento de cerca de 9 milhões de pessoas no Rio de Janeiro (SÃO PAULO, 2011).

As águas do Rio Paraíba do Sul, no seu trecho paulista, permitem a operação de importantes usinas hidrelétricas, como Paraibuna e Funil. Este complexo sistema hídrico foi fortemente impactado pelo período de seca iniciado em 2014, como pode ser verificado no documento “Plano de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul”. A Figura 2, apresenta os limites da UGRHI-02 dentro da BHRPS.

A Figura 2 apresenta o mapa do trecho paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Figura 2 – Localização da UGRHI-02



Fonte: SIGRH/SP

### 3.2 BASE DE DADOS UTILIZADA E PREPARAÇÃO DAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS

A base de dados utilizada foi a HIDROWEB, da Agencia Nacional de Águas (ANA). Foram inventariadas as estações pluviométricas existentes na UGRHI-02, conforme Tabela 12 (Apêndice A).

Após a obtenção dos dados hidrológicos históricos (séries de chuvas totais mensais) do site da Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br>), de 193 estações que possuíam dados, de um total de 370 disponíveis, foi realizado uma filtragem para verificar quais estações apresentavam dados consistidos (dados que passaram por controle de qualidade), que foram priorizados em relação a dados brutos.

Para a seleção das estações efetivamente utilizadas no estudo, consideradas estações base, foram aplicados os seguintes critérios:

- Existência de séries de dados até o mês de setembro de 2013, ou seja, no início do período chuvoso 2013/2014, a partir do qual a crise hídrica se tornou evidente;
- Existência de pelo menos 30 anos de dados retroativos a setembro de 2013;
- Existência, preferencialmente, de dados dos anos de 2014 e 2015, durante os quais ocorreu o ápice do período de escassez hídrica avaliado.

Após a seleção das estações a partir dos critérios estabelecidos anteriormente, foi verificada a integridade das séries. Foram selecionadas estações com integridade (razão entre dados disponíveis e o total de dados no período) superior a 80%, entre outubro de 1983 e setembro de 2013. A integridade das séries é apresentada na Tabela 12 (Apêndice A).

Para o caso da não existência dos dados consistidos e/ou brutos (falhas), realizou-se o preenchimento a partir de outras estações inventariadas. Para preenchimento das falhas das estações base, foi verificada a correlação entre as estações base e as demais estações inventariadas – aqui denominadas “estações auxiliares”. Foram selecionadas estações auxiliares com correlação superior a 0,85. A Tabela 1 apresenta as estações base e as respectivas estações auxiliares utilizadas no preenchimento.



O preenchimento das falhas foi realizado através de regressão linear entre as estações base e aquelas estações auxiliares que apresentaram alta correlação. Esse procedimento é recomendado, por exemplo, por Tucci (2014).

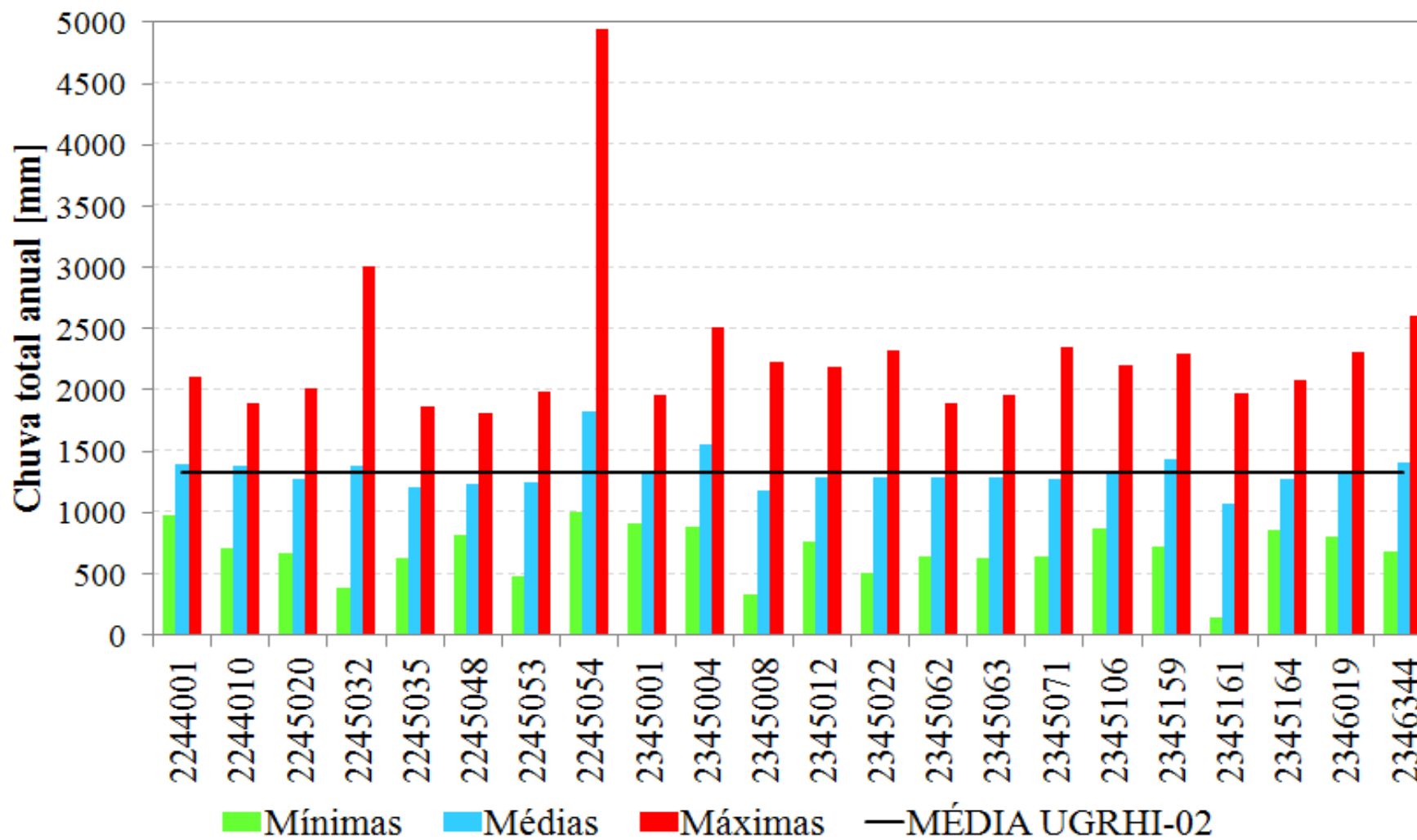
Tabela 1 – Estações base e estações auxiliares utilizadas no preenchimento, com respectivas correlações

<b>Estações Base</b>	<b>Estações auxiliares (r &gt; 0,8)</b>	<b>Estações auxiliares (r &gt; 0,9)</b>
<b>2244001</b>	2245048, 2345103, 2245128	2244163
<b>2244010</b>	2244124, 2244162	2245007
<b>2245020</b>	2245048	2245039, 2245128
<b>2245032</b>	2245048	
<b>2245035</b>	2245042, 2245047, 2245048, 2245129	2345126
<b>2245048</b>	2245195, 2345062	2245049
<b>2245053</b>	2245123, 2345008, 2244010	
<b>2245054</b>	2245048, 2345164	2245157, 2246086
<b>2345001</b>	2345062, 2245048	2345103
<b>2345004</b>	2245123, 2245053	
<b>2345008</b>	2345062, 2345063	2345131
<b>2345012</b>	2345164, 2345063, 2345071	2345105, 2245020, 2245018
<b>2345022</b>	2345164, 2345063, 2345071	2345105, 2245018, 2345020
<b>2345062</b>	2245195 2245048	
<b>2345063</b>	2345111, 2345164, 2345062	
<b>2345071</b>		2346099
<b>2345106</b>		2345071
<b>2345159</b>	2345164, 2345204	2345009, 2345166
<b>2345161</b>	2345078, 2345071, 2245186	
<b>2345164</b>	2345063, 2245048	2345020, 2345012
<b>2346019</b>	2346099, 2345111, 2346344	2345204
<b>2346344</b>		2345204

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 3 apresenta um resumo dos totais anuais de precipitação de cada estação, e também a média de todas as estações base (1332 mm). A Figura 4 apresenta a localização das estações base.

Figura 3 – Resumo da precipitação total anual das estações base utilizadas na pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor.

Com base na Tabela 4 e na Figura 3, verifica-se que a estação 2345161, localizada em Taubaté, apresenta a menor média anual de precipitação (1066 mm) e também o menor total anual das estações (143 mm), no ano de 1990, enquanto a estação 2245054, localizada em Monteiro Lobato, apresenta a maior média (1827 mm). Uma hipótese que pode explicar o comportamento da estação 2245054 é a localização do município de Monteiro Lobato na Serra da Mantiqueira, que pode resultar em uma influência orográfica significativa.

A Tabela 2 apresenta o descritivo das estações base consideradas na pesquisa, incluindo estatísticas descritivas de suas séries já preenchidas.

Tabela 2 – Estações base utilizadas na pesquisa

(continua)

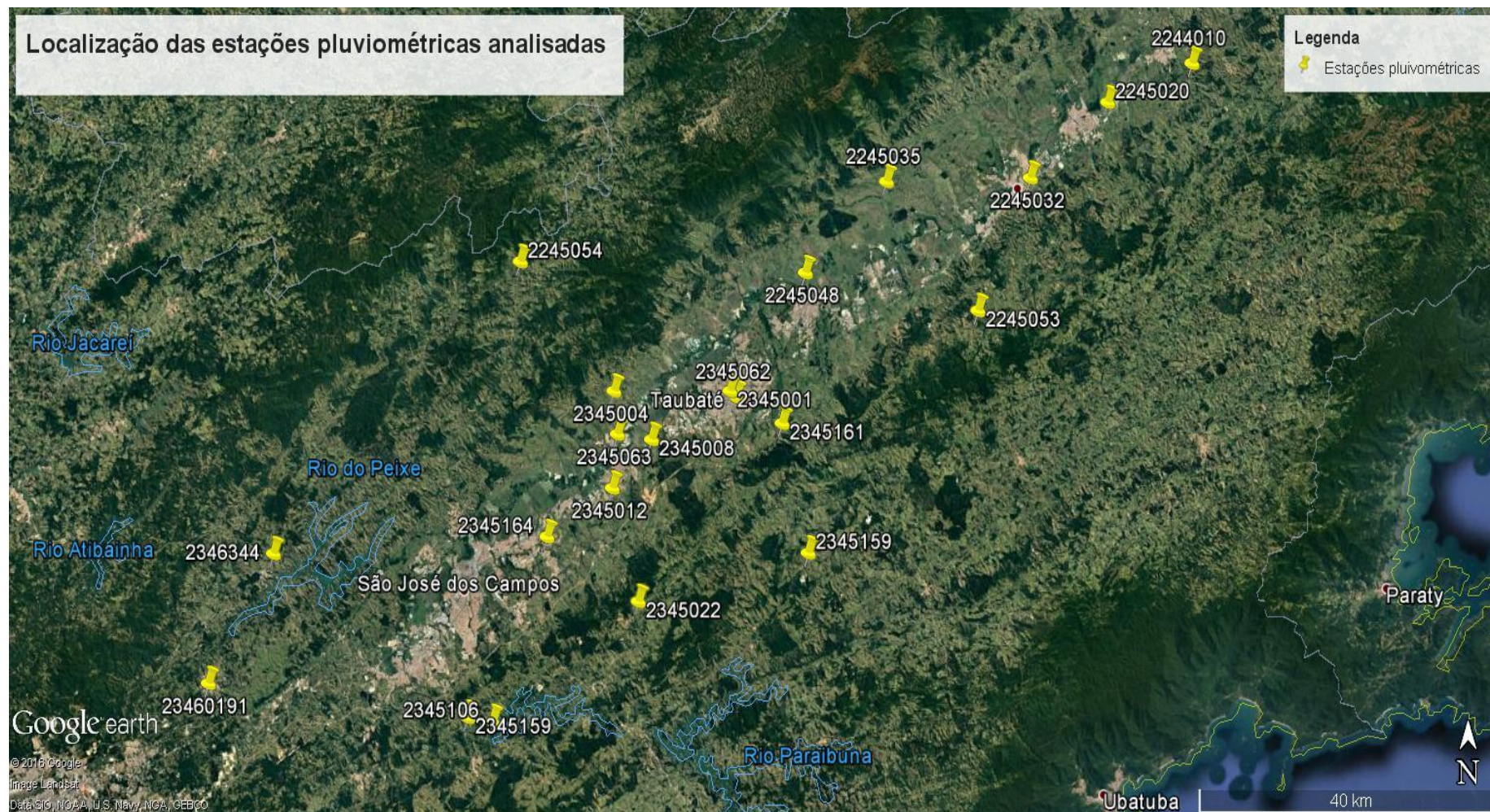
CÓDIGO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE [m]	INÍCIO DA SÉRIE [ano]	RESUMO DE PRECIPITAÇÃO			
						MÍNIMO TOTAL ANUAL [mm]	MÁXIMO TOTAL ANUAL [mm]	TOTAL ANUAL MÉDIO [mm]	DESVIO PADRÃO DO TOTAL ANUAL [mm]
2244001	Queluz	22°32'58" S	44°47'20" O	500	1957	976	2113	1395	265
2244010	Cachoeira Paulista	22°41'31" S	44°58'30" O	550	1936	705	1899	1382	222
2245020	Lorena	22°44'00" S	45°05'00" O	540	1957	671	2007	1276	261
2245032	Guaratinguetá	22°48'44" S	45°10'57" O	519	1930	380	3012	1384	330
2245035	Pindamonhangaba	22°49'00" S	44°22'00" O	540	1957	625	1863	1212	293
2245048	Pindamonhangaba	22°54'40" S	45°28'13" O	524	1932	810	1811	1232	218
2245053	Aparecida	22°57'00" S	45°15'00" O	690	1957	481	1992	1249	317
2245054	Monteiro Lobato	22°56'00" S	45°50'00" O	680	1939	998	4952	1827	566
2345001	Taubaté	23°02'00" S	45°34'00" O	610	1963	917	1959	1345	250
2345004	Caçapava	23°02'00" S	45°47'00" O	580	1969	881	2517	1549	329
2345008	Caçapava	23°05'00" S	45°40'00" O	580	1945	331	2224	1173	356
2345012	Caçapava	23°08'00" S	45°43'00" O	620	1942	761	2189	1282	266
2345022	Jambeiro	23°15'00" S	45°41'00" O	700	1943	504	2326	1284	302
2345062	Taubaté	23°02'22" S	45°33'32" O	586	1937	641	1891	1290	225
2345063	Caçapava	23°04'40" S	45°42'37" O	545	1929	628	1956	1290	211

Conclusão

CÓDIGO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE [m]	INÍCIO DA SÉRIE [ano]	RESUMO DE PRECIPITAÇÃO			
						MÍNIMO TOTAL	MÁXIMO TOTAL	TOTAL ANUAL	DESVIO PADRÃO DO TOTAL ANUAL
						ANUAL [mm]	ANUAL [mm]	MÉDIO [mm]	[mm]
2345161	Taubaté	23°04'00" S	45°30'00" O	600	1957	143	1979	1066	351
2345164	São José dos Campos	23°11'00" S	45°48'00" O	570	1960	852	2085	1275	262
2346019	Santa Isabel	23°20'00" S	46°14'00" O	690	1937	806	2312	1345	279
2346344	Igaratá	23°12'00" S	46°09'00" O	780	1972	678	2599	1409	340

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4 – Localização das estações base.



Fonte: Google Earth

### 3.4 CÁLCULO DO IPP

Tradicionalmente, o IPP é calculado a partir da distribuição de probabilidades gama. A distribuição gama é útil para a avaliação de séries hidrológicas assimétricas (CHOW et al., 1988), sendo geralmente bem sucedida na representação da chuva desde a escala diária até a anual (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Sua função densidade de probabilidade é calculada através da Equação (1).

$$f_g(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

sendo:

- $f_g(x)$             função densidade de probabilidade da distribuição gama;
- $x$                     chuva total no período considerado (mensal, trimestral, semestral) [mm];
- $\alpha$  e  $\beta$             parâmetros da distribuição gama;
- $\Gamma$                     função gama.

As estimativas de  $\alpha$  e  $\beta$  através da máxima verossimilhança são dadas pelas Equações (2) e (3) (TIGKAS et al., 2015):

$$\alpha = \frac{\left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \left( \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \right)}{3}} \right)}{4 \cdot \left( \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \right)} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

sendo

$x$  precipitação total no período considerado (mensal, trimestral, semestral) [mm];

$\bar{x}$  média da amostra do período considerado [mm];

$n$  tamanho da amostra.

A distribuição gama é indefinida para  $x = 0$ , sendo necessário um ajuste de sua função cumulativa  $F(x)$  para  $H(x)$ , através da Equação (4).

$$H(x) = q + (1 - q)F(x) \quad (4)$$

sendo

$q$  probabilidade de ocorrência de precipitação “zero”;

$F(x)$  probabilidade cumulativa da distribuição gama incompleta.

A variável  $q$  pode ser estimada através da divisão da quantidade de “zeros” na série de precipitação dividida pelo tamanho da amostra  $n$ .  $H(x)$  é, então, transformada na variável aleatória normal padronizada “ $Z$ ”, com média igual a zero e desvio-padrão igual a um (TIGKAS et al., 2015). O valor de  $Z$  corresponde ao IPP. A normalização computacional da função é normalmente feita através da aproximação proposta por Abramowitz e Stegun (1965), conforme Equações (5) a (8) (EDWARDS; MCKEE, 1997).

$$Z = \text{IPP} = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (5)$$



$$Z=IPP=+\left(t-\frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3}\right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) < 1 \quad (6)$$

$$t=\sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (7)$$

$$t=\sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \quad \text{para } 0,5 < H(x) < 1 \quad (8)$$

Nas Equações (5) a (8), as constantes assumem os seguintes valores:  $c_0 = 2,515517$ ,  $c_1 = 0,802853$ ,  $c_2 = 0,010328$ ,  $d_1 = 1,432788$ ,  $d_2 = 0,189269$ ,  $d_3 = 0,001308$ .

A Tabela 3 apresenta a classificação de secas a partir do IPP:

Tabela 3 - Classificação de secas de acordo com o valor do IPP

VALOR	CATEGORIA DE SECA	SEVERIDADE, TEMPO DE RETORNO [ANOS]
$0 > IPP \geq -0,99$	Suave <sup>3</sup>	3
$-1,00 \geq IPP \geq -1,49$	Moderada	10
$-1,50 \geq IPP \geq -1,99$	Severa	20
$-2,00 > IPP$	Extrema	50

Fonte: Mckee et al. (1993) e WMO (2012)

<sup>3</sup> Alguns autores, por exemplo, a WMO (2012), consideram a faixa de IPP entre 0,99 e -0,99 como sendo próxima à normalidade. Segundo a concepção original do IPP Mckee et al. (1993), em uma série temporal, uma seca se inicia quando o IPP apresenta valores negativos, terminando quando o mesmo retorna a valores positivos.

Apesar de não ser o foco da presente pesquisa, vale salientar que valores positivos do IPP, nas mesmas faixas indicadas na Tabela 2, representam períodos úmidos/chuvosos, com excesso de precipitação em relação às probabilidades médias dos períodos analisados, e com as mesmas categorias referentes às secas.

O cálculo dos IPPs foi realizado através do programa DrinC (TIGKAS et al., 2015, p. 701). Visando conferir os resultados gerados pelo DrinC, os cálculos foram replicados em um segundo programa, indicado pela Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization et al., 2012, p. 9), e desenvolvido pelo Centro Nacional de Mitigação de Secas da Universidade de Nebraska-Lincoln.

Foram consideradas 4 escalas temporais e 4 períodos de análise:

- escalas de 1, 3, 6 e 12 meses;
- períodos de primavera (outubro a dezembro), verão (janeiro a março), período úmido (outubro a março) e ano hidrológico (outubro a setembro).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSÕES**

As Figuras 39 a 84, apresentadas no Apêndice B, apresentam os IPPs para o período completo de dados de cada estação analisada, nas escalas de 1, 3, 6 e 12 meses. A partir destes gráficos, foram obtidas informações relevantes sobre o período de seca de 2014/2015<sup>4</sup>, conforme Tabela 4.

---

<sup>4</sup> Em todos os resultados apresentados, a referência temporal se refere ao início do período/escala analisado. Por exemplo, o IPP do período úmido de 2014 é calculado para o período de 6 meses iniciado em outubro de 2014, englobando a primavera de 2014 e o verão de 2015.

Tabela 4 – Análise dos IPPs das estações

(continua)

<b>CÓDIGO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES</b>
2244001	Queluz	O mês de out/05 foi o mais seco do histórico (IPP = -4,14, seca extrema). O verão de 2014 foi o mais seco do histórico (IPP = -2,92, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca iniciou-se em abr/2013 e terminou em jan/2015. Na escala de 12 meses, a seca teve início em fev/2013.
2244010	Cachoeira Paulista	O mês de fev/84 foi o mais seco do histórico (IPP= -5,22, seca extrema). O verão de 2014 foi o mais seco do histórico (IPP = -4,08, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca iniciou-se em mai/2013 e terminou em mar/2015. Na escala de 12 meses, a seca teve início em jan/2013.
2245020	Lorena	O mês de fev/84 foi o mais seco do histórico (IPP= -3,44, seca extrema). O verão de 2014 foi o mais seco do histórico (IPP = -3,45, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca iniciou-se em ago/1981 e terminou em jan/2015, com expressivos impactos negativos nos meses de jul/2012 a out/2014. Na escala de 12 meses, a seca teve início em jan/1981.
2245032	Guaratinguetá	O mês de jan/75 foi o mais seco do histórico (IPP= -3,23, seca extrema). O verão de 1975 foi o mais seco do histórico (IPP = -3,93, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca iniciou-se em nov/1974, tendo períodos entre suave e moderado até ago/2013 onde um novo pico de seca severa aconteceu em jan/2014 amenizando após jun/2014. Na escala de 12 meses, a seca teve início em ago/1974.
2245035	Pindamonhangaba	O mês de fev/84 foi o mais seco do histórico (IPP= -3,13, seca extrema). O verão de 2014 foi o mais seco do histórico (IPP = -2,59, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca teve início em nov/1991 mantendo a média moderada até out/2013 onde passou ao regime de seca severa a extrema, voltando a moderada em fev/2014 onde terminou em nov/2014. Na escala de 12 meses, a seca teve início em jan/1981.

(continuação)

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES
2245048	Pindamonhangaba	O mês de jan/56 foi o mais seco do histórico (IPP= -3,65, seca extrema). O verão de 2014 foi o mais seco do histórico (IPP = -3,30, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca iniciou-se em mar/1963 mantendo um período de suave a moderado até abr/2013 onde entrou em um período de seca extrema terminando em out/2014. Na escala de 12 meses, a seca teve início em jan/2014.
2245053	Aparecida	O mês de jan/14 foi o mais seco do histórico (IPP= -3,27, seca extrema). O verão de 2012 foi o mais seco do histórico (IPP = -3,39, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca iniciou-se em jan/2010 como moderada e agravou-se para severa e extrema com pico em set/2012 amenizando em abr/2014. Na escala de 12 meses, a seca iniciou-se em mai/1980, como suave atingindo o pico de -3,12 do IPP em jan/1981, seguindo assim até dez/1981 passando para um regime suave de seca, porem após dez/98 passou para um regime moderado de seca até dez/1999 agravando-se para severa e extrema com pico em mai/1911 onde o IPP atingiu -3,09, recuperando-se após fev/2014 voltando a suave.
2245054	Monteiro Lobato	O mês de fev/77 foi o mais seco do histórico (IPP= -3,21, seca extrema). O verão de 1992 foi o mais seco do histórico (IPP = -3,92, seca extrema). Na escala de 6 meses, a seca iniciou-se em set/1992 amenizando em jan/1993 mantendo-se na faixa moderada /suave até dez/2013 culminando em jan/2014 com -1,70 do IPP. Na escala de 12 meses, a seca iniciou-se em set/1980 como moderada, atingindo o pico de -3,89 (extrema) em fev/1981. Em abr/1991 novamente teve início de uma nova seca que teve uma variação de -2,77 a -1,10 em jan/1993. Já no período de abr/2013 a mar/2014 também tivemos um período de seca moderada com pico em -1,42.
2345001	Taubaté	O mês de fev/73 foi o mais seco do histórico (IPP= -2,36, seca extrema). No verão de 1972 tivemos um pico de -2,67 no IPP (seca extrema), porem no período de jan/1981 a dez/1981 foi registrado um período extremamente seco atingindo -2,52 do IPP. Mantendo se após este período na classificação de suave a moderado até fev/2015. Na escala de 6 meses o maior índice atingindo foi em ago/1981 com índice na faixa da seca extrema -3,71 do IPP. No período de out/2013 a jan/2015 o índice permaneceu na média de seca severa atingindo -1,85 do IPP em mai/2014. Na escala de 12 meses encontramos no histórico índices severos e extremos de jun/1980 a out/1981 com o pico do histórico registrado em mar/1981 chegando a -4,41 (seca extrema).

(continuação)

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES
2345004	Caçapava	O mês de mar/2015 foi o mais seco do histórico (IPP= -4,32, seca extrema). O verão de 2013 alcançou a seu índice extremo com o pico de -2,06 (seca extrema). Na escala de 6 meses o período mais seco encontrado foi o de mai/10 a out/2011 na escala de seca extrema. Já de nov/13 a jan/2014 o índice permaneceu na escala severa. Na escala de 12 meses o maior índice registrado foi em out/2000, mantendo se na escala média de suave a severa até out/2014.
2345008	Caçapava	No mês de jan/55 foi registrado o maior índice do histórico (IPP= -4,09, seca extrema). O verão de 2013 foi o mais seco porem o maior índice histórico foi registrado em out/1981 com -4,90 do IPP. Na escala de 6 meses temos o pico em jul/1981 atingindo -5,18 do IPP. Porem após set/2008 até mai/2014 os índices permaneceram na média da escala severa a extrema de seca. Na escala de 12 meses após abr/2008 o índice de severa a extrema também permaneceu até jan/2014.
2345012	Caçapava	O índice mais baixo de -3,41 para o histórico desta estação foi encontrado no mês de fev/1984 atingido a escala de -3,41(seca extrema). O verão de 1981 o mais seco registrado neste histórico. Na escala de 6 meses o período de nov/1980 a dez/1981tivemos registros médios da escala severa a extrema com o pico de -4,18 do IPP para ago/1981. Na escala de 12 meses o período de mai/1980 a oct/1981 foi o com o maior índice registrado em jan/1981 com -4,91 do IPP.
2345022	Jambeiro	No mês de jan/1971 foi o mais seco registrado (IPP=-2,37, seca extrema). O verão de 1969 foi o mais seco registrado atingindo o IPP de -4,10 (seca extrema). Na escala de 6 meses o maior índice foi registrado em jan/1969 atingindo -4,54 do IPP para o histórico. No período de 12 meses o maior valor foi encontrado em fev/1981 com -4,38 do histórico.
2345062	Taubaté	Mar/1968 foi o maior índice encontrado no histórico (IPP= -3,33, seca extrema). O verão de 2005 o índice foi de -4,38 do IPP. Na escala de 6 meses mar/1968 foi quando ocorreu o maior índice do IPP -3,82. Na escala de 12 meses nov/1979 atingiu -3,67 do IPP, sendo o pico do período entre jan/1979 a mar/1981 tendo outras escalas de pico nos períodos de fev/2005 a jan/2006 e abr/2013 a out/2014.

(continuação)

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES
2345063	Caçapava	Fev/1977 foi o mais seco do histórico (IPP=-4,09, seca extrema). O verão de 2013 teve o maior índice do histórico, IPP= -6,08. Na escala de 6 meses o mês de dez/2013 também foi o mais seco atingindo o IPP de -5,19. Na escala de 12 meses agosto de 2013 atingiu -4,25 do IPP do histórico, fazendo parte do período de mar/2013 a fev/2014 mais seco desta estação.
2345071	Santa Branca	Do período histórico out/2014 foi o mês mais seco, cujo o IPP cravou -3,28. O verão de 2016 foi o mais seco do histórico. Na escala de 6 meses mar/1975 atingiu -3,66 do IPP. Na escala de 12 meses do histórico, encontramos o mês de mai/1977 como o mais seco (-2,67 do IPP, seca extrema).
2345106	Jacareí	Nov/1996 foi o maior índice encontrado no histórico (IPP=-3,79, seca extrema). O verão de 2006 / 2007 foi o de maior índice negativo do período seguido pelo verão de 2013 com IPP próximos a -2 (seca extrema). Na escala de 6 meses mar/1975 foi o maior índice negativo IPP=-2,90 (seca extrema) e no período estudado também tivemos índices negativos na média com picos de IPP= -2,35 em nov/2013. Na escala de 12 meses, nov/2013 foi o mais seco do histórico. Também foi verificado que tanto a primavera quanto o verão os índices também foram negativos, corroborando com a afirmação da seca no período estudado.
2345159	Taubaté	Dez/1981 foi o maior índice encontrado no histórico (IPP= -4,01, seca extrema). Os verões e primaveras do período estudado, na média geral teve índices positivos porem o verão de 2006 teve índice IPP= -1,35 e o de 2014 o IPP= -1,98. Na escala de 6 meses jul/1983 foi o de maior índice negativo encontrado no histórico IPP= -5,83 (seca extrema). Na escala de 12 meses Jan/1981 o índice verificado foi o IPP= -3,96 (seca extrema). No período em análise o verão de 2006 e 2013 foram os com maiores índices negativos de IPP verificados, seca severa e seca extrema respectivamente.

(conclusão)

<b>CÓDIGO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES</b>
2345161	Taubaté	Out/1989 foi o mais seco do histórico (IPP= -3,07, seca extrema). No histórico geral analisado a média das primaveras e verões foram de índices positivos, considerados umidade suave ( $0 > \text{IPP} \geq 0,99$ ). Porém, de 2011 até o início 2015, os índices foram negativos com IPPs abaixo de 0, sendo que em 2011 tanto a primavera quanto o verão foram os mais secos do período verificado ( $\text{IPP} > -1,7$ , seca severa), mantendo-se na média negativa de $\text{IPP} < 0$ até o final do período em estudo. Na escala de 6 meses, abr/1963 foi o de menor índice $\text{IPP} = -3,44$ (seca extrema). Na escala de 12 meses, set/1990 o de menor índice $\text{IPP} = -3,62$ (seca extrema). Na análise de período em estudo, de out/2011 até o final do período em 2015 tivemos o IPPs negativos.
2345164	São José dos Campos	Fev/1984 o mais seco do histórico ( $\text{IPP} = -3,45$ , seca extrema). Na análise do histórico o verão de 1981 o mais seco com $\text{IPP} = -2,78$ (seca extrema). Na escala de 6 meses ago/1981 o de $\text{IPP} = -3,57$ . Na escala de 12 meses o $\text{IPP} = -4,55$ foi atingido em jan/1981. Na análise do período em estudo 2013 foi o período mais seco encontrado com $\text{IPP} = -1,21$ (seca moderada). Porém até o final do período estudado os índices de IPP foram abaixo de 0, mantendo o período de seca que se iniciou em 2013.
2346019	Santa Isabel	Abr/1978 foi o mais seco do histórico ( $\text{IPP} = -3,33$ , seca extrema). O verão de 2013 o mais quente do período estudado. Na análise de 6 meses abr/1963 foi o de valor $\text{IPP} = -3,60$ (seca extrema) o menor valor encontrado. Na análise de 12 meses o IPP de -3,03 foi verificado em jun/1944. No período em estudo, as médias se mantiveram acima de 0 no IPP de 2005 a 2012. Já em 2013 o índice negativo de $\text{IPP} = -0,94$ foi verificado em outubro, confirmando a maior seca.
2346344	Igaratá	Jun/1975 foi o mais seco do histórico ( $\text{IPP} = -3,73$ , Seca extrema). Na análise do histórico fev/1981 o mais seco das estações. Na análise de 6 e 12 meses do histórico, 1991 (Fev / Jan) foram os mais secos. No período estudado após 2010 tivemos IPPs negativos para períodos úmidos e secos com o maior pico em out/2013 ( $\text{IPP} = -1,69$ , seca severa).

Fonte: Produção do próprio autor.

A Tabela 5 apresenta os períodos mais secos do histórico completo das estações avaliadas.

Tabela 5 - Períodos mais secos do histórico completo das estações analisadas\*

CÓDIGO	MUNICÍPIO	MÊS	TRIMESTRE	SEMESTRE	12 MESES
		MAIS SECO	MAIS SECO	MAIS SECO	MAIS SECOS
2244001	Queluz	out/05	jan/14	abr/63	jan/14
2244010	Cachoeira Paulista	fev/84	jan/14	jan/14	dez/13
2245020	Lorena	fev/84	jan/14	ago/81	jan/81
2245032	Guaratinguetá	jan/75	jan/75	nov/74	ago/74
2245035	Pindamonhangaba	jan/07	jan/14	nov/91	jan/81
2245048	Pindamonhangaba	jan/56	jan/14	mar/63	jan/14
2245053	Aparecida	jan/14	nov/12	set/12	jan/81
2245054	Monteiro Lobato	fev/57	nov/92	set/92	fev/81
2345001	Taubaté	fev/73	dez/72	ago/81	mar/81
2345004	Caçapava	mar/15	jul/11	jun/10	out/00
2345008	Caçapava	jan/55	out/81	jul/81	mai/11
2345012	Caçapava	fev/84	fev/81	ago/81	jan/81
2345022	Jambeiro	jan/71	jan/69	jan/69	fev/81
2345062	Taubaté	mar/68	nov/05	mar/68	nov/79
2345063	Caçapava	fev/77	dez/13	dez/13	ago/13
2345071	Santa Branca	out/14	jul/63	mar/75	mai/77
2345106	Jacareí	nov/96	abr/00	mar/75	nov/13
2345159	Taubaté	dez/81	out/81	jul/81	jan/81
2345161	Taubaté	out/89	mai/63	abr/63	set/90
2345164	São José dos Campos	fev/84	fev/81	ago/81	jan/81
2346019	Santa Isabel	abr/78	out/37	abr/63	jun/44
2346344	Igaratá	jan/75	fev/81	fev/81	jan/81

Fonte: Produção do próprio autor.

\* As células com preenchimento em cinza representam eventos diretamente associados ao período de escassez da primeira metade da década de 2010.

Verifica-se na Tabela 5 que o verão de 2014, iniciado em janeiro deste ano, foi excepcionalmente seco, sobretudo na porção norte da UGRHI-02.



Segundo Otto et al. (2015), além do recente episódio de seca na primeira metade da década de 2010, a Região Sudeste do Brasil enfrentou eventos expressivos de seca nos anos de 1953/54, 1962/63, 1970/71 e 2001. A Tabela 6 apresenta as estações analisadas, cujos IPPs calculados, nas escalas de 6 e/ou 12 meses, demonstram a ocorrência de secas ( $IPP < -1$ ) nestes períodos apresentados por (OTTO et al., 2015, p. 8).

Tabela 6 – Estações que apresentaram secas condizentes com os períodos apresentados por Otto et al. (2015) \*

<b>CÓDIGO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>1953/54</b>	<b>1962/63</b>	<b>1970/71</b>	<b>2001</b>
2244001	Queluz	●	●	●	
2244010	Cachoeira Paulista	●	●	●	●
2245020	Lorena	SD	●	●	
2245032	Guaratinguetá	●	●	●	
2245035	Pindamonhangaba	SD	●		●
2245048	Pindamonhangaba	●	●	●	
2245053	Aparecida	SD	●		
2245054	Monteiro Lobato		●	●	
2345001	Taubaté	SD	SD	●	●
2345004	Caçapava	SD	SD	●	●
2345008	Caçapava	●	●		●
2345012	Caçapava	●	●	●	●
2345022	Jambeiro	●	●	●	●
2345062	Taubaté	●	●		●
2345063	Caçapava	●	●	●	●
2345071	Santa Branca	●	●	●	
2345106	Jacareí	SD	●	●	
2345159	Taubaté	●	●	●	
2345161	Taubaté	SD	●	●	
2345164	São José dos Campos	SD	●	●	
2346019	Santa Isabel	●	●	●	
2346344	Igaratá	SD	SD	SD	

Fonte: Produção do próprio autor.

\* As células com preenchimento em bolas pretas representam secas condizentes com Otto et al. (2015), enquanto a sigla SD significa a ausência de dados no período para análise.

Coelho et al. (2015) afirmam que a Região Sudeste apresentou períodos de déficit de precipitação entre 1968-1978 e entre 1998-2014, com destaque para o ano extremamente seco de 2001, perto da costa sudeste; o Oceano Atlântico Sul, apresentou forte associação negativa com a precipitação sobre esta região, devido ao aumento da temperatura do mar na região do oceano.

A Tabela 6 demonstra que o ano de 2001 não foi dos mais críticos na UGRHI-02, tendo em vista que apenas 9 das 22 estações apresentaram secas (na escala de 6 ou 12 meses); nesse ano, sendo a maioria delas concentrada na região de Caçapava e Taubaté. A partir dessa análise, Coelho et al. (2015) ressaltaram que a crise hídrica entre 2013 e 2015 não foi decorrente de eventos isolados nesses anos, mas de um período seco retroativo de aproximadamente 17 anos.

Para uma análise mais consistente do período de seca da primeira metade da década de 2010, são apresentados a seguir os resultados do IPP entre 2005 e 2015 (Figuras 85 a 150, Apêndice C), para os períodos mais importantes em termos de gerenciamento de recursos hídricos na UGRHI-02: primavera, verão, período úmido e ano hidrológico.

A Tabela 7 apresenta a análise das séries de IPPs das Figuras 85 a 150. Com base nessas Figuras, verifica-se que as estações com o verão/2014 mais seco foram as estações 2244010 (Localizada em Cachoeira Paulista) e 2345063 (localizada em Caçapava), com IPPs inferiores a -4,0 localizadas respectivamente em Cachoeira Paulista e Caçapava. A estação 2244010 (Localizada em Cachoeira Paulista) foi aquela que, também, apresentou a primavera/2013 mais seca, com IPP inferior a -4.

A estação 2345008 (localizada em Caçapava) apresentou um comportamento bastante distinto nos períodos úmidos e anos hidrológicos entre 2005 e 2015. Nesse período, todos os períodos úmidos e anos hidrológicos foram secos ( $IPP < -1$ ), demonstrando que o local desta estação recebeu baixas precipitações por pelo menos 10 anos. De forma oposta, a estação 2345159 (localizada em Taubaté) apresentou chuvas acima da média (IPPs positivos) em todos os anos hidrológicos deste mesmo período, com exceção do ano de 2013.

Considerando a escala de ano hidrológico, verifica-se que a estação 2244054 (Localizada em Monteiro Lobato) foi uma das menos afetadas pela seca, sendo que no período de 2005 a 2015, só correu um ano seco ( $IPP < -1$ ) em 2013, ainda assim, com valor de

IPP no limiar de seca moderada,  $IPP = -1$ . Vale destacar que esta estação é a de maior média de precipitação dentre as analisadas.

Tabela 7 – Análise dos IPPs das estações no período 2005/2015, para primavera, verão, período úmido e ano hidrológico

(continua)

<b>CÓDIGO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES</b>
2244001	Queluz	O verão/2012 foi extremamente seco, seguido de um verão moderadamente chuvoso. O verão de 2014 foi extremamente seco. O período chuvoso e ano hidrológico 2013/2014 foram severamente secos, enquanto no período 2014/2015 verificou-se uma seca suave.
2244010	Cachoeira Paulista	Os verões e as primaveras de 2005 e 2006, foram classificados pelos IPPs de suave a moderado. Porém o verão de 2013/2014 foi extremamente seco. Nos períodos de 2007 a 2012 tivemos períodos úmidos de suave a moderados, com o pico de umidade em 2008. A maior seca foi observada em 2013 e permanecendo até 2015.
2245020	Lorena	Somente os períodos de out/2008 a out/2010 foram registrados com umidade acima de 0, atingindo o pico de umidade IPP = 1,50 em 2008 (umidade moderada). Nos demais períodos de out/2005 a out/2014 tivemos IPPs abaixo de 0, indicando seca nos períodos, que variaram de seca suave a seca extrema com o maior pico em out/2013, IPP = - 2,65 (extrema seca), amenizando até o início de 2015, porém ainda com índices de IPPs negativos.
2245032	Guaratinguetá	Os períodos de out/2006, out/2011, out/2013 em diante tivemos IPPs abaixo de 0 com pico de - 1,81 (seca severa) em out/2013 permanecendo negativamente abaixo de 0 até o final do período em estudo. Os períodos out/2005, out/2007 a out/2010 e out/2012 tivemos períodos úmidos acima de 0 e com o pico maior de umidade em out/2009 (IPP = 1,53, umidade severa).

(continuação)

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES
2245035	Pindamonhangaba	Períodos úmidos encontrados após out/2007 até out/2009 e out/2012 com IPPs acima de 0,50 e pico de IPP = 1,36, primaveras e verões destes períodos, úmidos. Os períodos de out/2005, out/2006, out/2010, out/2011 e de 2013 até o final do período em estudo tivemos as primaveras e os verões secos, com o ápice em out/2013, IPP = -2,59 (extremamente seco), continuando na faixa de seca até o final do período em estudo.
2245048	Pindamonhangaba	Os verões de 2005, 2006, 2011, 2013 até o final do período em estudo, foram secos. O período de 2013 até 2015 tivemos secas que variaram de extremamente seca a moderadamente seca nesta ordem. O verão de 2013/2014 o mais seco do período da análise. (IPP > -2,00, extremamente seco)
2245053	Aparecida	Os verões de 2005 a 2007 variaram de uma seca severa a seca suave. 2008 tivemos período chuvoso de intensidade moderada, porem após este, tivemos secas até o final do período em estudo, atingindo picos de IPPs > -2,00 de 2011 a 2013 indicando seca extrema, amenizando em 2014 e 2014, porém ainda com valores negativos de IPPs.
2245054	Monteiro Lobato	Região com primaveras e verões dentro da faixa de suave umidade e seca moderada, porem nos períodos da primavera e verão de 2013 até o final do período de estudo os valores de IPPs mantiveram-se abaixo de 0 atingindo uma seca extrema IPP = -2,25 no verão de 2013.
2345001	Taubaté	Verão de 2006/2007 com IPP de seca severa. O período de out/2007 a out/2012 umidade variando de suave a moderada, mantendo a média acima de 0, úmido. Períodos secos verificados em out/2013 ao início de 2015 com médias negativas de IPPs, variando da faixa de seca severa a seca extrema e em out/2014.

(continuação)

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES
2345004	Caçapava	No período avaliado, as médias de períodos úmidos ficaram abaixo de 0, conseqüentemente as secas permaneceram na classificação pelo IPP de seca moderada a seca extrema, com pico negativo de IPP na primavera de 2010 e no verão de 2013, não se recuperando nos anos finais do período em estudo.
2345008	Caçapava	Somente no verão de 2007 e na primavera de 2008 tivemos IPPs acima de 0 com pico máximo de 0,50 (umidade suave). Nos demais períodos entre 2005 e 2015 média de seca extrema, principalmente nos anos de 2011 a 2013. No final do período em estudo não houve recuperação das secas, mantendo os IPPs iguais ou abaixo de 0 (seca suave).
2345012	Caçapava	No ano de 2006 a primavera e o verão foram adversos ao de 2005 cujo o IPP médio ficou acima de 0, como nos demais períodos de 2007 a 2009. Em out/2010 a primavera atingiu a marca de IPP = -1,42 (seca modera) e em 2011 IPP = - 0,36 (seca suave), porém não houve recuperação, já que o verão de 2010 e 2011 foi abaixo da média da primavera. Na primavera de 2012 o IPP atingiu 1,23 (umidade suave), sendo prejudicado após o verão de 2012, com pico de máximo de IPP em 2013, não se recuperando até o final do período analisado.
2345022	Jambeiro	Verão de 2005 severamente úmido. Em 2006 e 2007 tivemos a primavera e o verão secos variando de da seca suave a moderada. O verão de 2008 e a primavera/verão de 2009 mantiveram-se acima de 0 com pico de IPP acima de 2,00 em 2009, porém com média de umidade abaixo de 0 até o final do período analisado, caracterizando seca.
2345062	Taubaté	Períodos de seca nas primaveras e verões de 2005 e 2006. De out/2007 a out/2012 períodos de umidades acima de 0, com média de IPPs < 1, porem de out/2013 até o final do período em análise a seca perseverou na escala moderada de IPPs, não se recuperando até o final da análise.

(continuação)

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES
2345063	Caçapava	O verão de 2006 foi seco como a primavera mantendo-se na média de seca suave. De out/2007 a out/2012 a média de umidade permaneceu acima de 0, porém após out/2013 o IPP caiu drasticamente para -4,29, não se recuperando até o final do período analisado.
2345071	Santa Branca	Períodos úmidos IPPs > 0, média de out/2005 a out/2011 aproximou o IPP < 1,00. Porém, após verão de 2011 os índices do IPPs tanto para a primavera quanto para o Verão caíram drasticamente abaixo de 0, atingindo o IPP = -2,45 (seca extrema), não havendo recuperação até o final do período analisado.
2345106	Jacareí	Os verões de 2006 e 2013 foram os mais secos. A primavera de 2006 e 2009, os verões de 2009 e 2010 são os períodos mais úmidos da análise. Nos demais períodos e na média geral a seca predominou com pico em 2013 (extrema seca) não se recuperando até o final do período analisado.
2345159	Taubaté	O período de out/2005 a out/2012 foi um período cuja as primaveras e os verões permaneceram com IPPs acima de 0,50 (umidade suave). Out/2013 tivemos uma seca severa com um índice suave de chuva (IPP = -0,51) e um verão de seca severa (IPP = -1,99).
2345161	Taubaté	Período de 2005 a 2015 de baixa umidade, prevalecendo IPPs médios abaixo de 0,50 (umidade suave), porém a seca que teve o ápice em out/2011 atingiu o IPP = -2,01 (seca extrema). Primavera e verão secos, não se recuperando até o final do período analisado.

(conclusão)

---

<b>CÓDIGO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>ANÁLISE DOS IPPS DAS ESTAÇÕES</b>
2345164	São José dos Campos	Verões e primaveras de 2005, 2007 a 2009 úmidos. Verão e primavera de 2006 e 2011 secos. Primavera e verão de 2012 com IPPs acima de 1,00, porém na primavera de 2013 teve início um período de seca com ápice no verão de 2013 que foi o mais seco do período analisado, sem recuperação até o final do período em análise.
2346019	Santa Isabel	Primavera e verão de 2009 foram os períodos mais úmidos. De out/2005 a out/2012 a média permaneceu positiva, com IPPs acima de 0, porém a partir do verão de 2012 os valores dos IPPs foram negativos culminando com o verão de 2013 que foi o mais seco.
2346344	Igaratá	A primavera de 2009 e 2010 foram os períodos mais úmidos com média do IPP acima de 1,00, porém no geral a média pendeu para o IPP negativo, tendo o seu ápice na primavera e verão de 2013 sem recuperação até o final dos dados analisados.

---

Fonte: Produção do próprio autor.



As estações 2345008 (Caçapava), 2245053 (Aparecida) e 2244010 (Cachoeira Paulista), foram as estações que apresentaram os maiores índices de seca na primavera do período em estudo. Já as estações 2345063 (Caçapava), 2345159 (Taubaté), 2345164 (São José dos Campos) e 2346019 (Santa Isabel) foram as que tiveram as menores incidências de seca na primavera

As estações 2345008 (Caçapava), 2245053 (Aparecida) e 2245048 (Pindamonhangaba) foram as estações que apresentaram os maiores índices de seca no verão do período em estudo. Já as estações 2345071 (Santa Branca), 2346019 (Santa Isabel) e 2345161 (Taubaté) foram as que tiveram as menores incidências de seca no verão.

As estações 2345008 (Caçapava), 2245053 (Aparecida) e 2345106 (Jacareí) foram as estações que apresentaram os maiores índices de seca no período úmido da série em estudo. Já as estações 2345004 (Caçapava), 2346019 (Santa Isabel) e 2345012 (Caçapava) foram as estações que tiveram as menores incidências de seca no período úmido.

As estações 2345008 (Caçapava), 2245053 (Aparecida) e 2345062 (Taubaté) foram as estações que apresentaram os maiores índices de seca no ano hidrológico da série em estudo. Já as estações 2345004 (Caçapava), 2245012 (Caçapava) e a estação 2346019 (Santa Isabel) foram as estações que tiveram as menores incidências de seca no ano hidrológico.

No geral das análises do período em estudo, foi constatado através dos valores dos IPPs, que as estações 2345008 (Caçapava) e 2245053 (Aparecida), foram as estações mais atingidas com o fenômeno da seca e respectivamente conforme resultado das análises.

#### 4.1 IPPS MÉDIOS DAS ESTAÇÕES AVALIADAS NA UGRHI-02

Para uma análise da seca de forma regional, apresenta-se nessa seção, através das Figuras 5 a 12, os IPPs médios de todas as estações avaliadas na UGRHI-02. Apresentam-se as séries de IPPs no período posterior a outubro/1983, a partir do qual todas as estações possuem dados, e também entre 2005 e 2015, para uma análise mais detalhada da seca na primeira metade da década de 2010.

Conforme análise dos gráficos das estações, Tabela 7, no período de out/2005 a out/2014, foi verificado que, em todas as estações analisadas, tivemos índices inferiores a -1

de IPP (seca moderada) atingindo índice mais inferiores, como ( -1,50 a -4,00) seca severa e seca extrema respectivamente

Somente na estação 2345161 (Taubaté) não tivemos índices negativos no período de out /2013. Nesta estação, o período mais seco foi o de out/2011 com índices inferiores a -1,50 (seca severa).

Nas demais estações foram verificados que o período de out/2013 foi o mais crítico do histórico, com médias inferiores a -1,0 de IPP (seca modera).

Na estação 2244001 (Queluz), os períodos out/2011 e out/2013 foram os mais secos.

Na estação 2244010 (Cachoeira Paulista), os períodos out/2006 e out/2013 foram os mais secos.

Na estação 2244020 (Lorena), o período do final de 2006, período de out/2012, out/2013 e out/2014 os mais secos.

Na estação 2245032 (Guaratinguetá), o período do final de 2006, períodos de out/2013 e out/2014, os mais secos.

Na Estação 2245035 (Pindamonhangaba), os períodos out/2006, out/2011, out/2013 e out/2014 os mais secos.

Na estação 2245048 (Pindamonhangaba), tivemos resultado similares a estação 2245035, com secas nos mesmos períodos, porém com intensidade maior.

Na estação 2244053 (Aparecida), tivemos períodos de seca com IPPs inferiores de -1,00 a -1,50 em (out/2005, out/2006 e out/2010). Já nos períodos de out/2011, out/2012 e out/2013, verificamos índices de IPPs inferiores, variando de -2,00 a -3,00 (seca extrema).

Na estação 2245054 (Monteiro Lobato), os índices negativos foram condizentes aos da estação 2244001 (Taubaté).

Na estação 2345001 (Taubaté), out/2006, out/2013 e out/2014 foram os mais secos.

Na estação 2345004 (Caçapava), out/2006, out/2009 a out/2011 e out/2013 formam os mais secos.

Na estação 2345008 (Caçapava), os períodos de out/2006 a out/2013 formam os mais secos, conseqüentemente os mais secos dos períodos das estações em estudo.

Na estação 2345012 (Caçapava), os períodos de out/2006, out/2010 e out/2013 os mais secos.

Na estação 2345022 (Jambeiro), os períodos de out/2007, out/2008, out/2011 e out/2013 foram os mais secos.

Na estação 2345062 (Taubaté), os períodos de out/2005, out/2006, out/2013 e out/2014, foram os mais secos.

Na estação 2345063 (Caçapava), os períodos de out/2006, out/2010, out/2012 e out/2013 forma os mais secos, com uma maior atenção a out/2013 que atingiu índices negativos de IPP que ultrapassaram o valor de -4,00 (seca extrema).

Na estação 2345071 (Santa Branca), os períodos de out/2013 atingiu o IPP negativo superior a -1,50 (seca severa), agravando no período de out/2014 com índice negativo superior a -2,00 (seca extrema).

Na estação 2345106 (Jacareí), os períodos de out/2006, out/2008, out/2012 a out/2014, formam os períodos mais secos, observados médias de IPPs acima do índice de seca severa.

Na estação 2345159 (Taubaté), os períodos de out/2006 e out/2013 formam os períodos de secas.

Na estação 2345161 (Taubaté), somente o período de out/2011 foi o de menor índice negativo de seca, acima de -1,50 (seca severa).

Na estação 2345164 (São Jose dos Campos), os períodos de out/2006 e out/2013 foram os mais secos, sendo o de outro/2013 com índices negativos maiores do que -1,50 no verão.

Na estação 2346019 (Santa Isabel), somente o período de out/2013 foi o mais seco com índices negativos de IPP maiores do que -1,0 (seca moderada).

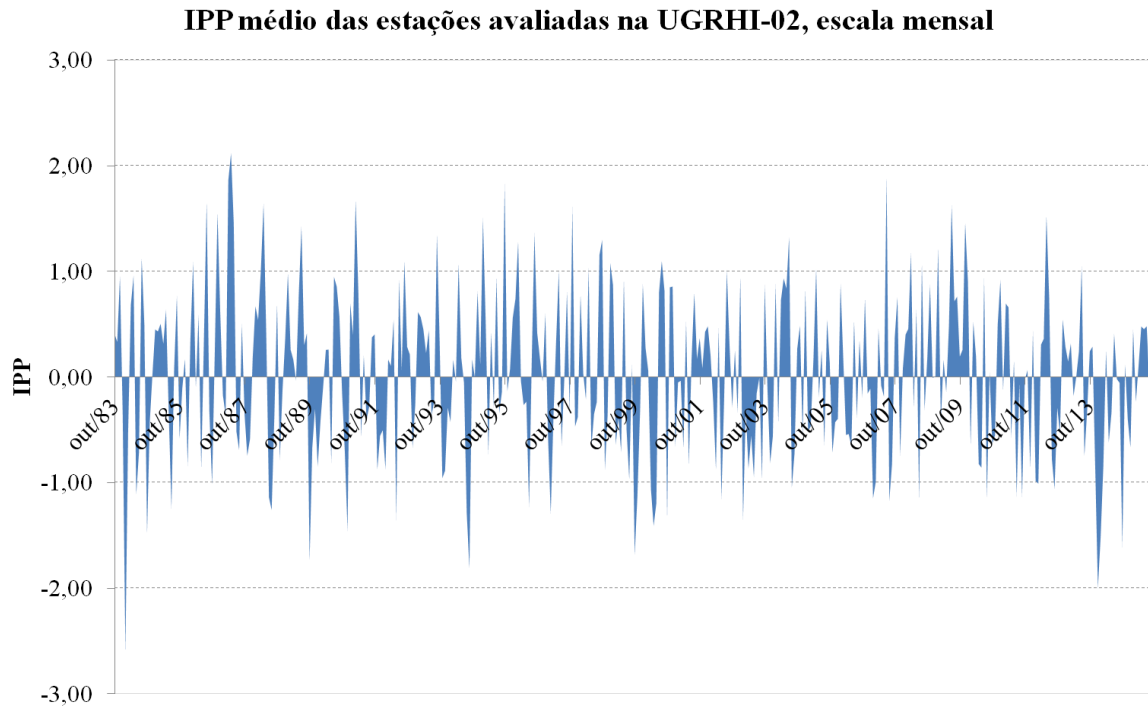
Na estação 2346344 (Igaratá), todos os períodos referentes a out/2013 foram os mais secos.

Conforme os dados e os gráficos analisados, verificamos que a primavera/2014 foi a que pelos estudos indicou a maior frequência de secas na UGRHI-02 com média da ordem de -1,75 de IPP (seca severa), em aproximadamente 40% das estações estudadas.

Quase 95% das estações pluviométricas analisadas e avaliadas, enfrentaram seca extrema ao longo do verão de 2014, ao qual teve o início nos primeiros anos do período em estudo com um ápice em 2007 e o maior índice em 2014.

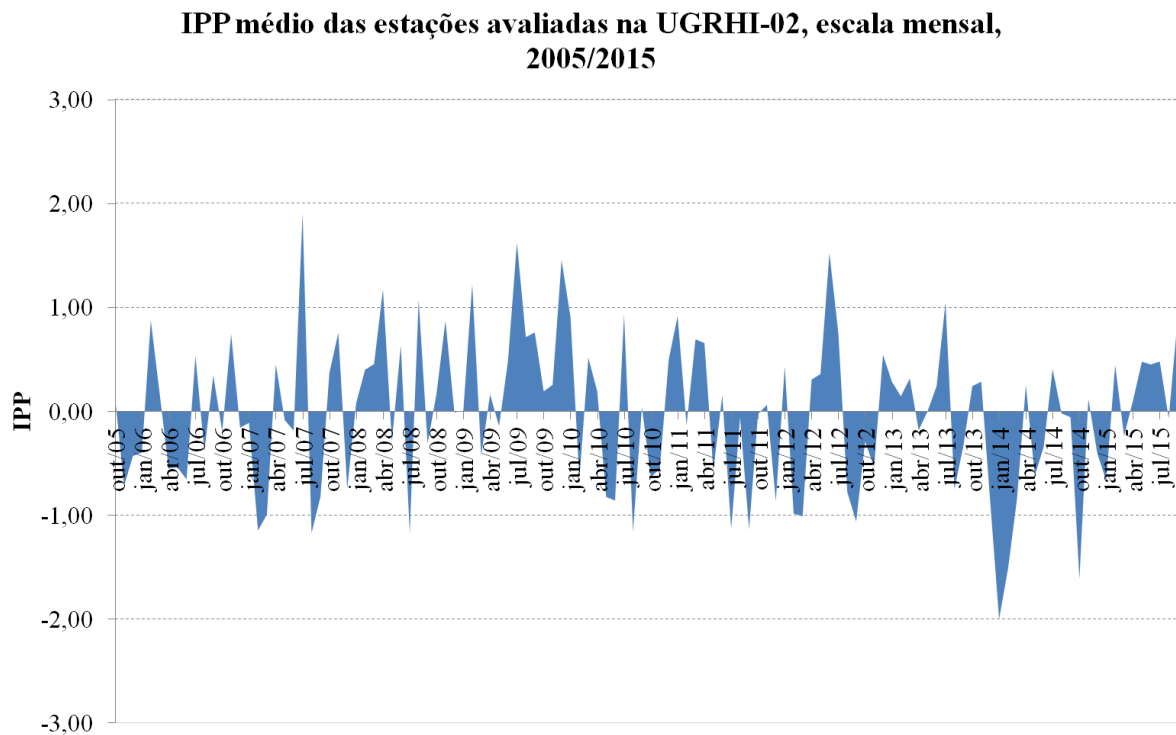
Conforme os gráficos analisados x dados, tivemos confirmação que também as médias no período úmido e do ano hidrológico foram de seca severa, com o ápice em 2013 e reflexos em 2014 e ainda em 2015, pois não houve recuperação das secas, com índices de IPPs negativos.

Figura 5 – IPP médio das estações avaliadas, escala mensal



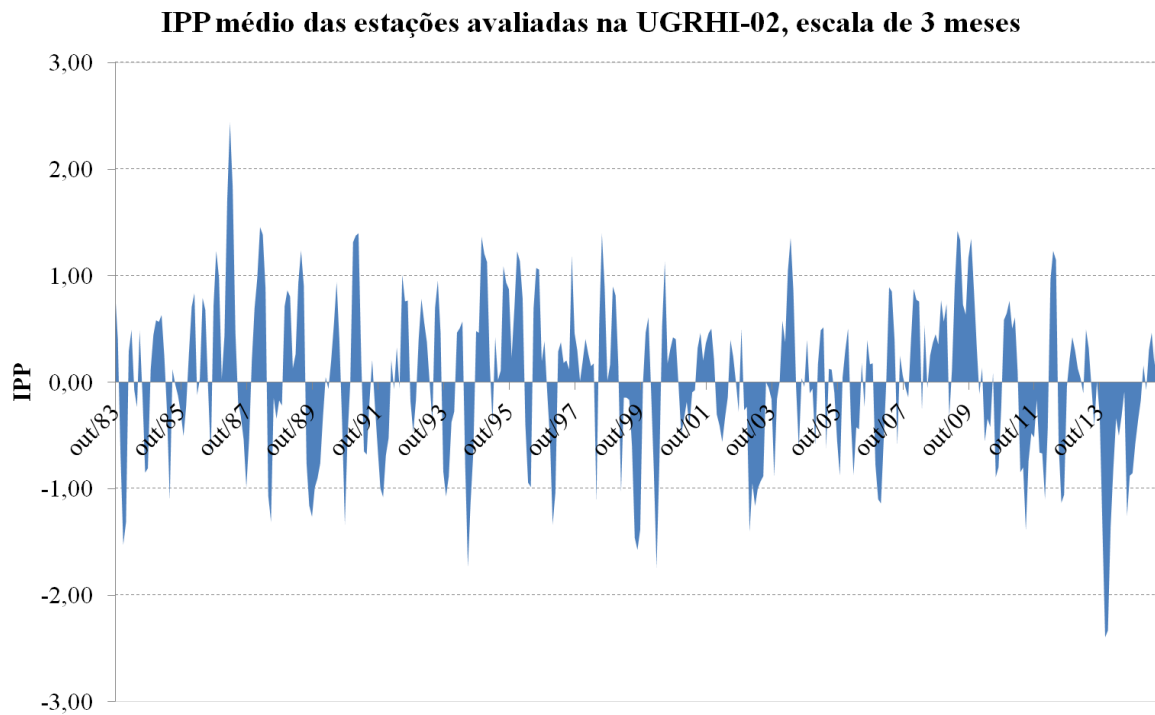
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 6 – IPP médio das estações avaliadas, escala mensal, entre 2005 e 2015



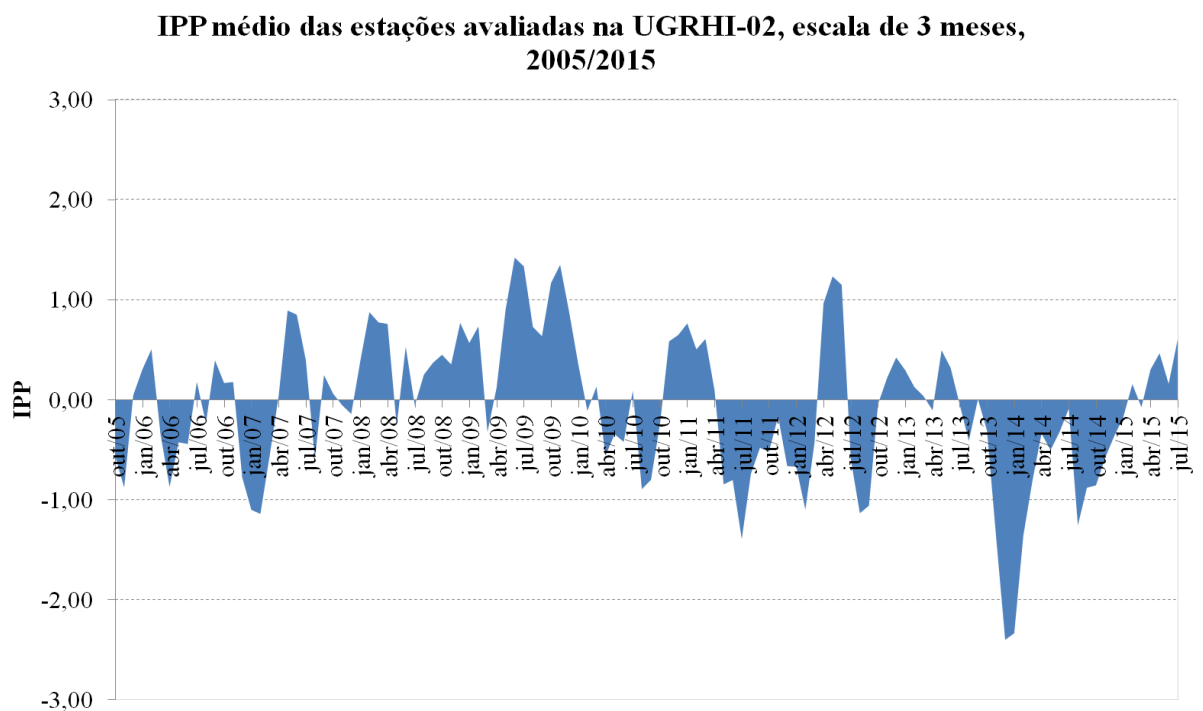
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 7 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 3 meses



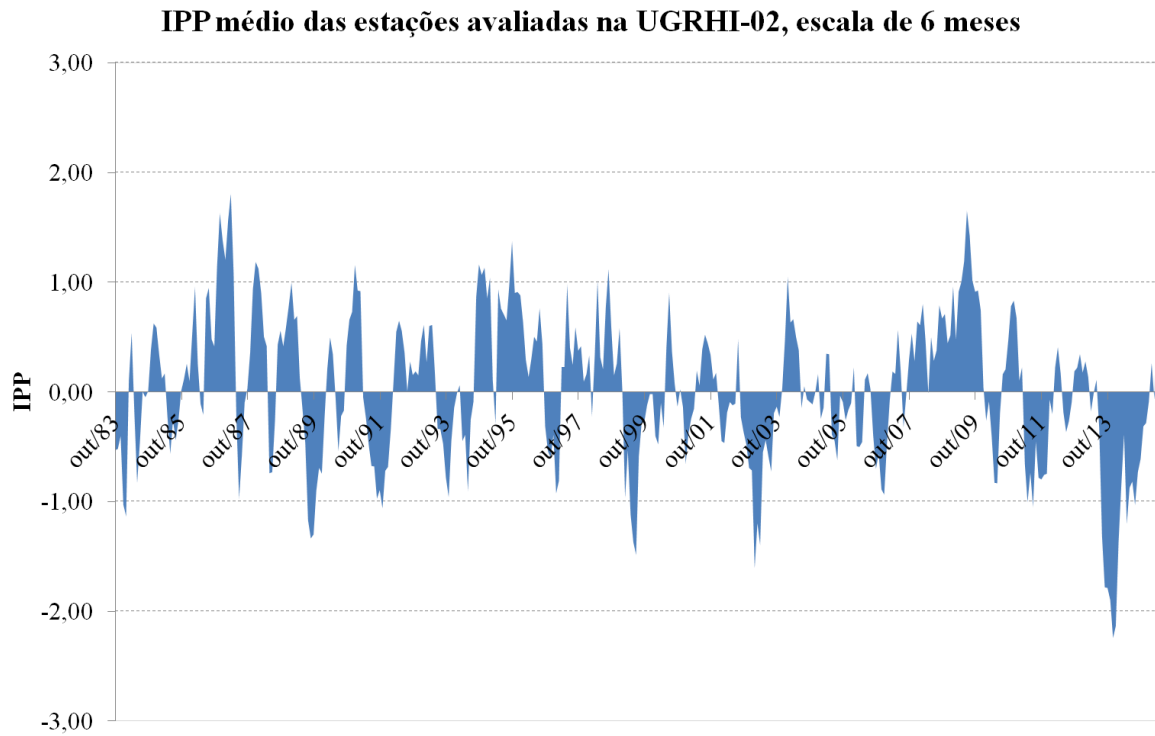
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 8 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 3 meses, entre 2005 e 2015



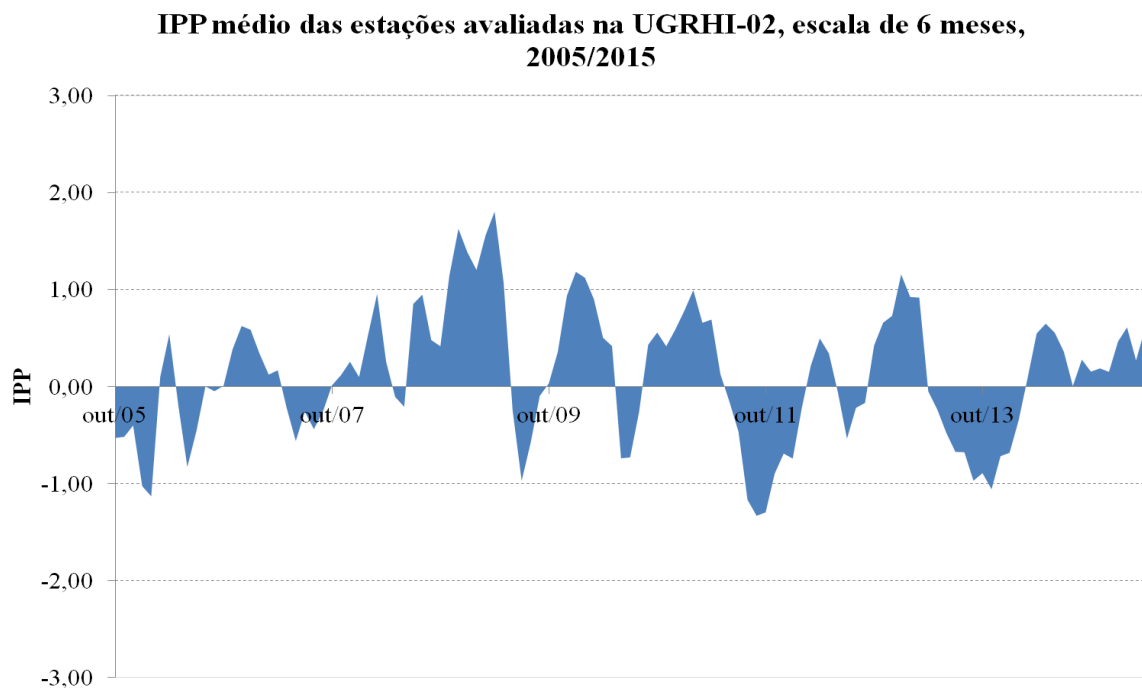
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 9 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 6 meses, entre 2005 e 2015



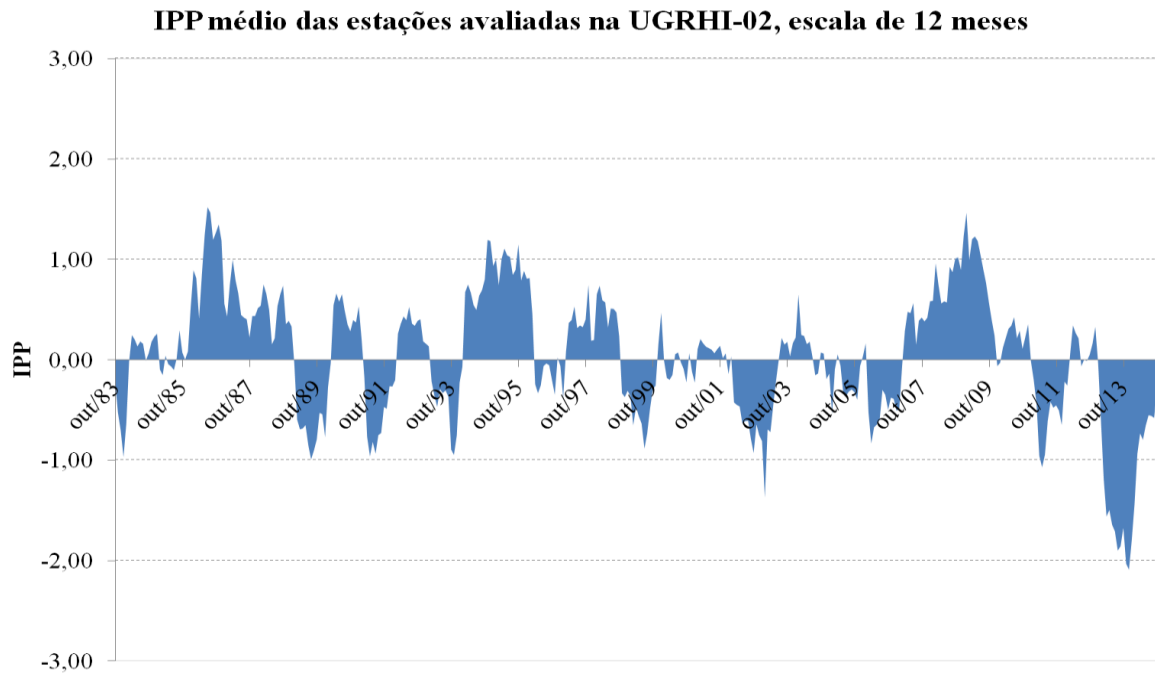
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 10 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 6 meses, entre 2005 e 2015



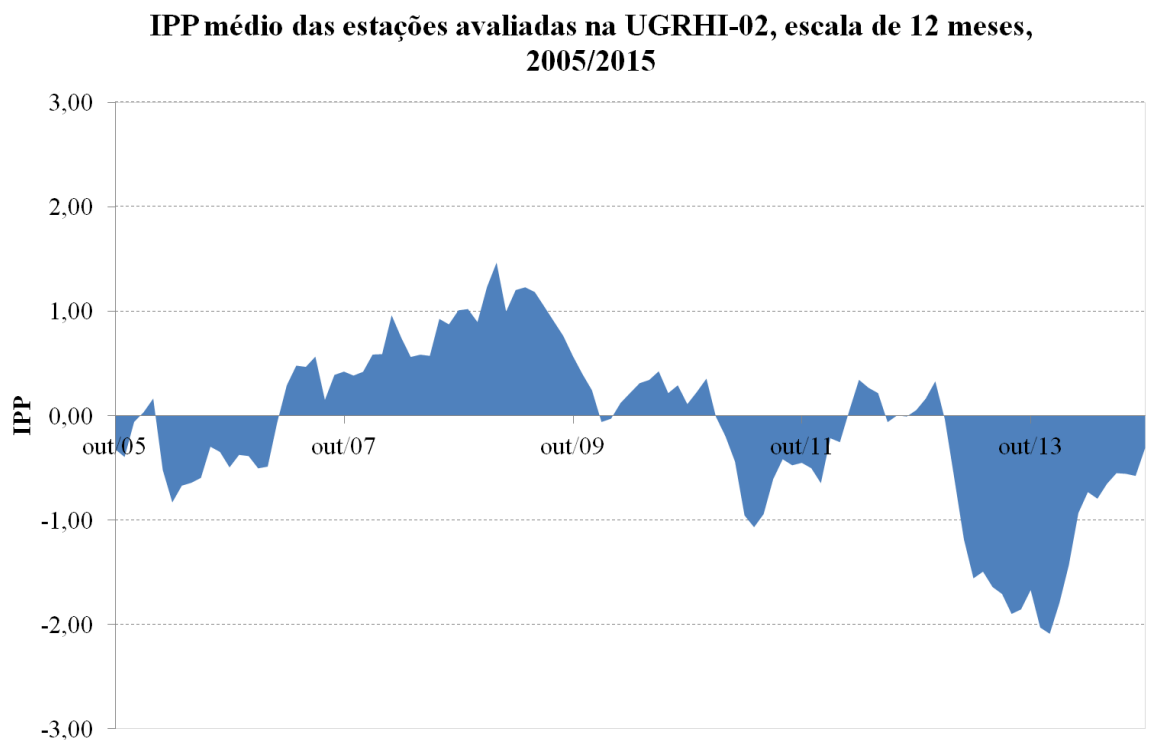
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 11 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 12 meses



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 12 – IPP médio das estações avaliadas, escala de 12 meses, entre 2005 e 2015



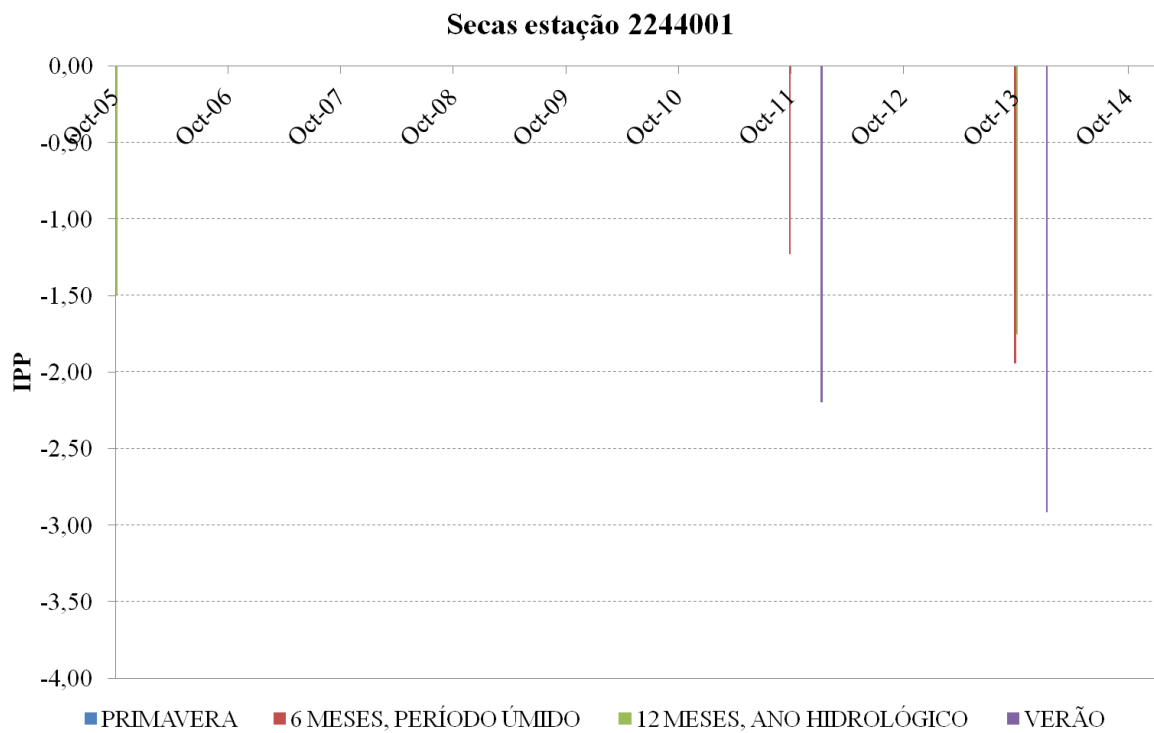
Fonte: Produção do próprio autor.



## 4.2 SECAS MODERADAS, SEVERAS E EXTEMAS ENTRE 2005 E 2015 NAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

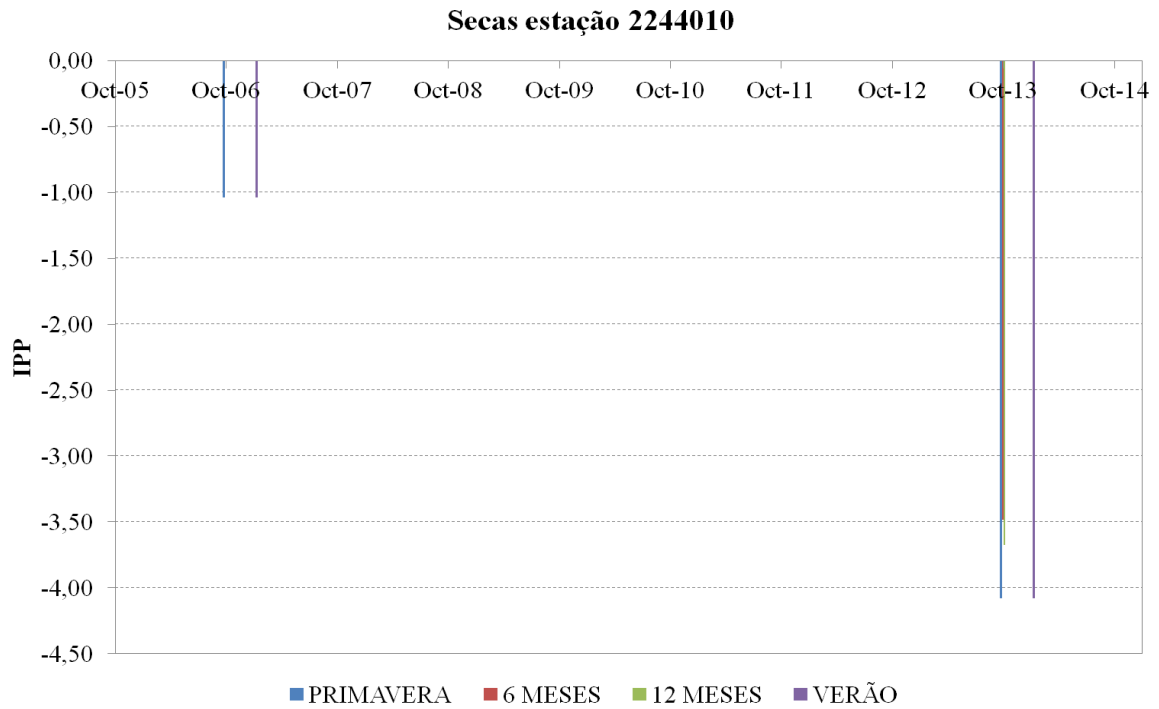
Nesta seção, são considerados secos períodos com IPPs iguais ou inferiores a -1. Assumiu-se que períodos com IPPs entre 0 e -0,99 encontram-se na faixa de normalidade.

Figura 13 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244001



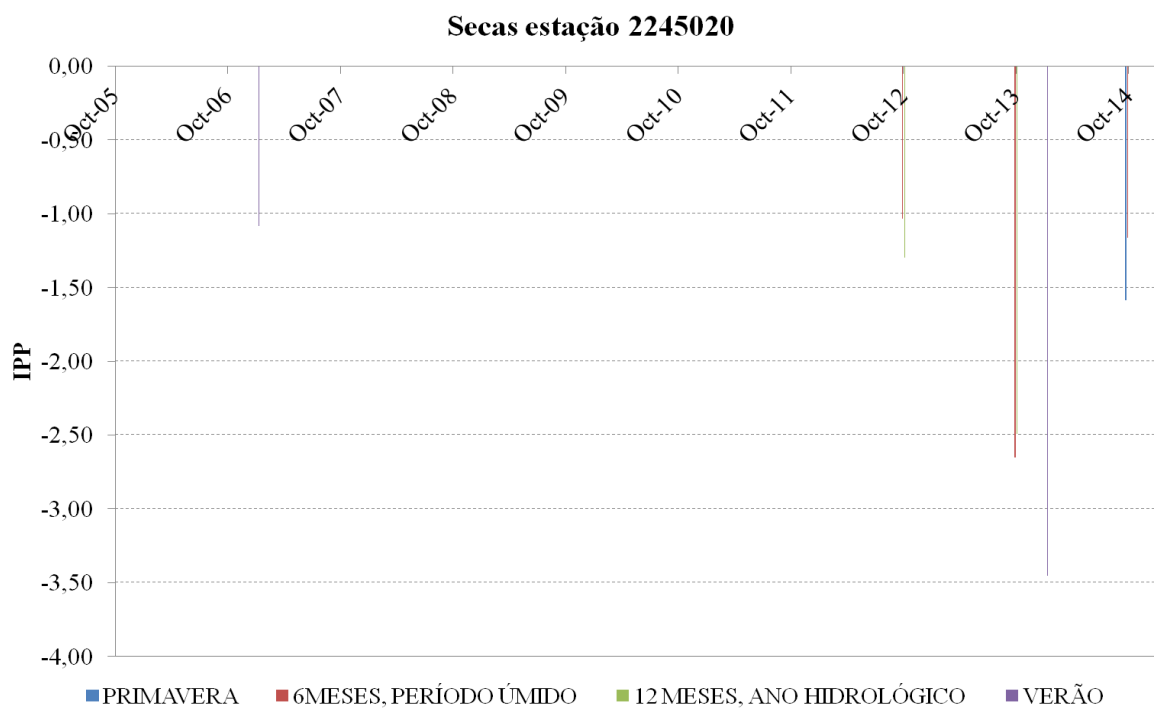
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 14 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244010



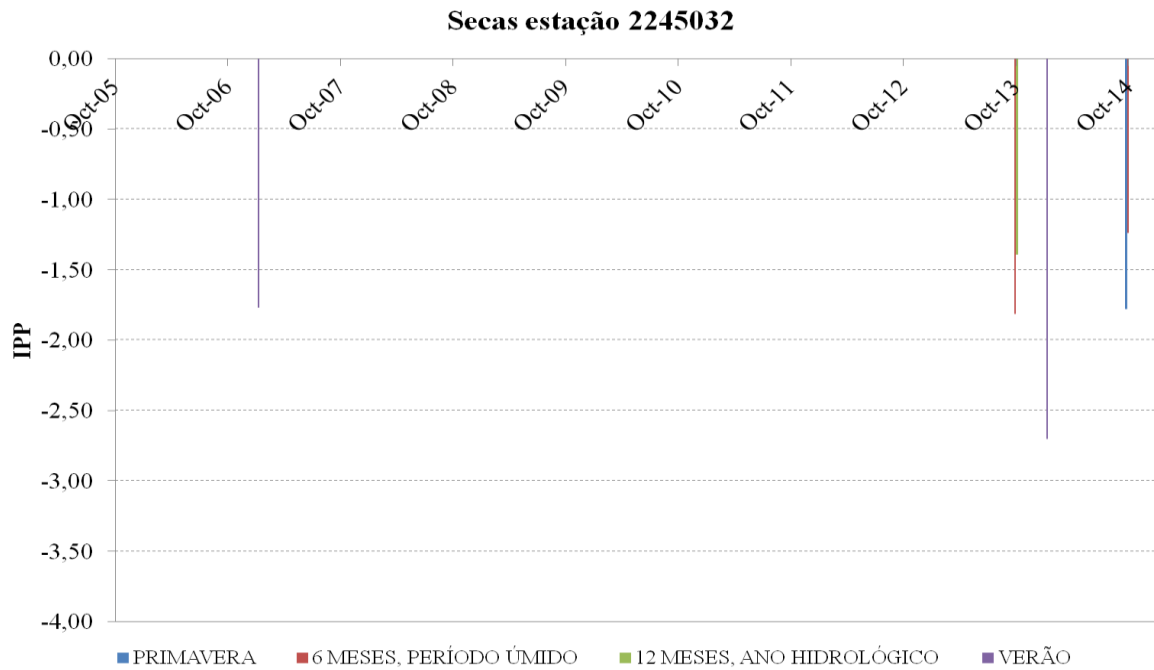
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 15 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244020



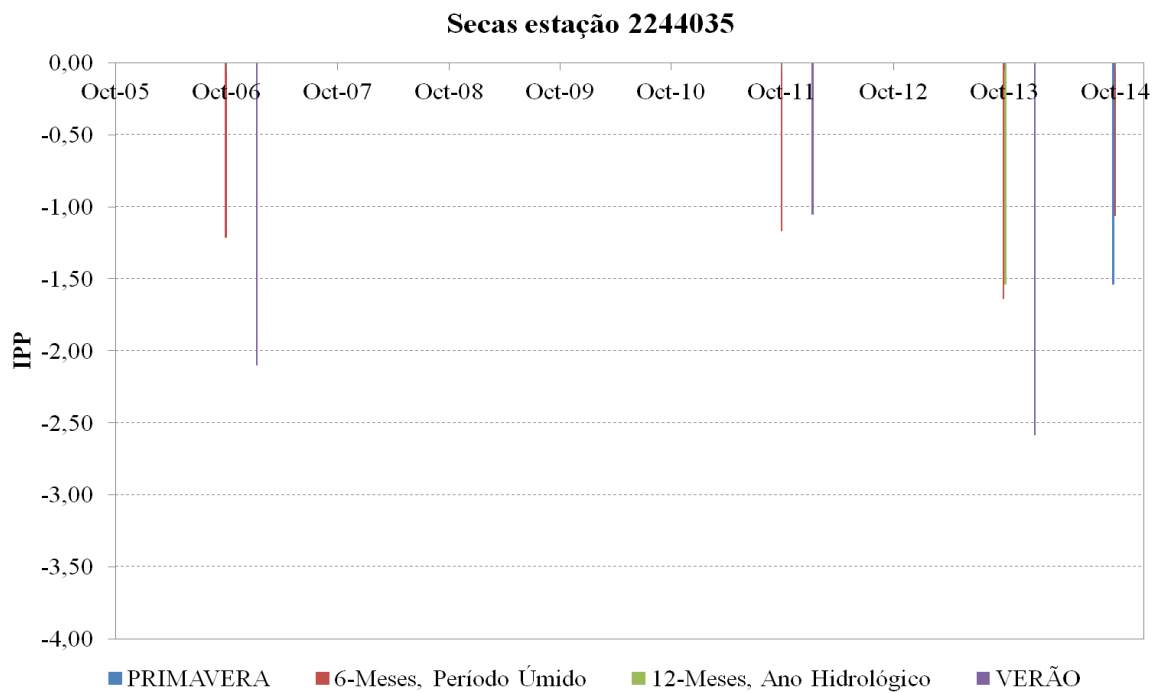
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 16 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244032



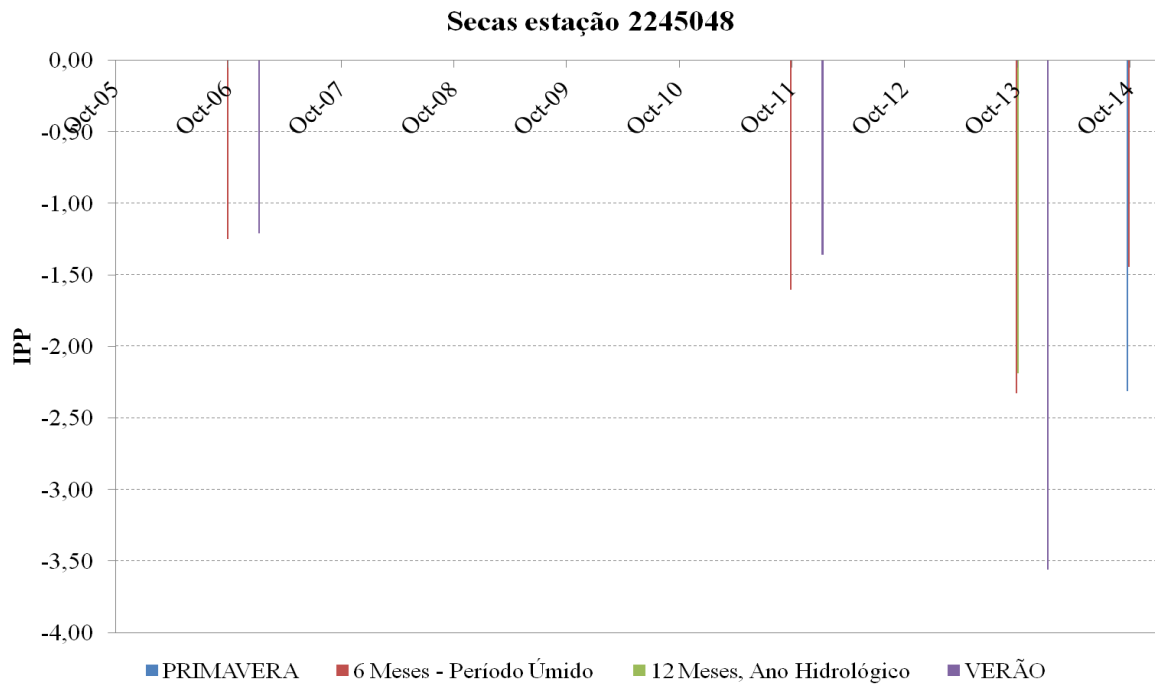
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 17 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244035



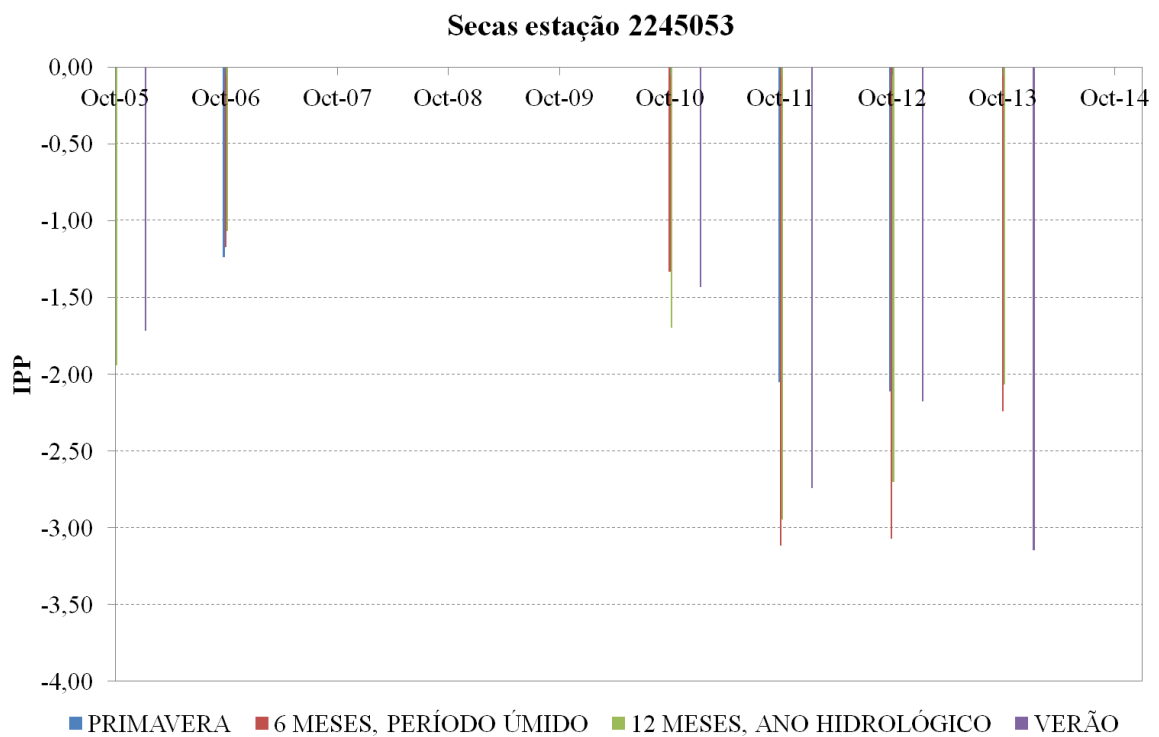
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 18 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244048



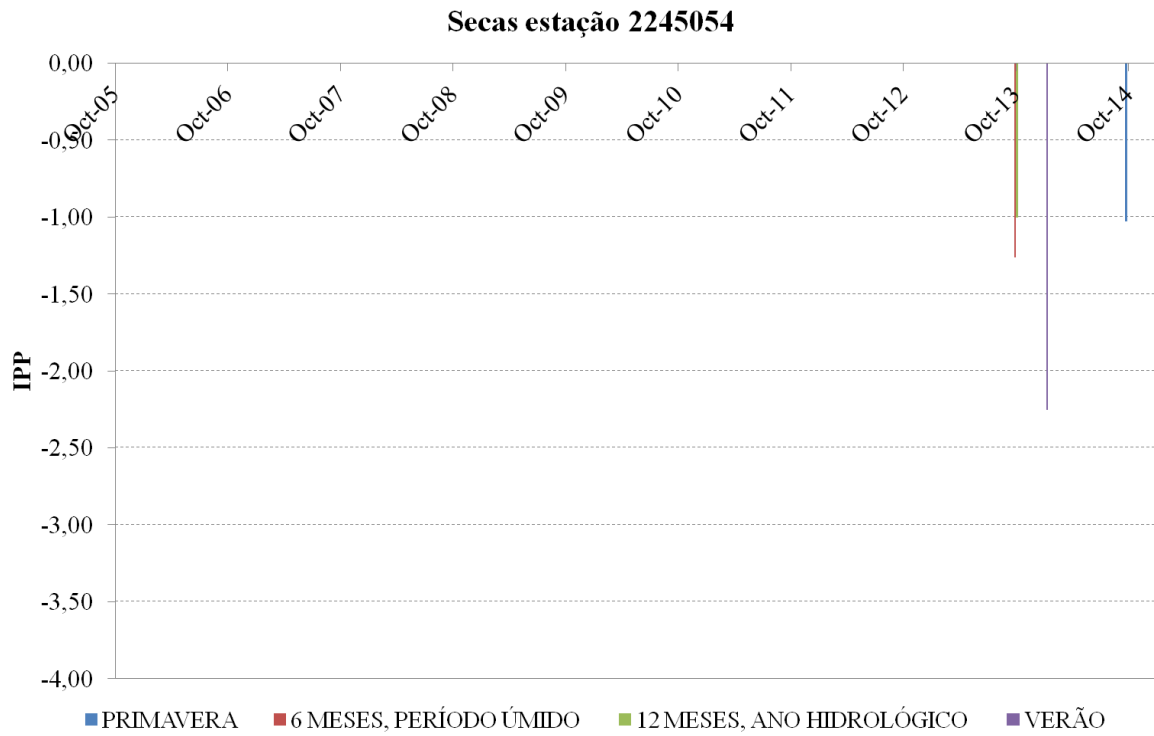
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 19 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244053



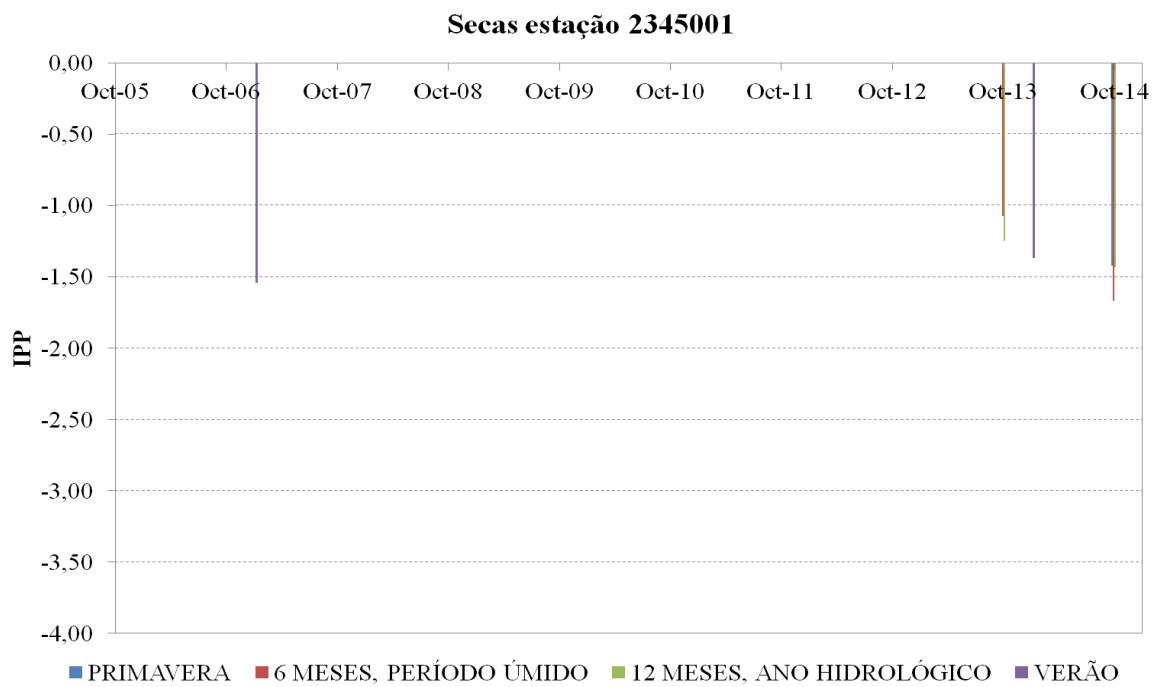
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 20 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2244054



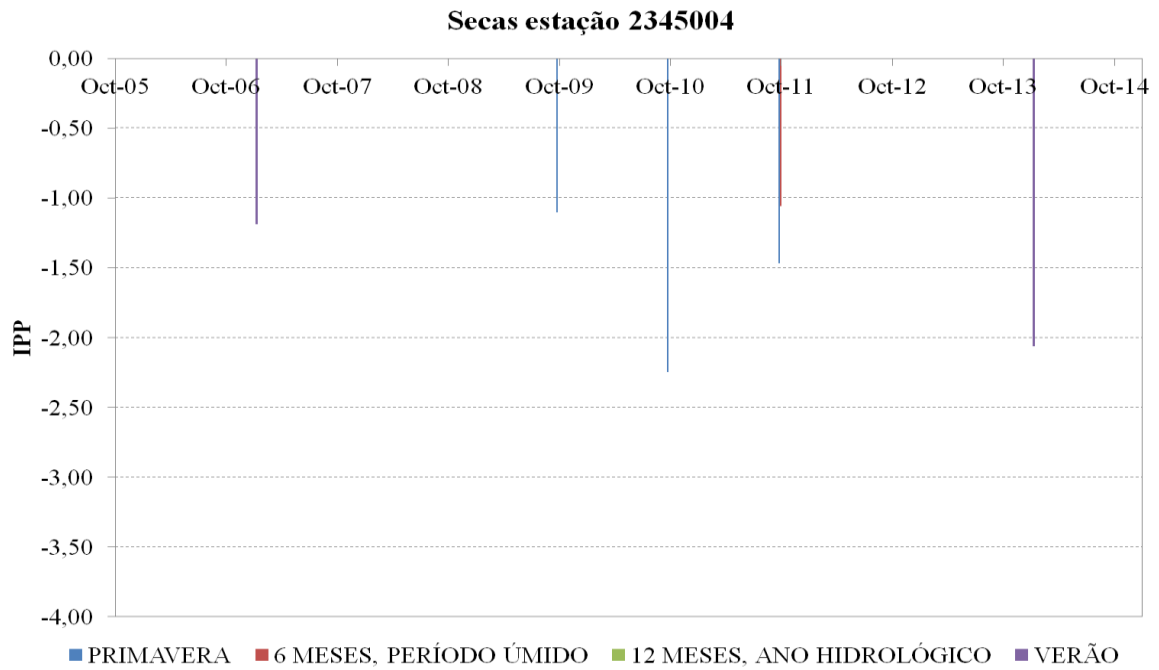
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 21 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2245001



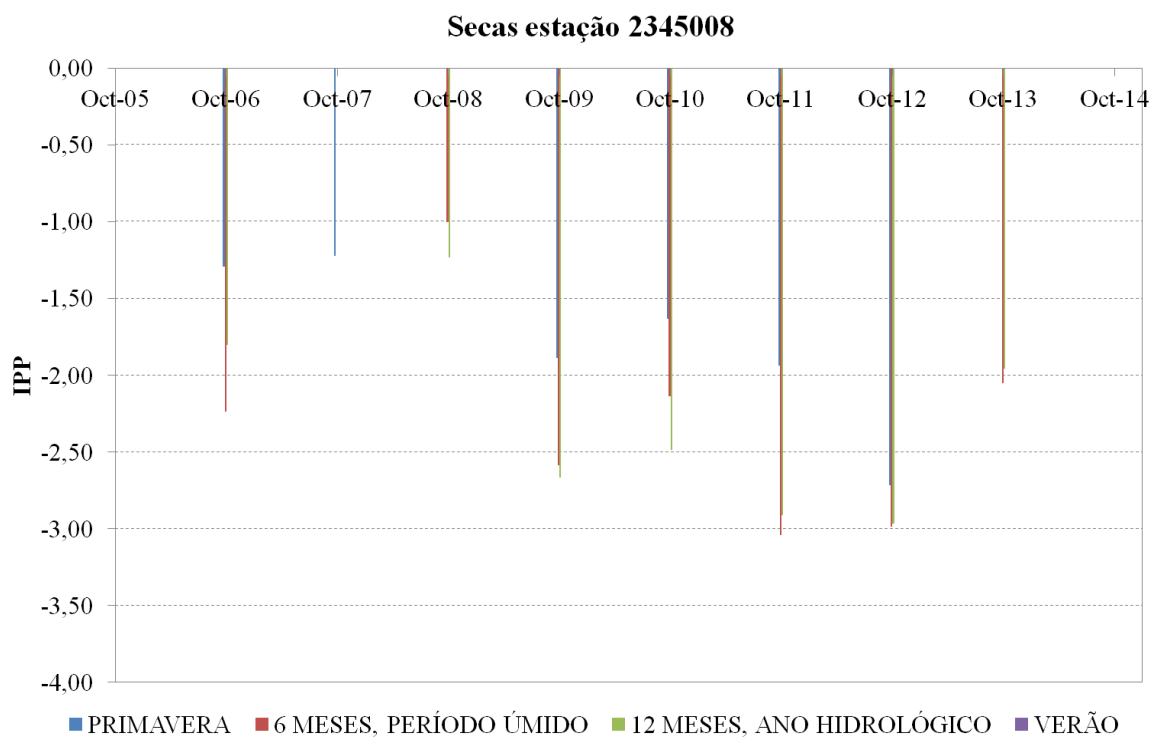
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 22 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2245004



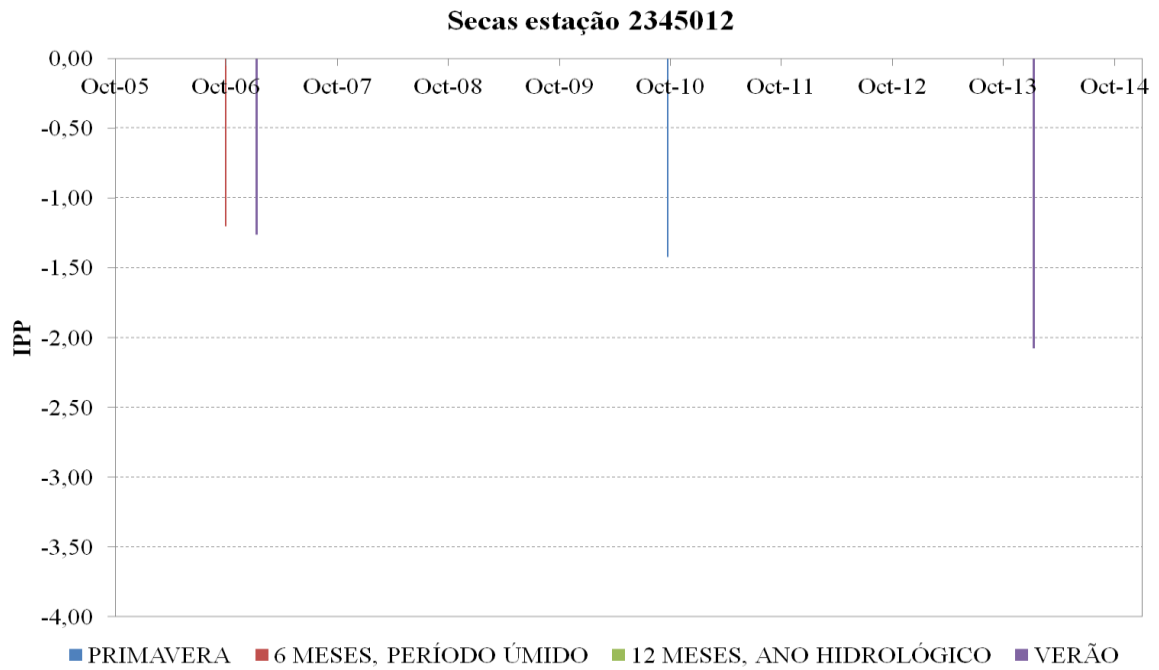
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 23 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345008



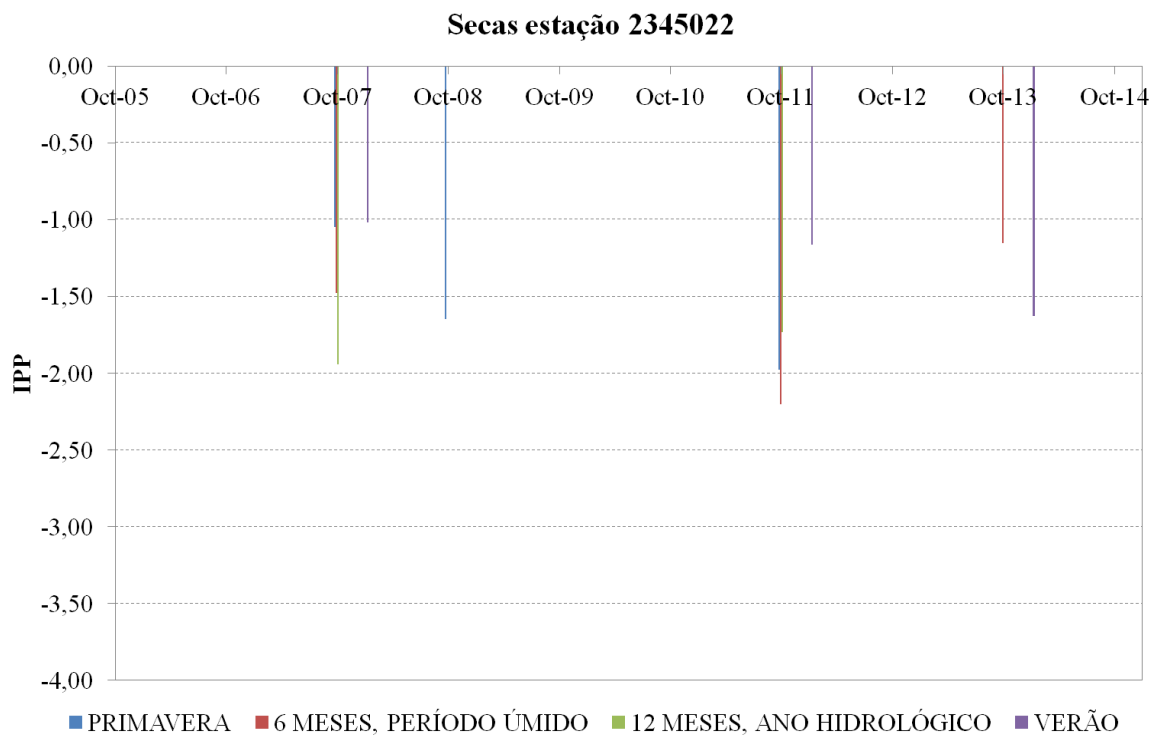
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 24 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345012



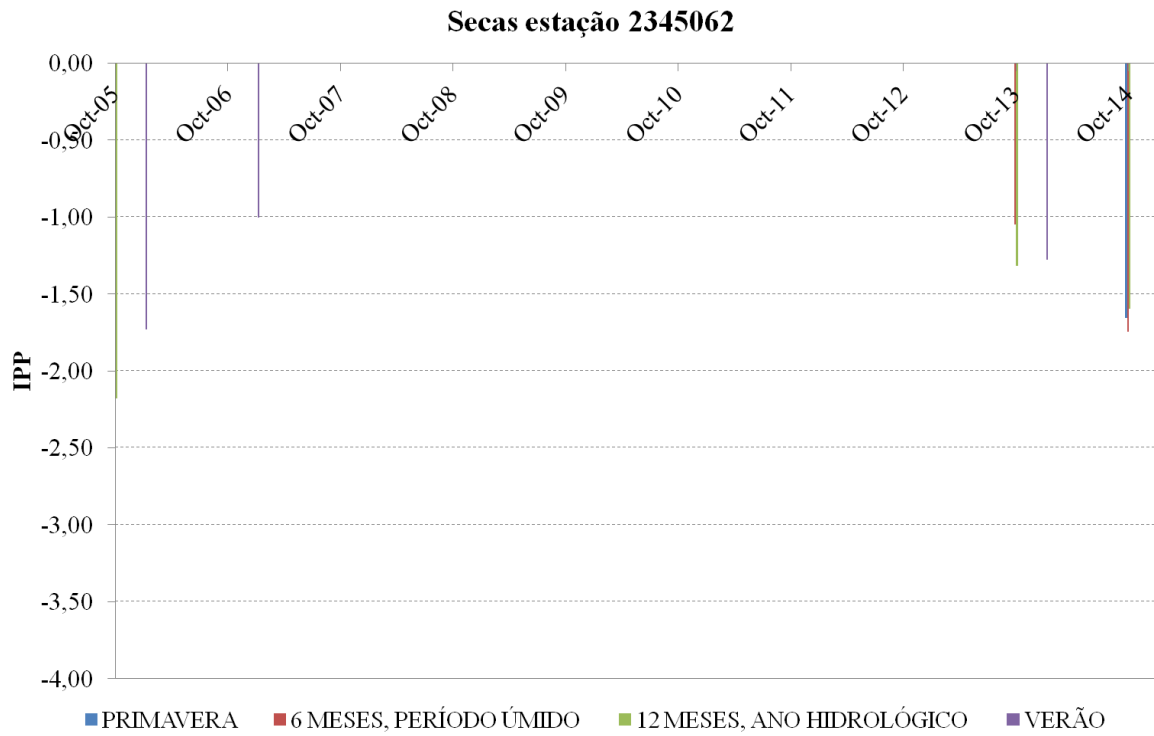
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 25 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345022



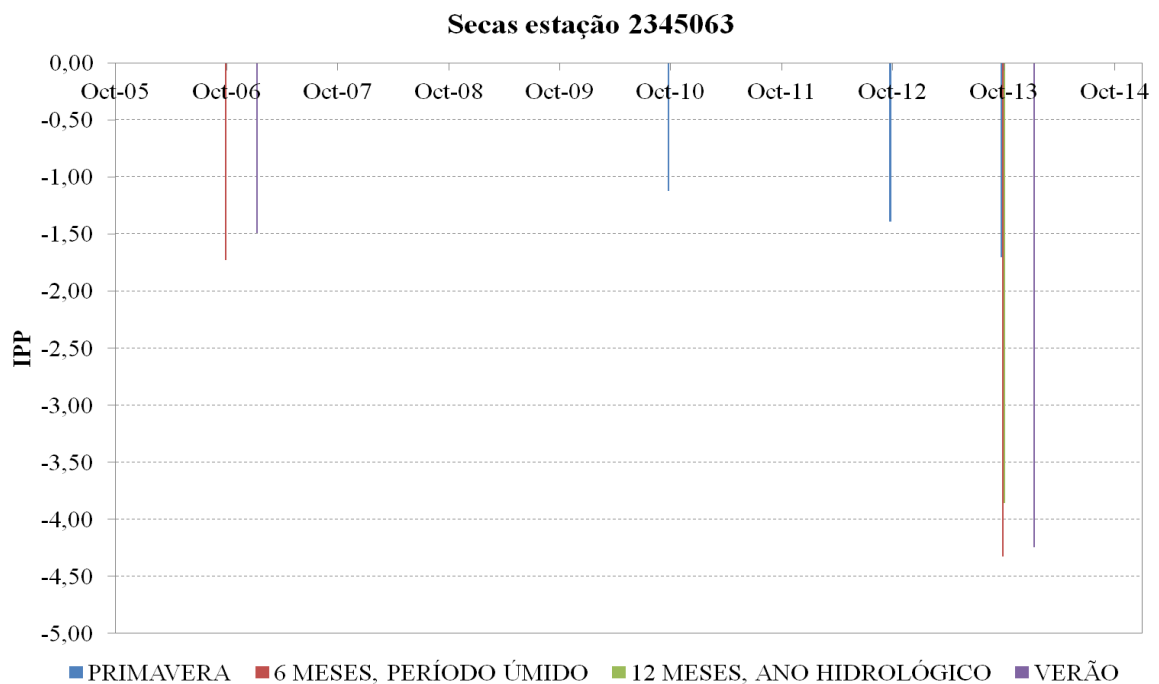
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 26 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345062



Fonte: Produção do próprio autor.

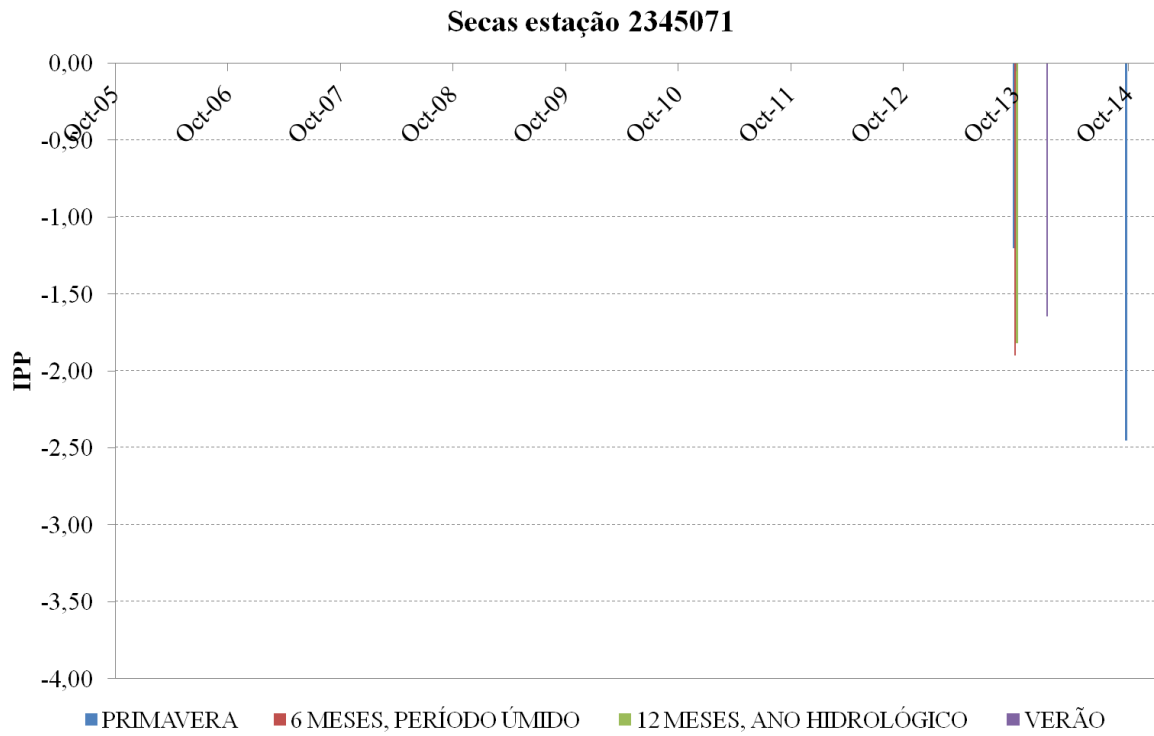
Figura 27 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345063



Fonte: Produção do próprio autor.

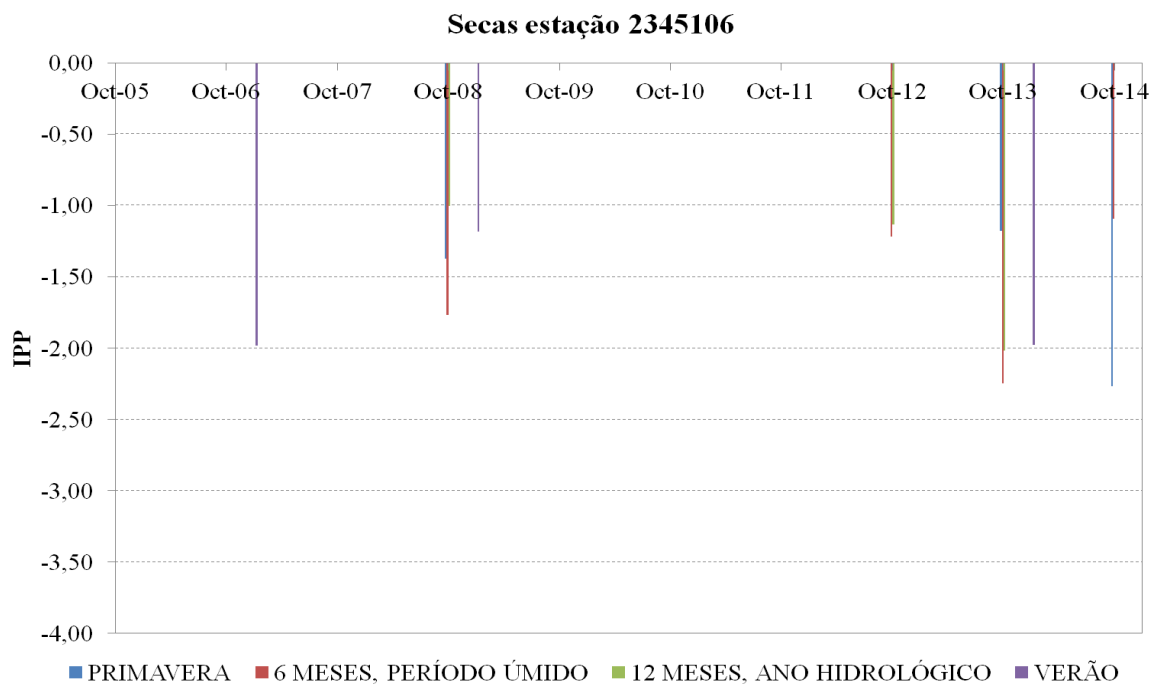


Figura 28 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345071



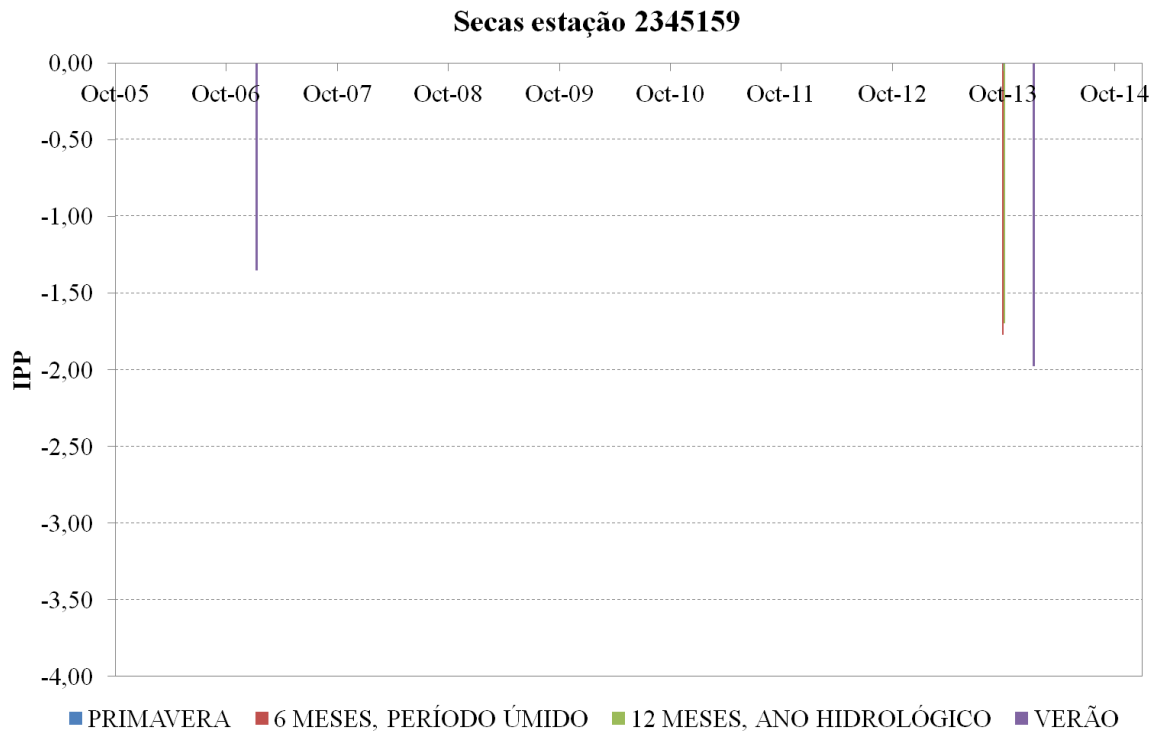
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 29 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345106



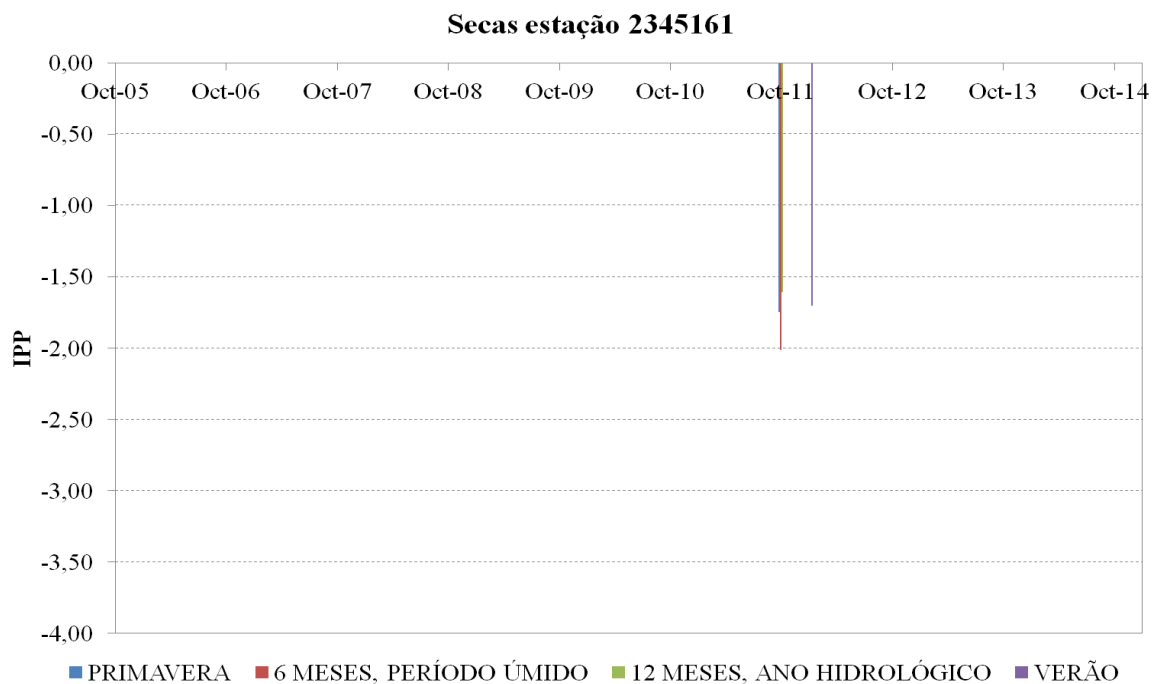
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 30 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345159



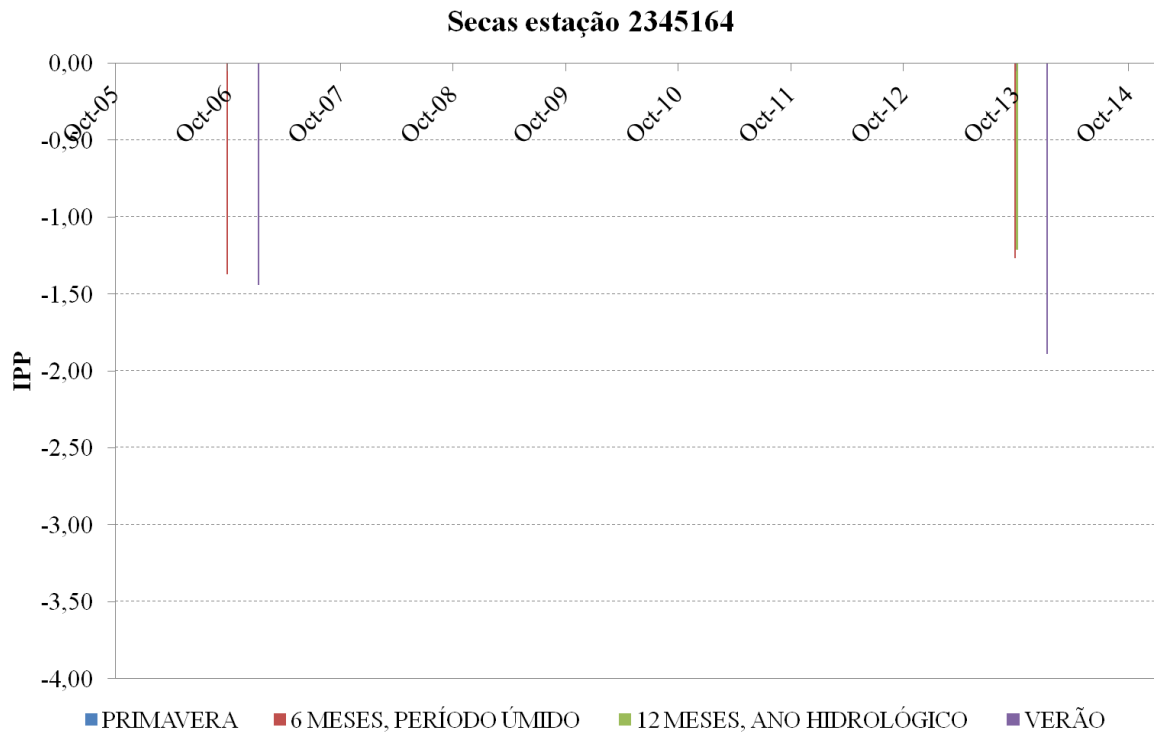
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 31 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2345161



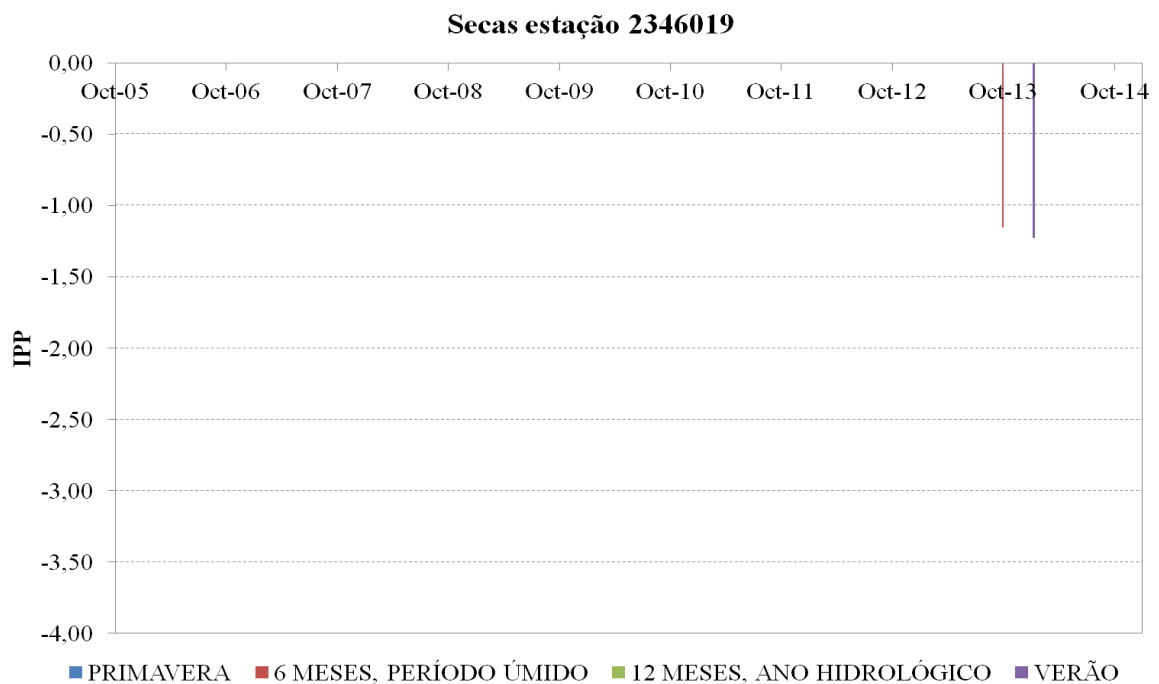
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 32 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 23450164



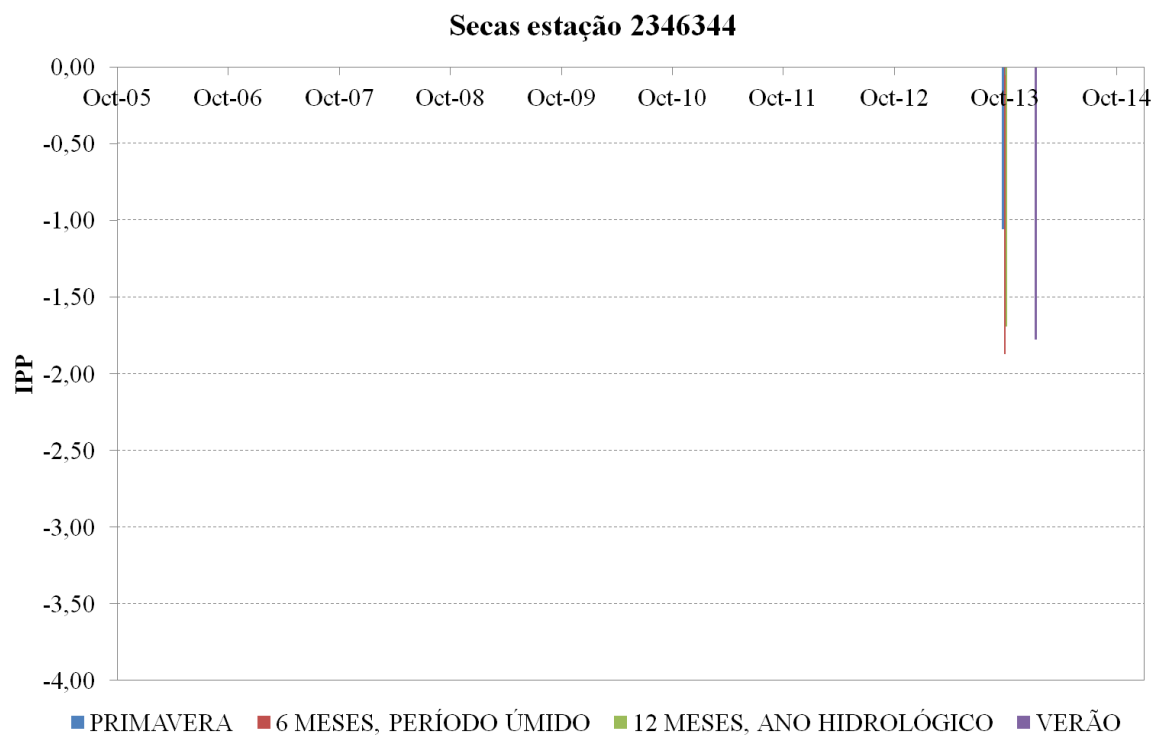
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 33 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2346019



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 34 – Secas entre 2005 e 2015 na estação 2346344



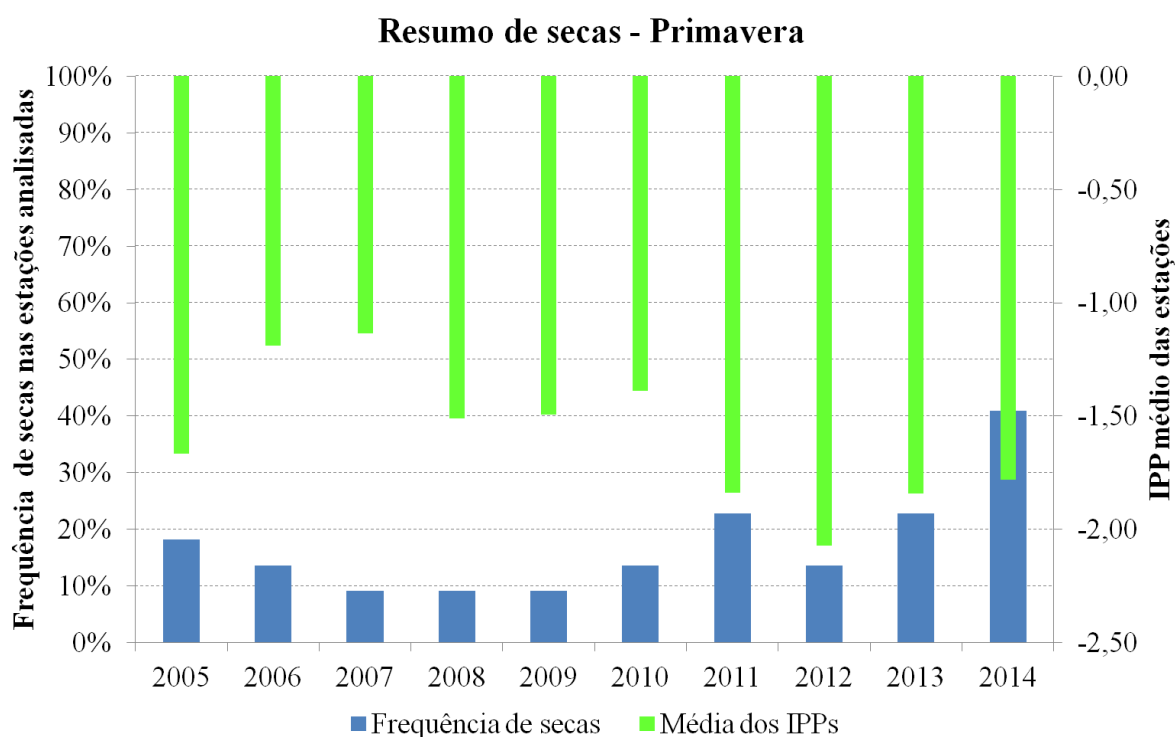
Fonte: Produção do próprio autor.

### 4.3 SECAS NA PRIMAVERA

Nesta seção (assim como nas subsequentes, nas quais são analisadas secas no verão, período úmido e ano hidrológico) são considerados secos períodos com IPPs iguais ou inferiores a -1. Assumiu-se que períodos com IPPs entre 0 e -0,99 encontram-se na faixa de normalidade.

Com base na Figura 35, verifica-se que a primavera/2014 foi a que, regionalmente, apresentou maior frequência de secas na UGRHI-02, sendo que aproximadamente 40% das estações analisadas apresentaram valores de IPP igual ou inferior a -1. Nestas estações, o IPP médio foi da ordem de -1,75, representando seca severa.

Figura 35 – Resumo dos resultados para a primavera

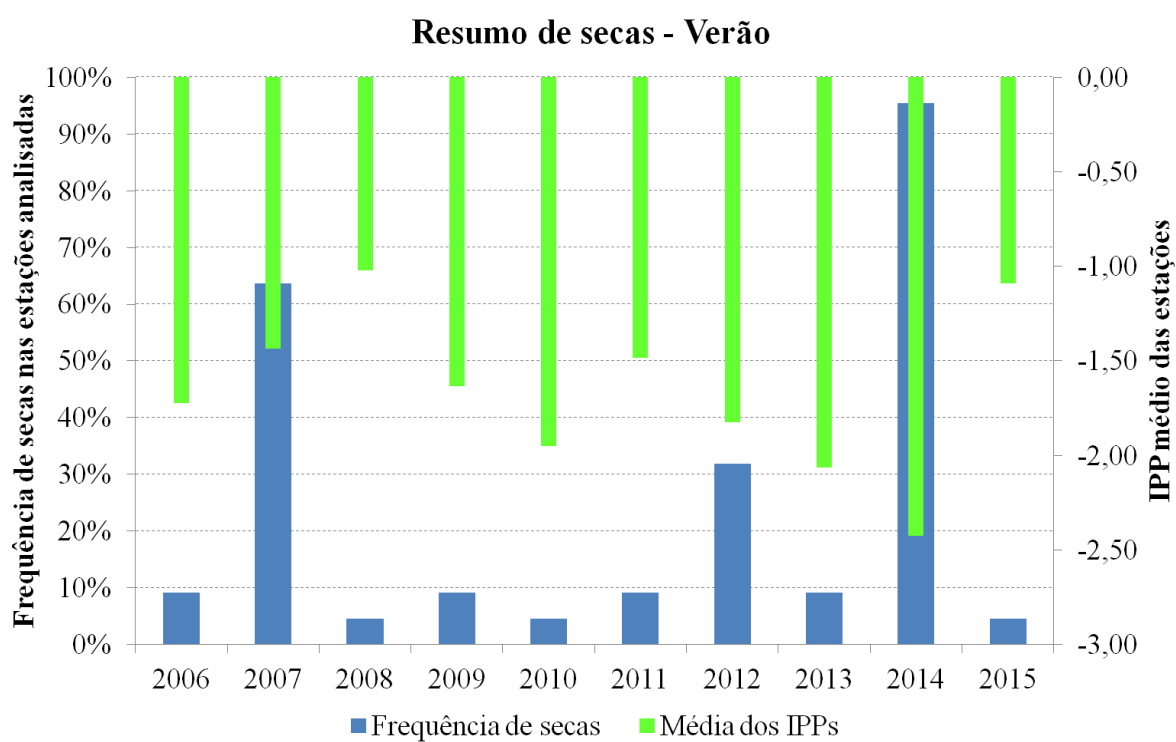


Fonte: Produção do próprio autor.

#### 4.4 SECAS NO VERÃO

A Figura 36 explicita o período crítico para a crise hídrica da primeira metade da década de 2010 na UGRHI-02. Aproximadamente 95% das estações pluviométricas avaliadas enfrentaram seca extrema ao longo do verão de 2014.

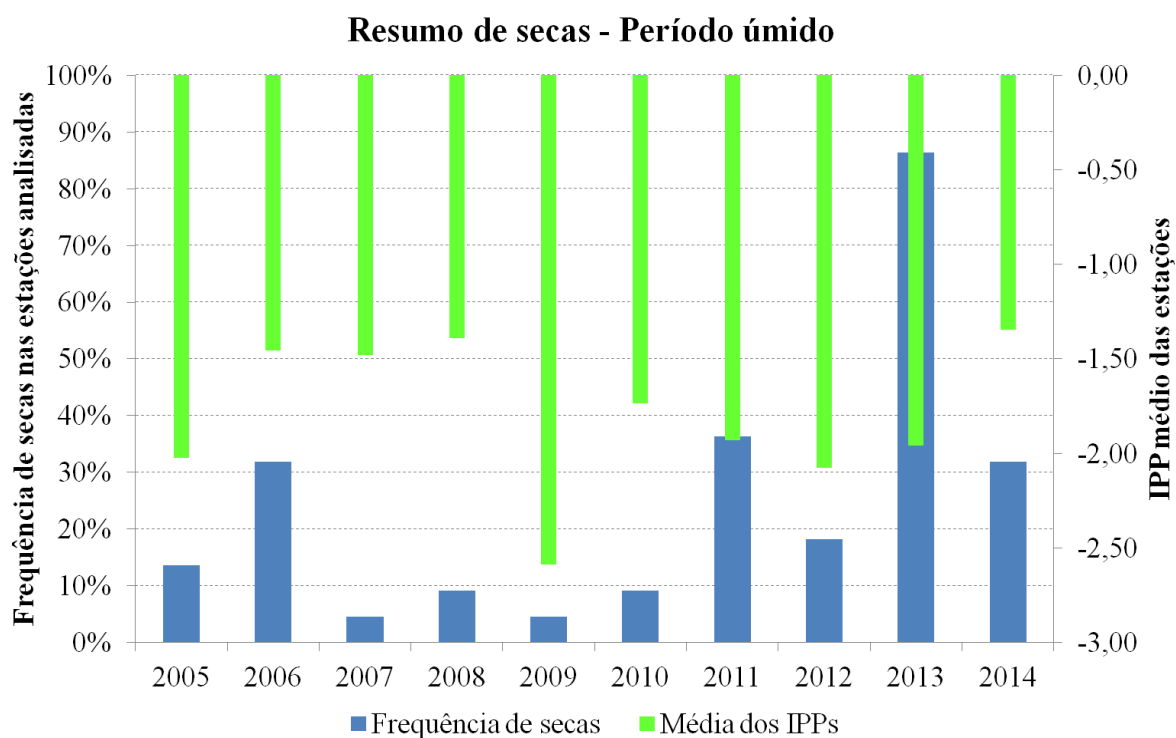
Figura 36 – Resumo dos resultados para o verão



Fonte: Produção do próprio autor.

#### 4.5 SECAS NO PERÍODO ÚMIDO

Figura 37 – Resumo dos resultados para o período úmido



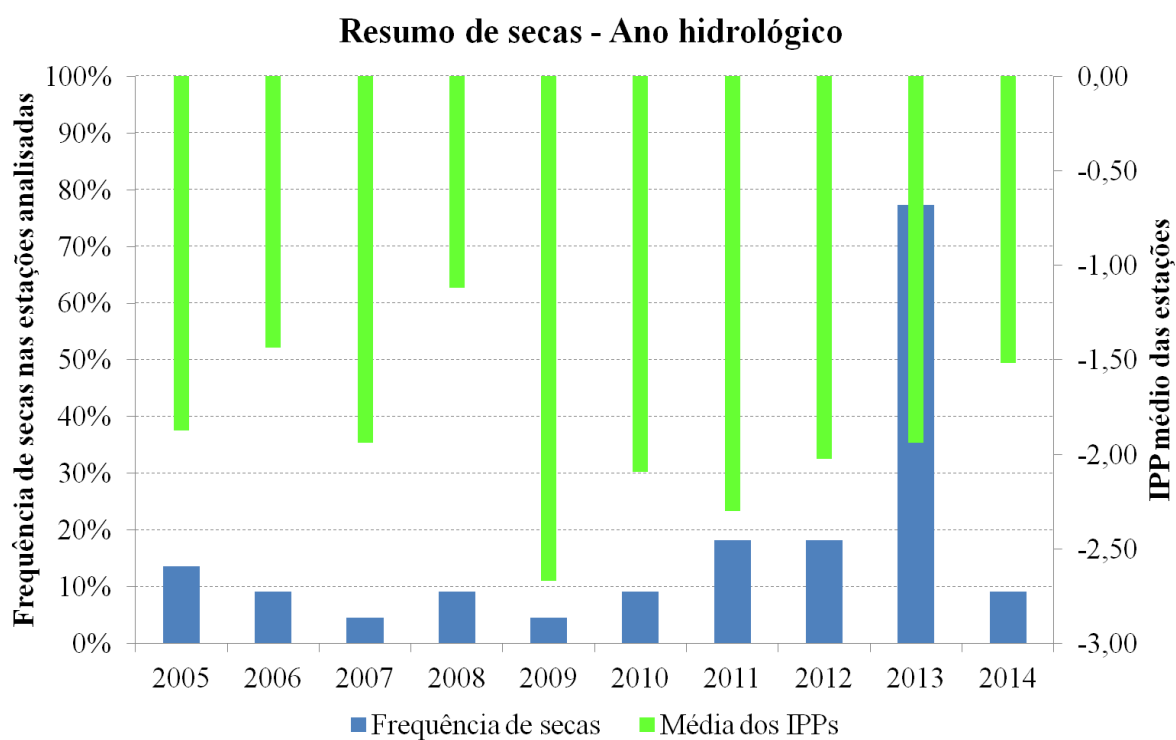
Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 37 demonstra que o período úmido 2013/2014 foi severamente seco na maioria das estações analisadas. Esse resultado é uma consequência direta do verão extremamente seco do ano de 2014, analisado na seção anterior. Nesse sentido, os resultados obtidos para a UGRHI-02 são convergentes com aqueles obtidos por Coelho et al. (2015), que elaboraram um diagnóstico da precipitação para a Região de São Paulo. Estes autores também concluíram que o período úmido e verão do período 2013/2014 foram excepcionalmente secos, e responsáveis pelas maiores consequências do período de seca da primeira metade da década de 2010.

#### 4.6 SECAS NOS ANOS HIDROLÓGICOS

A Figura 38 explicita que o período crítico para a crise hídrica da primeira metade da década de 2010 na UGRHI-02 foi o ano hidrológico 2013/2014.

Figura 38 – Resumo dos resultados para os anos hidrológicos



Fonte: Produção do próprio autor.



Tabela 8 – Ocorrência e magnitude de secas na primavera

ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	out/05	out/06	out/07	out/08	out/09	out/10	out/11	out/12	out/13	out/14
2244001	Queluz	-2,16									
2244010	Cachoeira Paulista		-1,04							-4,08	
2245020	Lorena										-1,59
2245032	Guaratinguetá										-1,78
2245035	Pindamonhangaba										-1,54
2245048	Pindamonhangaba										-2,31
2245053	Aparecida	-1,29	-1,24					-2,05	-2,11		
2245054	Monteiro Lobato										-1,03
2345001	Taubaté	-1,18									-1,42
2345004	Caçapava					-1,1		-1,47			
2345008	Caçapava		-1,29	-1,22		-1,89	-1,63	-1,94	-2,72		
2345012	Caçapava						-1,42				
2345022	Jambeiro			-1,05	-1,65			-1,98			
2345062	Taubaté	-2,04									-1,65
2345063	Caçapava						-1,12		-1,39	-1,7	
2345071	Santa Branca									-1,2	-2,45
2345106	Jacareí				-1,37					-1,18	-2,27
2345159	Taubaté										
2345161	Taubaté							-1,75			
2345164	São José dos Campos										
2346019	Santa Isabel										
2346344	Igaratá									-1,06	
<b>Frequência simples de secas</b>		<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<b>Média dos IPPs</b>		<b>-1,67</b>	<b>-1,19</b>	<b>-1,14</b>	<b>-1,51</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,39</b>	<b>-1,84</b>	<b>-2,07</b>	<b>-1,84</b>	<b>-1,78</b>
<b>Classe média das secas</b>		<b>Severa</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>	<b>Moderada</b>	<b>Severa</b>	<b>Extrema</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 9 – Ocorrência e magnitude de secas no verão

ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	jan/06	jan/07	jan/08	jan/09	jan/10	jan/11	jan/12	jan/13	jan/14	jan/15
2244001	Queluz							-2,2		-2,92	
2244010	Cachoeira Paulista		-1,04							-4,08	
2245020	Lorena		-1,08							-3,45	
2245032	Guaratinguetá		-1,77							-2,7	
2245035	Pindamonhangaba		-2,1					-1,05		-2,59	
2245048	Pindamonhangaba		-1,21					-1,36		-3,56	
2245053	Aparecida	-1,72					-1,43	-2,74	-2,18	-3,15	
2245054	Monteiro Lobato									-2,25	
2345001	Taubaté		-1,18							-1,37	-1,09
2345004	Caçapava		-1,19							-2,06	
2345008	Caçapava		-1,99		-2,09	-1,95	-1,54	-2,56	-1,95	-3,04	
2345012	Caçapava		-1,26							-2,08	
2345022	Jambeiro			-1,02				-1,16		-1,63	
2345062	Taubaté	-1,73	-1,01							-1,28	
2345063	Caçapava		-1,49							-4,25	
2345071	Santa Branca									-1,65	
2345106	Jacareí		-1,98		-1,18					-1,98	
2345159	Taubaté		-1,35							-1,98	
2345161	Taubaté							-1,7			
2345164	São José dos Campos		-1,44							-1,89	
2346019	Santa Isabel									-1,23	
2346344	Igaratá									-1,78	
<b>Frequência simples de secas</b>		<b>2</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>21</b>	<b>1</b>
<b>Média dos IPPs</b>		<b>-1,73</b>	<b>-1,44</b>	<b>-1,02</b>	<b>-1,64</b>	<b>-1,95</b>	<b>-1,49</b>	<b>-1,82</b>	<b>-2,07</b>	<b>-2,42</b>	<b>-1,09</b>
<b>Classe média das secas</b>		<b>Severa</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>	<b>Moderada</b>	<b>Severa</b>	<b>Extrema</b>	<b>Extrema</b>	<b>Moderada</b>

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 10 – Ocorrência e magnitude de secas no período úmido

ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	out/05	out/06	out/07	out/08	out/09	out/10	out/11	out/12	out/13	out/14
2244001	Queluz	-1,71						-1,23		-1,95	
2244010	Cachoeira Paulista									-3,48	
2245020	Lorena								-1,03	-2,65	-1,16
2245032	Guaratinguetá									-1,81	-1,24
2245035	Pindamonhangaba		-1,22					-1,17		-1,64	-1,06
2245048	Pindamonhangaba		-1,25					-1,61		-2,33	-1,45
2245053	Aparecida	-1,79	-1,17				-1,33	-3,12	-3,07	-2,24	
2245054	Monteiro Lobato									-1,26	
2345001	Taubaté									-1,07	-1,67
2345004	Caçapava							-1,06			
2345008	Caçapava		-2,24		-1,01	-2,59	-2,14	-3,04	-2,99	-2,05	
2345012	Caçapava		-1,2								
2345022	Jambeiro			-1,48				-2,2		-1,15	
2345062	Taubaté	-2,57								-1,05	-1,74
2345063	Caçapava		-1,73							-4,33	
2345071	Santa Branca									-1,9	
2345106	Jacareí				-1,77				-1,22	-2,25	-1,09
2345159	Taubaté									-1,77	
2345161	Taubaté							-2,01			
2345164	São José dos Campos		-1,37							-1,27	
2346019	Santa Isabel									-1,15	
2346344	Igaratá									-1,87	
<b>Frequência simples de secas</b>		<b>3</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>7</b>
<b>Média dos IPPs</b>		<b>-2,02</b>	<b>-1,45</b>	<b>-1,48</b>	<b>-1,39</b>	<b>-2,59</b>	<b>-1,74</b>	<b>-1,93</b>	<b>-2,08</b>	<b>-1,96</b>	<b>-1,34</b>
<b>Classe média das secas</b>		<b>Extrema</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada</b>	<b>Extrema</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>	<b>Extrema</b>	<b>Severa</b>	<b>Moderada</b>

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 11 – Ocorrência e magnitude de secas no ano hidrológico

ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	out/05	out/06	out/07	out/08	out/09	out/10	out/11	out/12	out/13	out/14
2244001	Queluz	-1,5								-1,75	
2244010	Cachoeira Paulista									-3,68	
2245020	Lorena								-1,3	-2,49	
2245032	Guaratinguetá									-1,39	
2245035	Pindamonhangaba									-1,54	
2245048	Pindamonhangaba									-2,19	
2245053	Aparecida	-1,94	-1,07				-1,7	-2,95	-2,7	-2,07	
2245054	Monteiro Lobato									-1	
2345001	Taubaté									-1,25	-1,43
2345004	Caçapava										
2345008	Caçapava		-1,8		-1,24	-2,67	-2,49	-2,91	-2,97	-1,96	
2345012	Caçapava										
2345022	Jambeiro			-1,94				-1,73			
2345062	Taubaté	-2,18								-1,32	-1,6
2345063	Caçapava									-3,86	
2345071	Santa Branca									-1,82	
2345106	Jacareí				-1				-1,13	-2,02	
2345159	Taubaté									-1,7	
2345161	Taubaté							-1,61			
2345164	São José dos Campos									-1,21	
2346019	Santa Isabel										
2346344	Igaratá									-1,69	
<b>Frequência simples de secas</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>17</b>	<b>2</b>
<b>Média dos IPPs</b>		<b>-1,87</b>	<b>-1,44</b>	<b>-1,94</b>	<b>-1,12</b>	<b>-2,67</b>	<b>-2,1</b>	<b>-2,3</b>	<b>-2,03</b>	<b>-1,94</b>	<b>-1,52</b>
<b>Classe média das secas</b>		<b>Severa</b>	<b>Moderada</b>	<b>Severa</b>	<b>Moderada</b>	<b>Extrema</b>	<b>Extrema</b>	<b>Extrema</b>	<b>Extrema</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>

Fonte: Produção do próprio autor.

## 5 CONCLUSÕES

Verificou-se que no trecho paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul, as décadas de 1970 e 1980 apresentaram os meses e períodos de 12 meses mais secos do histórico existente para a maioria das estações analisadas.

Considerando o período de escassez da primeira metade da década de 2010 e o histórico completo das estações analisadas, verificou-se que os meses de janeiro/2014, março/2015 e outubro/2014 foram os meses mais secos em Aparecida, Caçapava e Santa Branca, respectivamente. O verão de 2014 foi o mais seco do histórico em grande parte das estações da porção norte da Bacia, entre os municípios de Pindamonhangaba, Lorena, Cachoeira Paulista e Queluz, demonstrando uma tendência geográfica do comportamento da seca. Estações localizadas em Queluz, Cachoeira Paulista, Pindamonhangaba, Caçapava e Jacareí apresentaram períodos de 12 meses mais secos do histórico durante a primeira metade da década de 2010.

Analisando os resultados obtidos para o período entre 2005 e 2014, verifica-se uma tendência do início da crise hídrica da primeira metade da década de 2010 na primavera de 2014, na qual mais de 40% das estações estudadas apresentaram IPPs condizente com seca, e uma média de IPP regional inferior a -1,75. O verão de 2014 pode ser considerado o período crítico da crise hídrica, durante o qual aproximadamente 95% das estações avaliadas apresentaram IPP de seca, e a média dos IPPs da região foi inferior a -2,25, ou seja, seca extrema. Verificou-se que o ano de 2007 apresentou, também um verão seco, em mais de 60% das estações, porém, com menor intensidade – IPP médio um pouco superior a -1,5, indicando seca moderada. Como consequência do verão de 2014, os períodos úmidos 2013/2014 e o ano hidrológico 2013/2014 foram igualmente secos. Verificou-se uma tendência de normalização da chuva já no verão de 2015, quando aproximadamente 5% das estações apresentaram IPP de seca, com média moderada.

Uma das possibilidades de continuação da pesquisa e para futuros trabalhos é a utilização do IPP para previsão de secas poderá ser abordada em futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables**. New York: Dover Publications, 1965.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Bacia do rio Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/outorgaefiscalizacao/RioParaibadoSul.aspx>>. Acesso em: 6/9/2016.

ASADI ZARCH, M. A.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 183–195, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.071>>. .

BARBIERI, J. C. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no estado de São Paulo : um novo modelo de política pública. , v. II, 1988.

BLAIN, G. C.; KAYANO, M. T. 118 Anos De Dados Mensais Do Índice Padronizado De Precipitação : Série Meteorológica De Campinas , Estado De São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 137–148, 2011.

BRASIL. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres Naturais (COBRADE)**. Brasil: Ministério da Integração Nacional, 2012.

CANCELLIERE, A.; MAURO, G. DI; BONACCORSO, B.; ROSSI, G. Drought forecasting using the standardized precipitation index. **Water Resources Management**, v. 21, n. 5, p. 801–819, 2007.

CHOW, V. TE; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. McGraw-Hill, 1988.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event. **Theor Appl Climatol**, 2015.

COELHO, C. A. S.; DE OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 45, p. 1–16, 2015. Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00382-015-2800-1>>. .

EDWARDS, D. C.; MCKEE, T. B. **Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology report no. 97-2**. Fort Collins, 1997.

ENGLE, N. L.; LEMOS, M. C. Unpacking governance: Building adaptive capacity to climate change of river basins in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 1, p. 4–13, 2010.

ESCOBAR, H. Drought triggers alarms in Brazil's biggest metropolis. **Science**, v. 347, n. 6224, p. 812, 2015a.

ESCOBAR, H. Drought triggers alarms in Brazil's biggest metropolis. **Science**, v. 347, n. 6224, p. 812, 2015b. Disponível em:  
<<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.347.6224.812>>. .

ESTADÃO. Nível do Cantareira sobe para 22,9%, oitava alta consecutiva. Disponível em:  
<<http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2015/12/10/nivel-do-cantareira-sobe-pelo-8-dia.htm#fotoNav=1>>. Acesso em: 11/4/2016.

ESTRELA, T.; VARGAS, E. Drought Management Plans in the European Union. The Case of Spain. **Water Resources Management**, v. 26, n. 6, p. 1537–1553, 2012. Disponível em:  
<<http://link.springer.com/10.1007/s11269-011-9971-2>>. .

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. DA; AMORIM, A. DE O.; CARDOSO, A. S. Índices para a Quantificação da Seca. **Documentos**, p. 48, 2009.

GUTTMAN, N. B. ACCEPTING THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX: A CALCULATION ALGORITHM 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 35, n. 2, p. 311–322, 1999. Disponível em:  
<<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>>. Acesso em: 11/2/2016.

HERRING, S. C. EXPLAINING EXTREME EVENTS OF 2014 From A Climate Perspective. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 96, n. 12, 2015.

HONG, N.; LEE, T.; CHEN, Y. Daily weather generator with drought properties by copulas and standardized precipitation indices. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2016. Environmental Monitoring and Assessment.

JENKINS, K.; WARREN, R. Quantifying the impact of climate change on drought regimes using the Standardised Precipitation Index. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 41–54, 2014.

DE LAMA, B. Tesis doctoral: Metodología de evaluación e identificación de políticas de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos. , p. 1–278, 2011.

LI, J.; ZHOU, S.; HU, R. Hydrological Drought Class Transition Using SPI and SRI Time Series by Loglinear Regression. , p. 669–684, 2016.

LIVADA, I.; ASSIMAKOPOULOS, V. D. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index ( SPI ). , v. 153, p. 143–153, 2007.

VAN LOON, A. F.; VAN LANEN, H. A. J. Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework. **Water Resources Research**, v. 49, n. 3, p. 1483–

1502, 2013. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/wrcr.20147>>. .

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. **AMS 8th Conference on Applied Climatology**, , n. January, p. 179–184, 1993. Disponível em: <<http://ccc.atmos.colostate.edu/relationshipofdroughtfrequency.pdf>>. .

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>>. .

MOREIRA, E. E.; MARTINS, D. S.; PEREIRA, L. S. Assessing drought cycles in SPI time series using a Fourier analysis. , p. 571–585, 2015.

MOREIRA, E. E.; PIRES, C. L.; PEREIRA, L. S. SPI Drought Class Predictions Driven by the North Atlantic Oscillation Index Using Log-Linear Modeling. , p. 1–18, 2016.

MUÑOZ, H. R.; MUÑOZ, H. R. Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos Desafios da lei de águas em 1997. **Interfaces**, p. 7, 2000.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NARESH KUMAR, M.; MURTHY, C. S.; SETHA SAI, M. V. R.; ROY, P. S. On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment. **Meteorological Applications**, v. 16, n. 3, p. 381–389, 2009.

OTTO, F. E. L.; COELHO, C. A. S.; KING, A.; et al. Explaining extreme events of 2014 from a climate perspective: Factors other than climate change, main drivers of 2014/2015 water shortage in Southeast Brazil. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 96, n. 12, p. S35–S40, 2015.

PEDRO-MONZONÍS, M.; SOLERA, A.; FERRER, J.; ESTRELA, T.; PAREDES-ARQUIOLA, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 482–493, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169415003388>>. .

PHILIPPI, A. J. **O Impacto da Capacitação em Gestão ambiental**, 2002.

SÃO PAULO. **Subsídios ao planejamento ambiental da unidade hidrográfica de gerenciamento de recursos hídricos Paraíba do Sul: UGRHI 02**. São Paulo: SMA, 2011.

SÖNMEZ, F. K.; KÖMÜSCÜ, A. Ü.; ERKAN, A.; TURGU, E. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. **Natural Hazards**, v. 35, n. 2, p. 243–264, 2005.



TIGKAS, D.; VANGELIS, H.; TSAKIRIS, G. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. **Earth Science Informatics**, v. 8, n. 3, p. 697–709, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4<sup>o</sup> ed. Porto Alegre: ABRH, 2014.

VILARIANO, C. Seca no Sudeste pode durar 30 anos, aponta especialista. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/efe/2015/04/04/seca-no-sudeste-pode-durar-30-anos-aponta-especialista.htm>>. Acesso em: 11/4/2016.

WANG, Y.; CHEN, X.; CHEN, Y.; LIU, M.; GAO, L. Flood/drought event identification using an effective indicator based on the correlations between multiple time scales of the Standardized Precipitation Index and river discharge. **Theoretical and Applied Climatology**, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00704-015-1699-0>>. .

WEBSTER, K. E.; KRATZ, T. K.; BOWSER, C. J.; MAGNUSON, J. J.; ROSE, W. J. The influence of landscape position on lake chemical responses to drought in northern Wisconsin. **Limnology and Oceanography**, v. 41, n. 5, p. 977–984, 1996. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.4319/lo.1996.41.5.0977>>. .

WMO. Standardized Precipitation Index User Guide. , , n. 1090, p. 24, 2012. Disponível em: <[http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice\\_display&id=13682](http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice_display&id=13682)>. .

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **International Glossary of Hydrology**. Geneva, 2012.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION; SVOBODA, M.; HAYES, M.; WOOD, D. **Standardized precipitation index: User guide**. Geneva, 2012.

## APENDICE A – INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UGRHI-02

Tabela 12 – Inventário de estações pluviométricas analisadas

(continua)

MUNICÍPIO	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	INTEGRIDADE 10/83 - 09/13
<b>Aparecida</b>	2245041	43%
	2245053	82%
	2245123	67%
<b>Caçapava</b>	2345004	91%
	2345008	96%
	2345012	97%
	2345013	48%
	2245018	57%
	2345063	93%
	2345115	0%
	2345129	0%
	2345130	0%
	2345133	0%
	2345146	0%
	2345147	0%
	2345148	0%
	2345150	0%
2345210	8%	
<b>Cachoeira Paulista</b>	2244010	96%
	2244012	58%
	2244111	0%
	2244124	60%
	2245007	76%
	2245008	55%
	2245017	0%
	2245139	0%
	2245143	0%
	2245149	0%
	2245158	55%
2245191	23%	

(continuação)

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>CÓDIGO DA ESTAÇÃO</b>	<b>INTEGRIDADE 10/83 - 09/13</b>
<b>Guaratinguetá</b>	2245059	33%
	2245095	0%
	2245113	0%
	2245122	40%
	2245125	0%
	2245126	0%
	2245134	0%
	2245145	0%
	2245148	0%
	2245153	0%
	2245165	46%
	2245166	32%
	2245180	0%
2245192	11%	
<b>Igaratá</b>	2346011	0%
	2346166	0%
	2346344	100%
	2345026	0%
	2345027	0%
	2345029	46%
	2345066	0%
	2345106	90%
	2345110	0%
	2345128	0%
	2345186	0%
	2345203	22%
	2345204	24%
2346016	0%	
<b>Jambeiro</b>	2345022	81%
	2345105	0%
<b>Larvinhas</b>	2244138	50%
	2244162	23%
<b>Lorena</b>	2245020	99%
	2245027	42%
	2245060	53%
	2245128	66%
	2245132	0%
	2245146	0%
	2245155	0%
2245168	51%	

(continuação)

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>CÓDIGO DA ESTAÇÃO</b>	<b>INTEGRIDADE 10/83 - 09/13</b>
<b>Mogi das Cruzes</b>	2346336	39%
	2245045	54%
<b>Monteiro Lobato</b>	2245054	95%
	2245127	0%
	2245028	77%
	2245031	53%
	2245035	83%
	2245042	51%
	2245043	38%
	2245047	41%
	2245048	96%
	2245049	54%
	2245051	0%
	2245052	36%
<b>Pindamonhangaba</b>	2245057	43%
	2245116	5%
	2245124	0%
	2245129	17%
	2245131	0%
	2245133	0%
	2245135	0%
	2245136	0%
	2245138	0%
	2245150	0%
	2245151	0%
	2245003	52%
	2245062	47%
<b>Piquete</b>	2245109	0%
	2245183	0%
	2245184	0%
	2244001	82%
	2244002	38%
<b>Queluz</b>	2244102	0%
	2244110	0%
	2244115	0%
	2244163	40%
	2245061	53%
<b>Roseira</b>	2245142	0%
	2245152	34%
<b>Salesópolis</b>	2245138	0%

(continuação)

MUNICÍPIO	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	INTEGRIDADE 10/83 - 09/13
<b>Santa Branca</b>	2345037	77%
	2345071	94%
	2345131	0%
<b>Santa Isabel</b>	2346019	94%
<b>São Jose dos Campos</b>	2245050	57%
	2246086	56%
	2345019	58%
	2345020	71%
	2345064	0%
	2345083	2%
	2345111	67%
	2345132	0%
	2345136	0%
	2345144	3%
	2345152	55%
	2345156	57%
	2345164	100%
	2345165	0%
	2346006	56%
2345270	0%	
<b>Taubaté</b>	2245154	0%
	2345001	87%
	2345003	0%
	2345009	46%
	2345010	39%
	2345011	0%
	2345014	0%
	2345033	43%
	2345062	99%
	2345077	18%
	2345078	0%
	2345103	64%
	2345114	0%
	2345126	0%
	2345151	0%
	2345159	98%
2345160	0%	
2345161	87%	
2345162	0%	

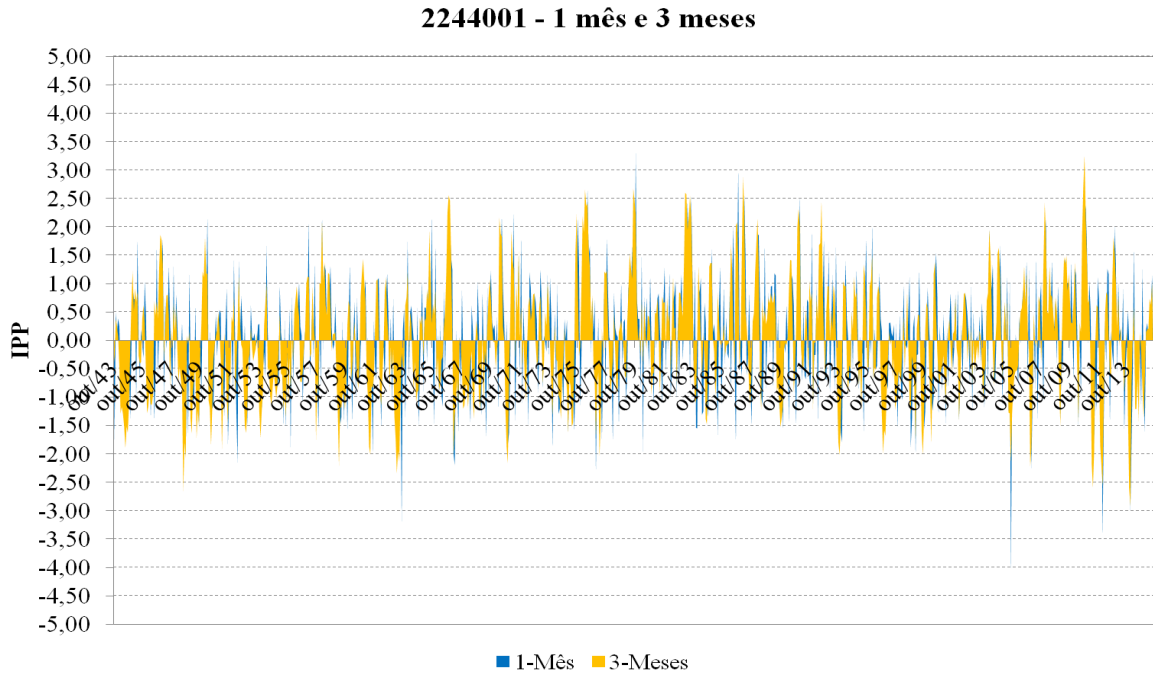
(conclusão)

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>CÓDIGO DA ESTAÇÃO</b>	<b>INTEGRIDADE 10/83 - 09/13</b>
<b>Taubaté</b>	2345163	47%
	2345166	38%
	2345167	0%
	2345168	0%
	2345170	48%
<b>Tremembé</b>	2245058	0%
	2245119	11%
	2245141	0%
	2245186	29%
	2245195	30%
	2345187	0%

Fonte: Produção do próprio autor.

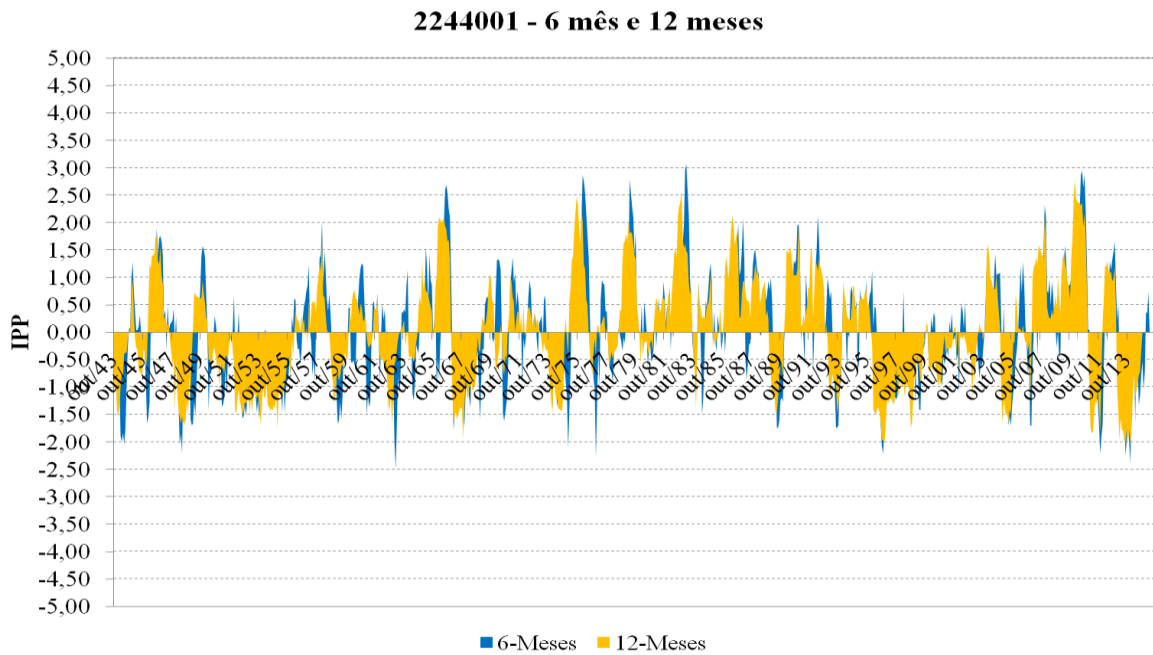
**APÊNDICE B – IPPS DE PERÍODO COMPLETO PARA AS ESTAÇÕES UTILIZADA**

Figura 39 – IPP 1 e 3 meses, estação 2244001



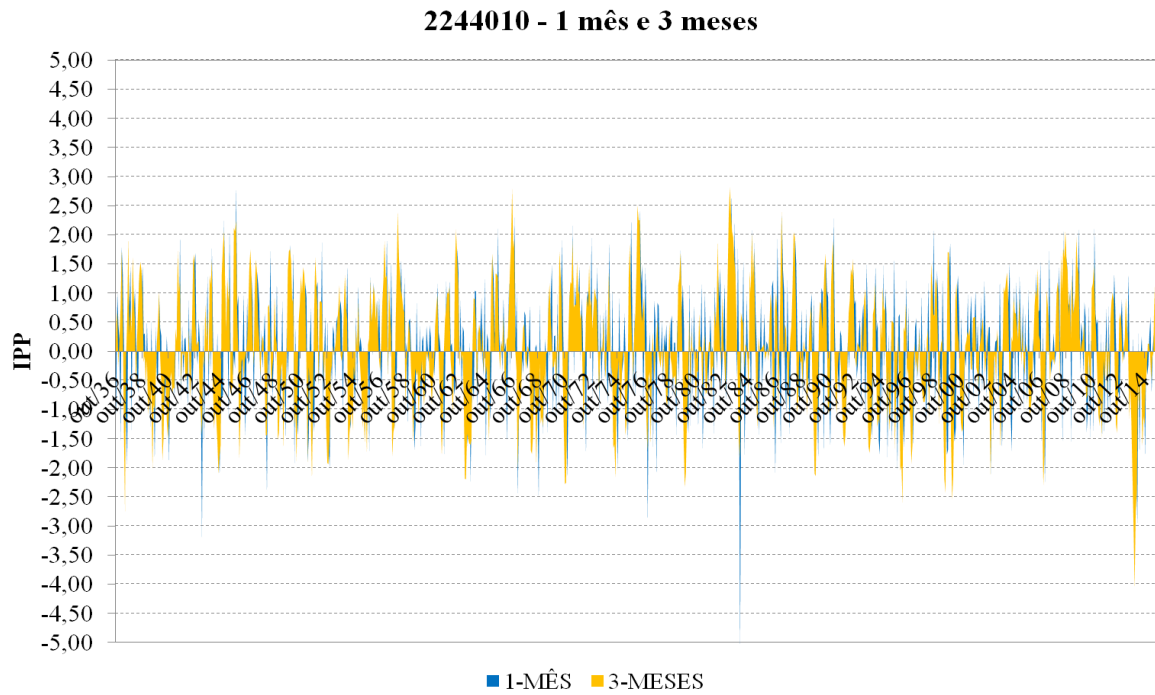
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 40 – IPP 6 e 12 meses, estação 2244001



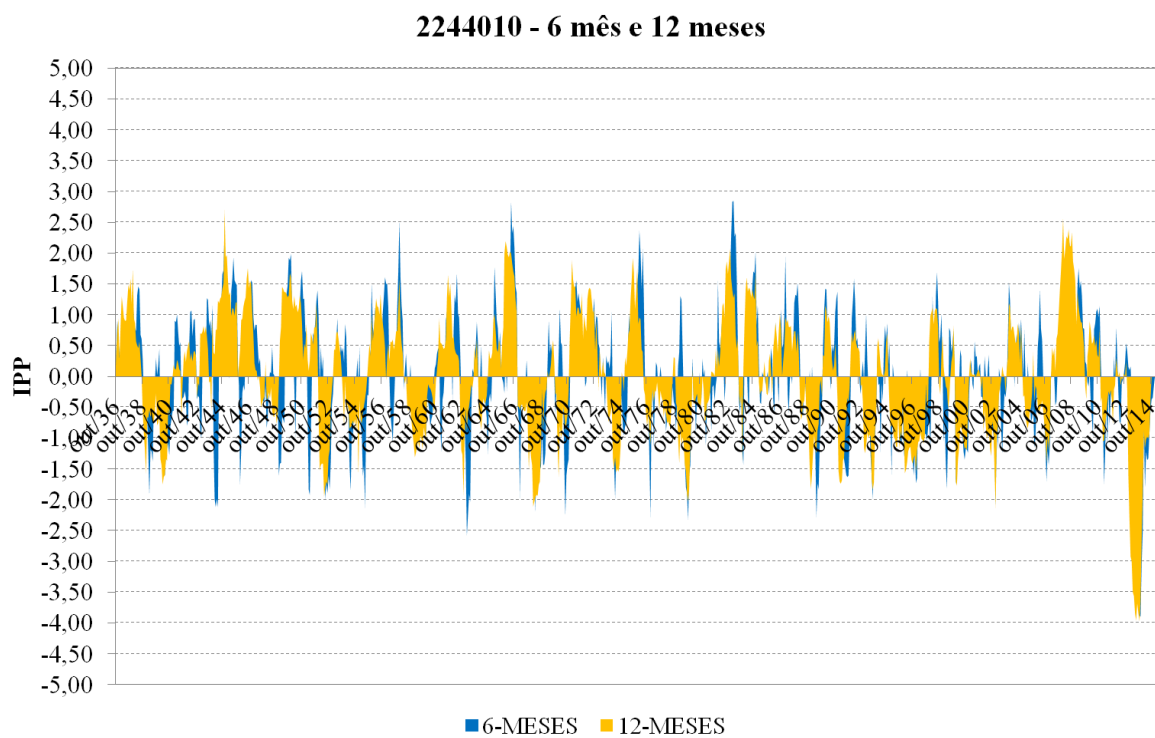
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 41 – IPP 1 e 3 meses, estação 2244010



Fonte: Produção do próprio autor.

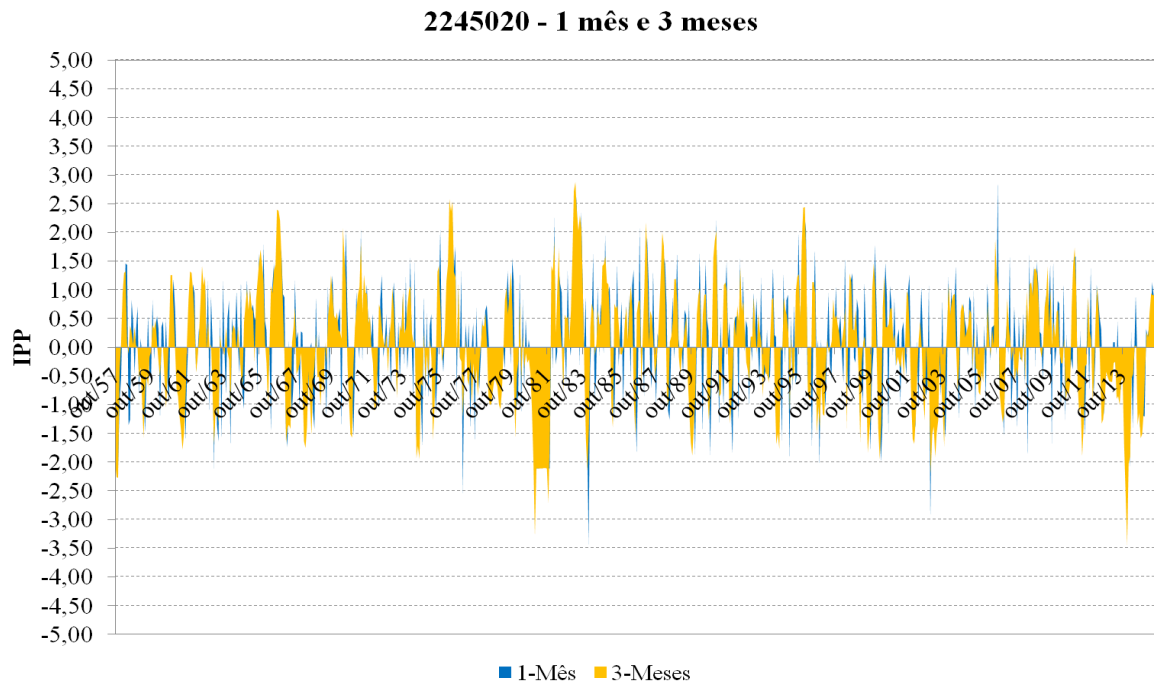
Figura 42 – IPP 6 e 12 meses, estação 2244010



Fonte: Produção do próprio autor.

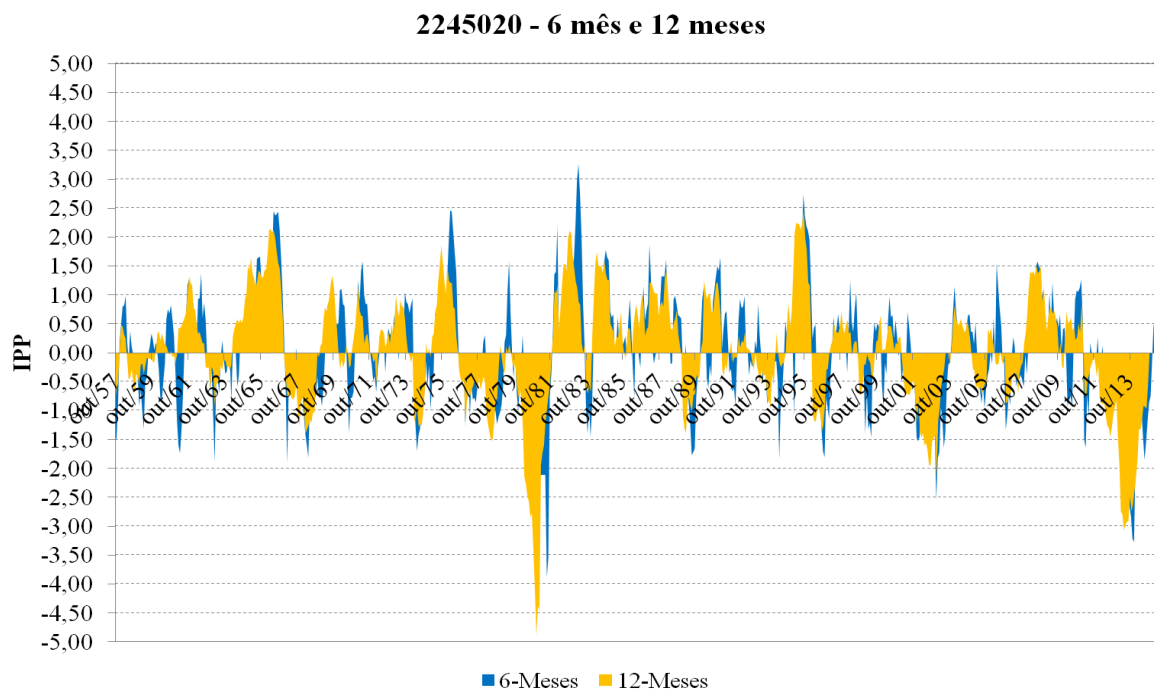


Figura 43 – IPP 1 e 3 meses, estação 2245020



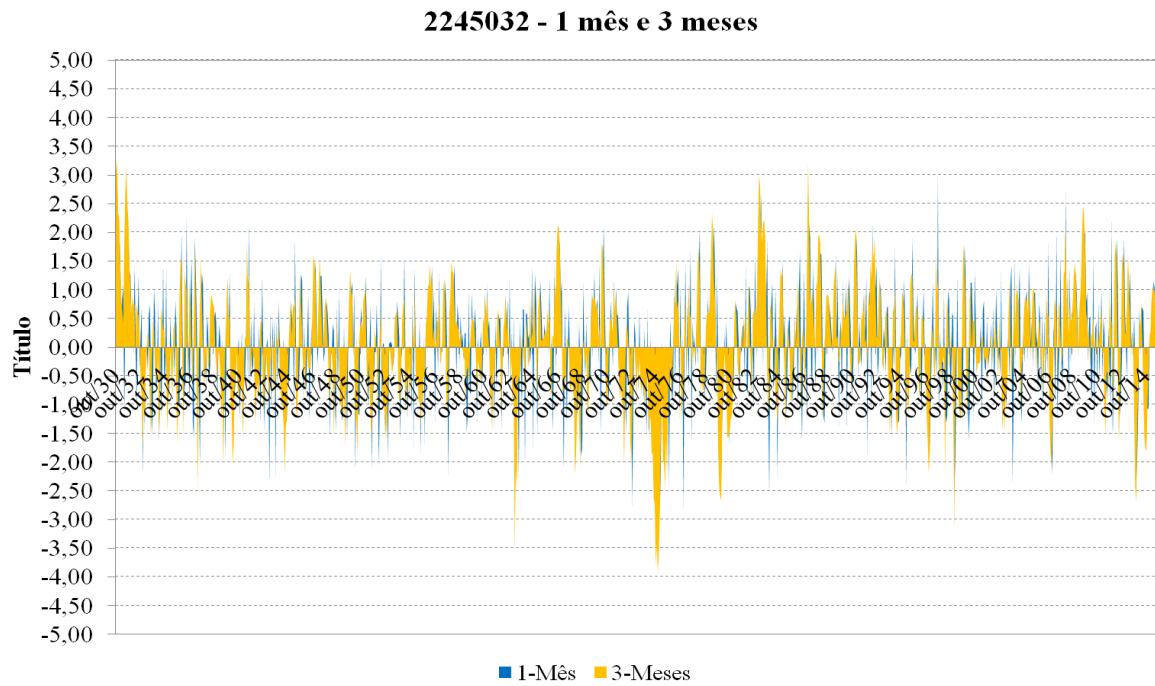
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 44 – IPP 6 e 12 meses, estação 2245020



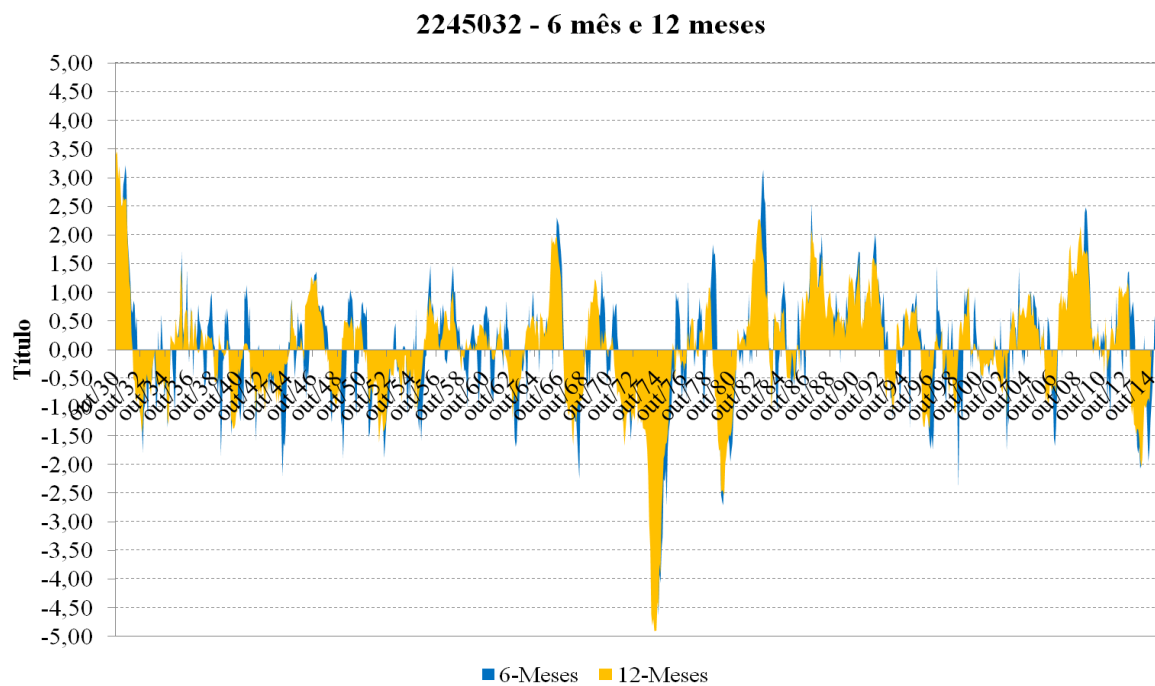
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 45 – IPP 1 e 3 meses, estação 2245032



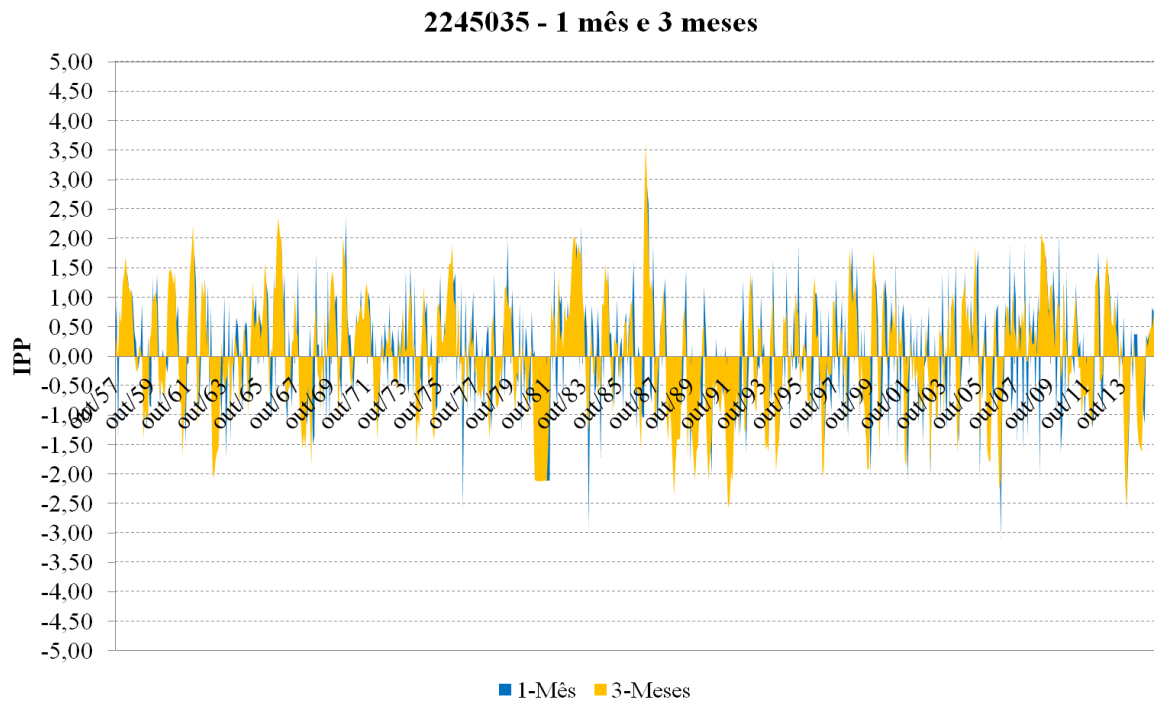
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 46 – IPP 6 e 12 meses, estação 2245032



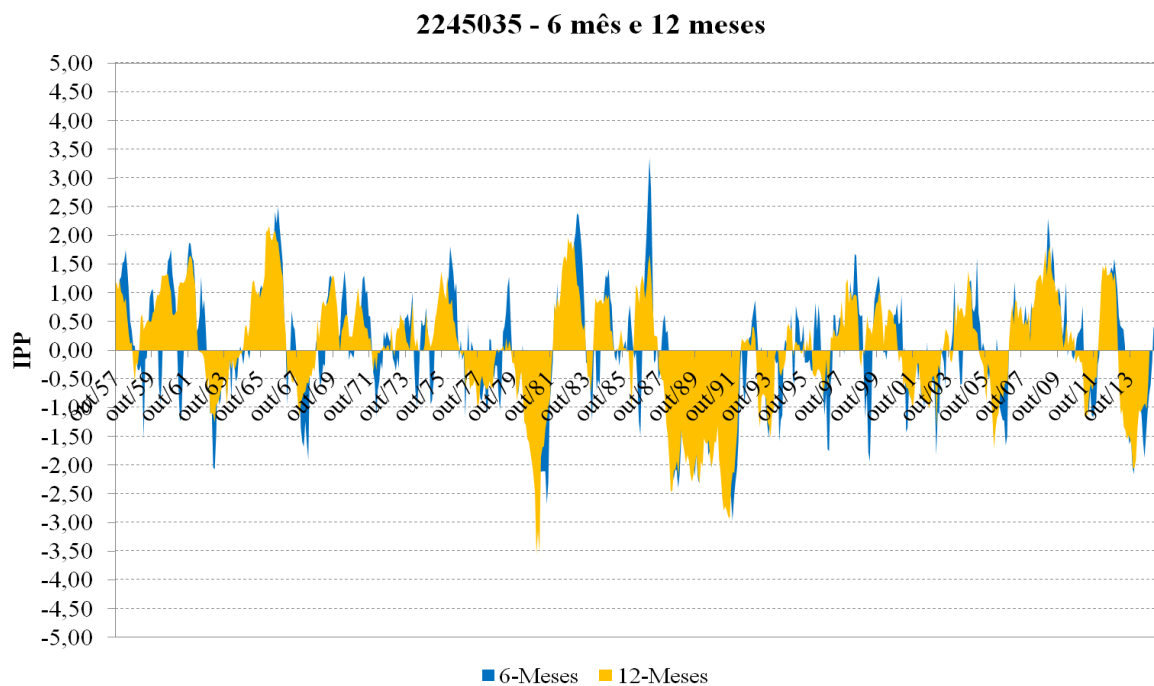
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 47 – IPP 1 e 3 meses, estação 2245035



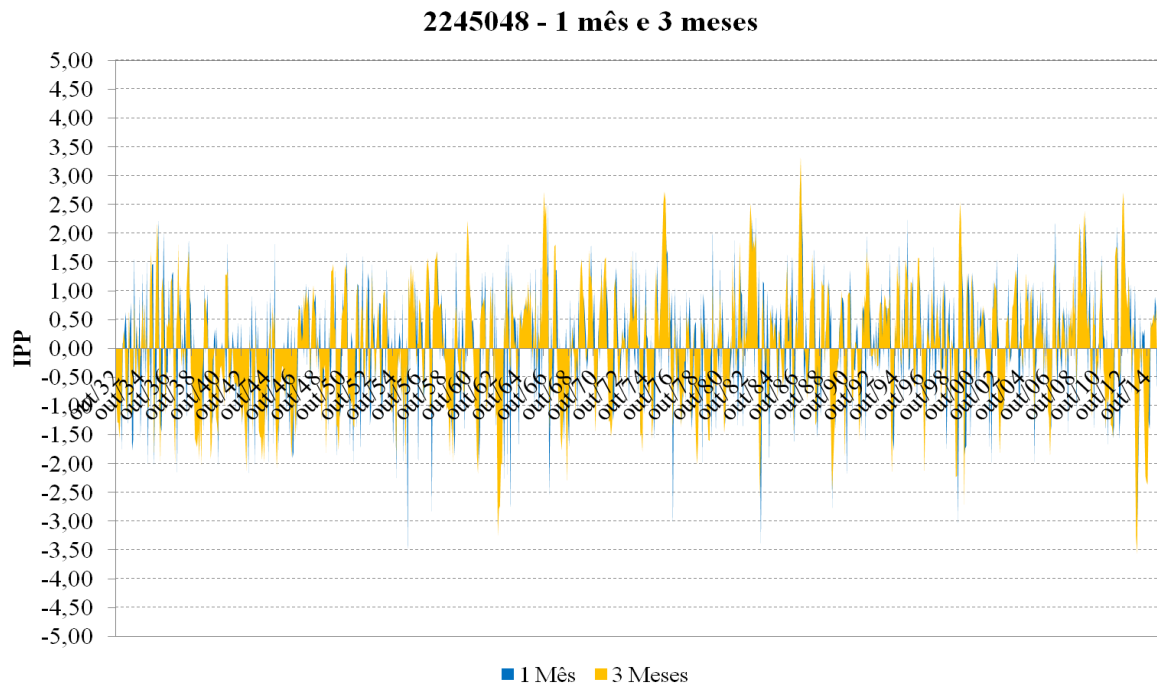
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 48 – IPP 6 e 12 meses, estação 2245035



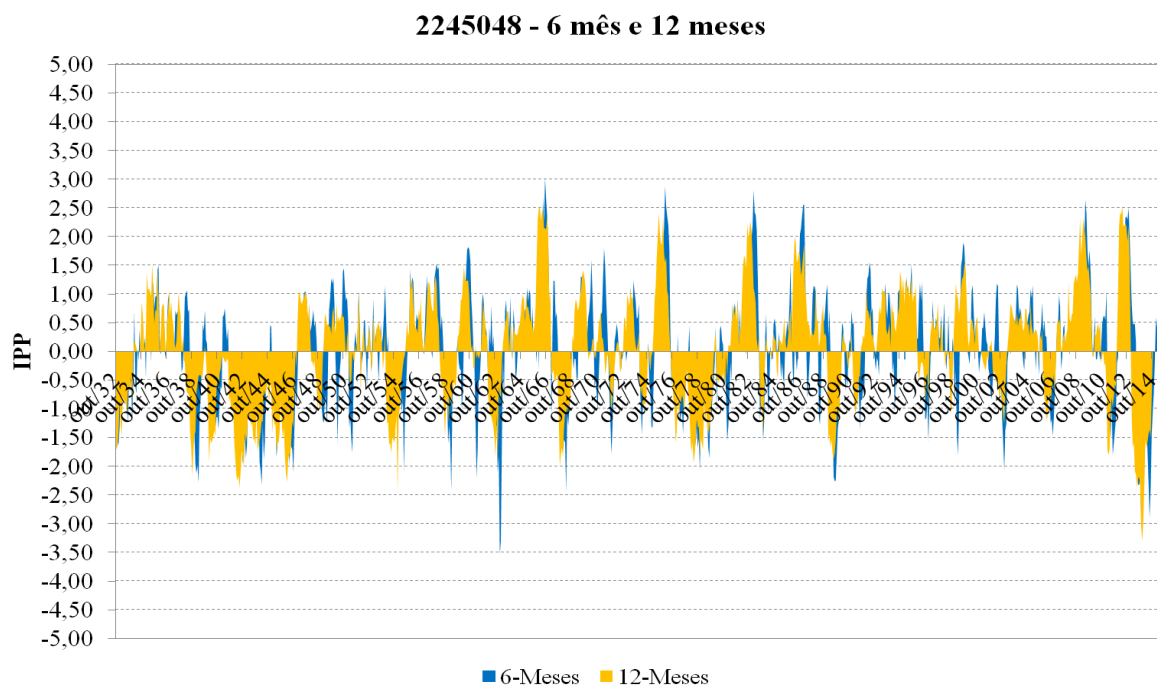
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 49 – IPP 1 e 3 meses, estação 2245048



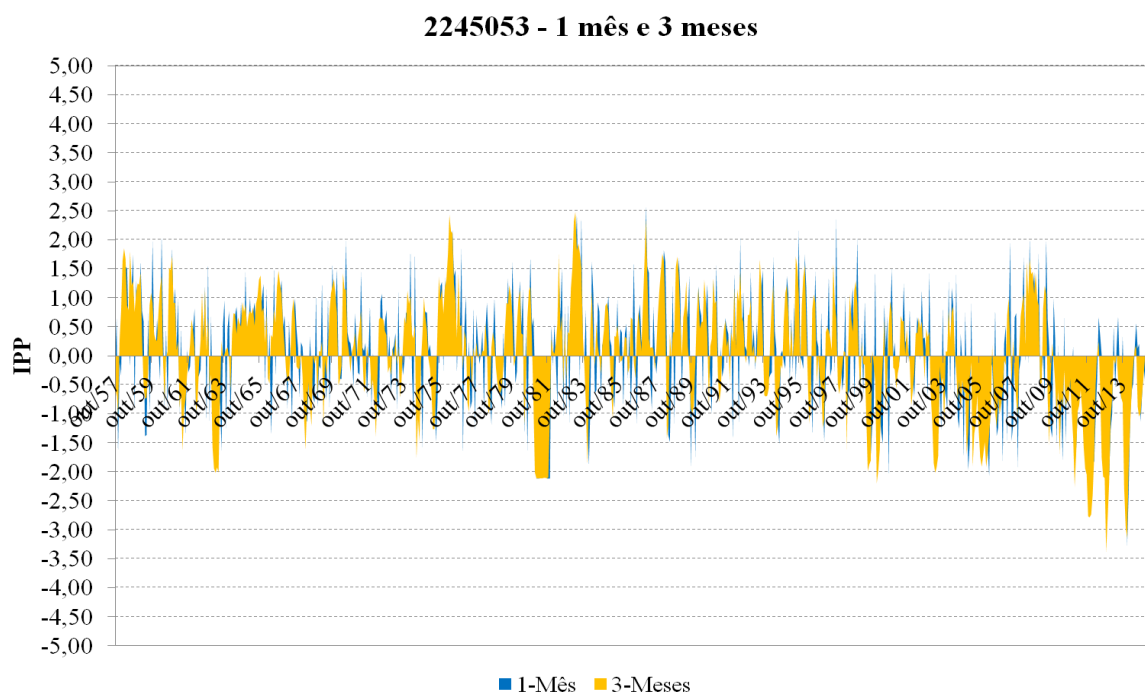
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 50 – IPP 6 e 12 meses, estação 2245048



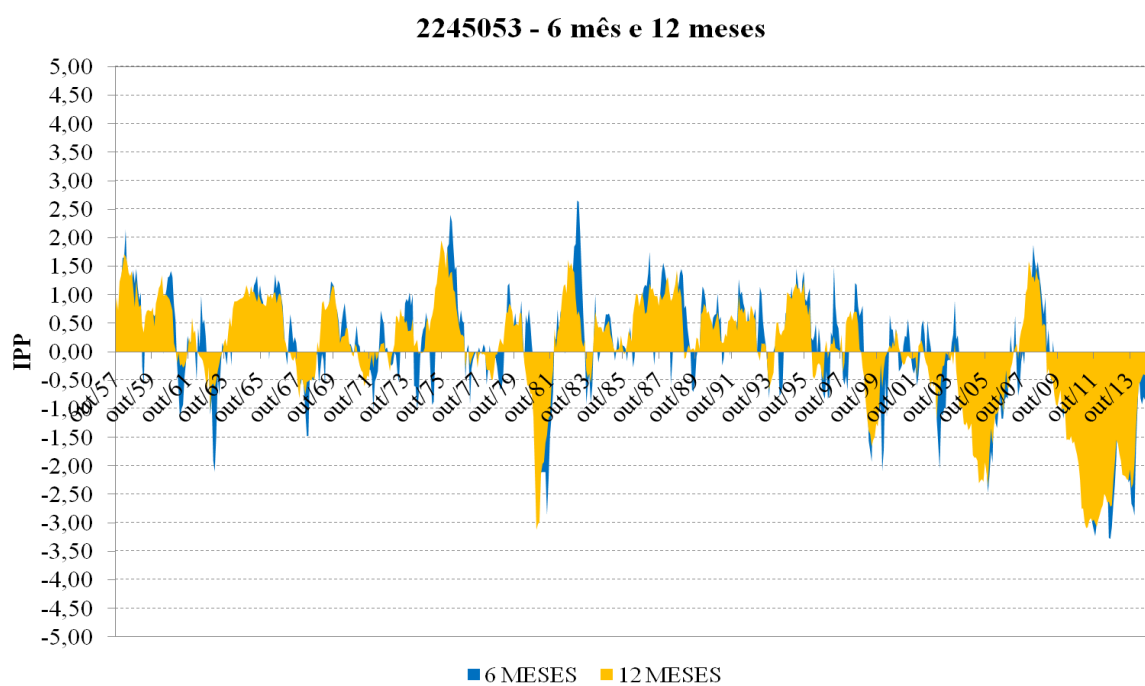
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 51 – IPP 1 e 3 meses, estação 2245053



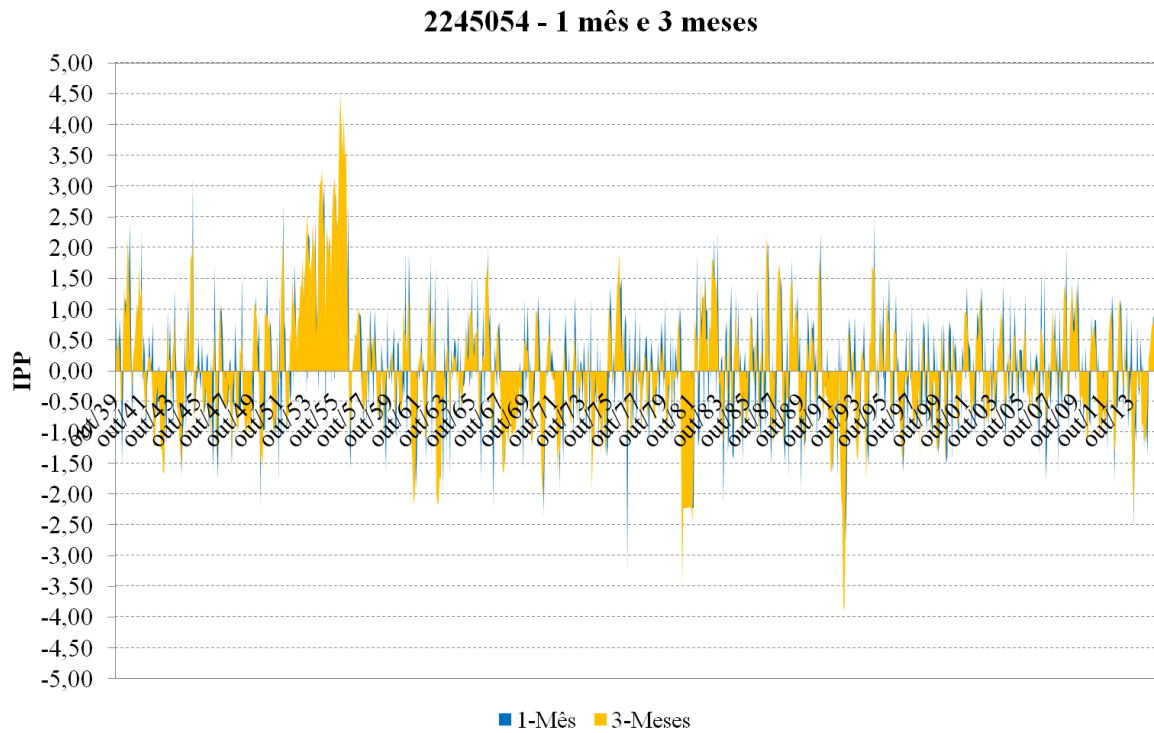
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 52 – IPP 6 e 12 meses, estação 2245053



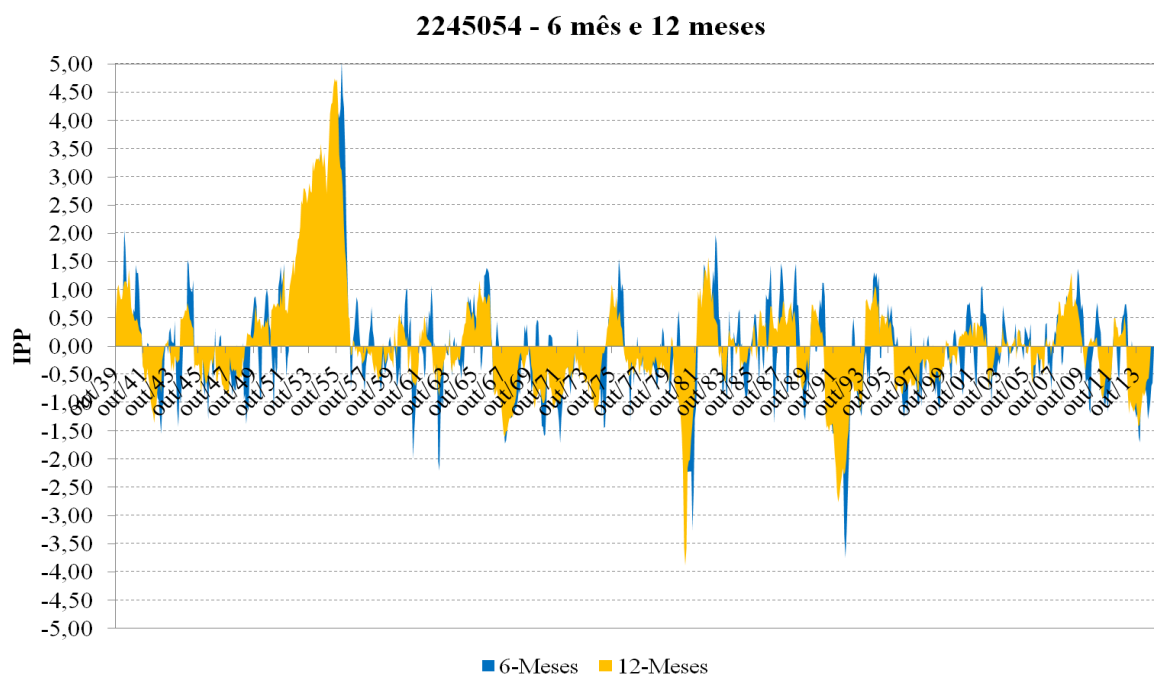
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 53 – IPP 6 e 12 meses, estação 2245054



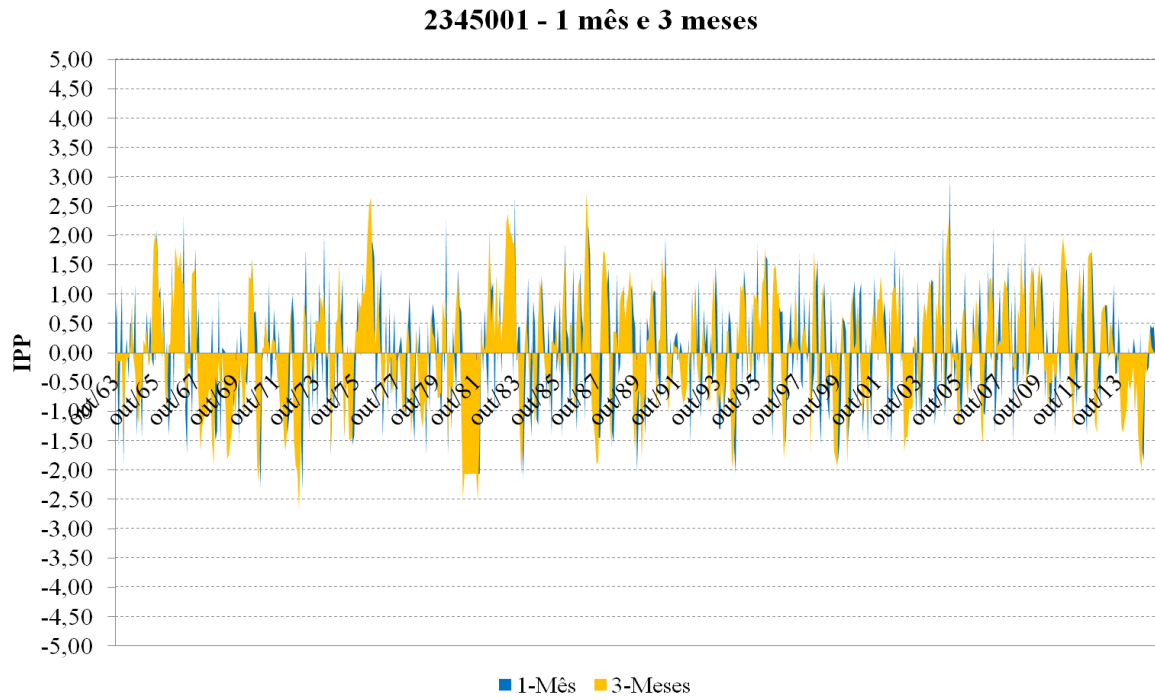
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 54 – IPP 6 e 12 meses, estação 2245054



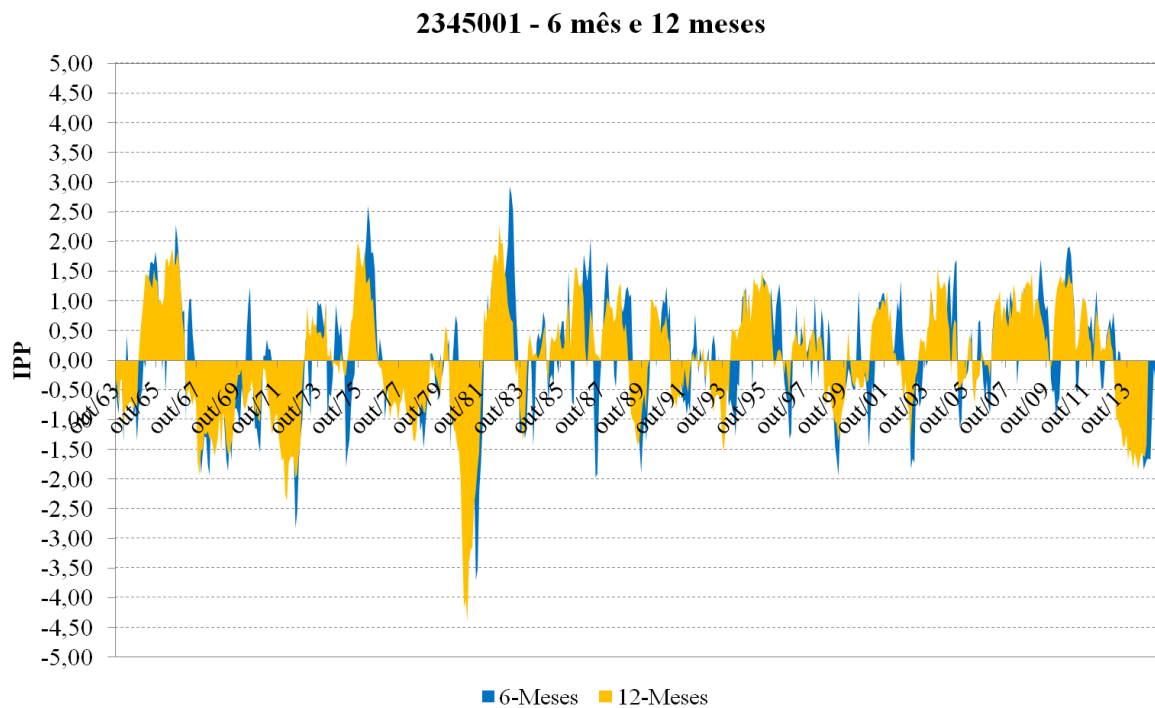
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 55 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345001



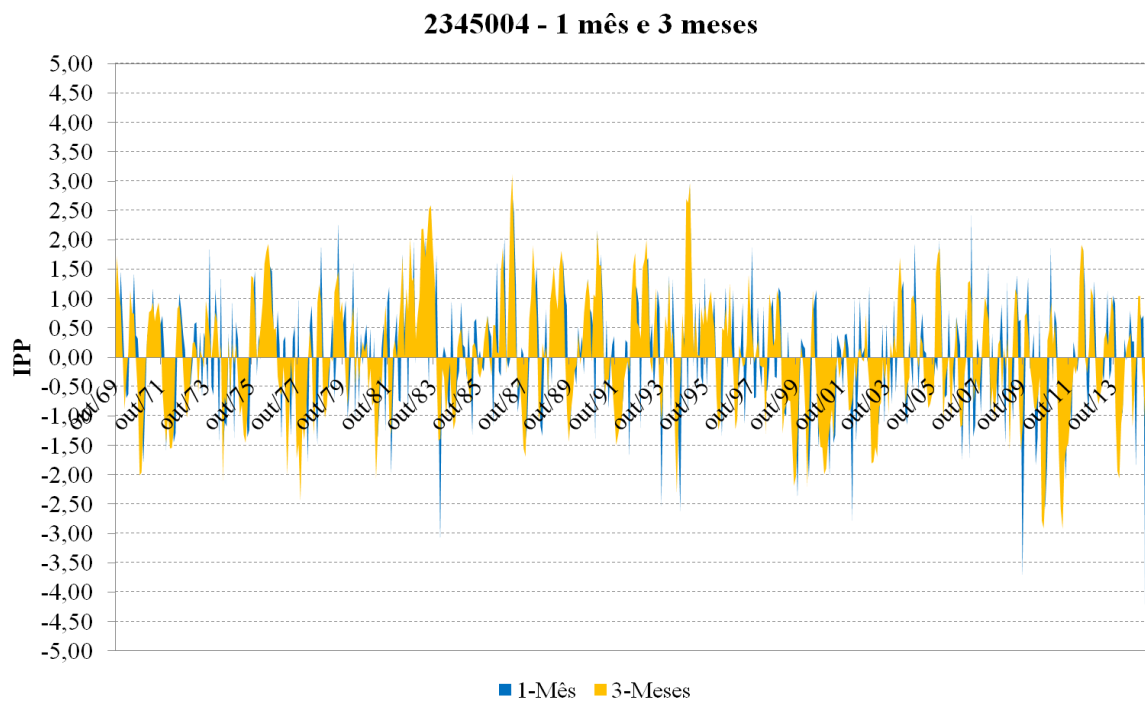
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 56 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345001



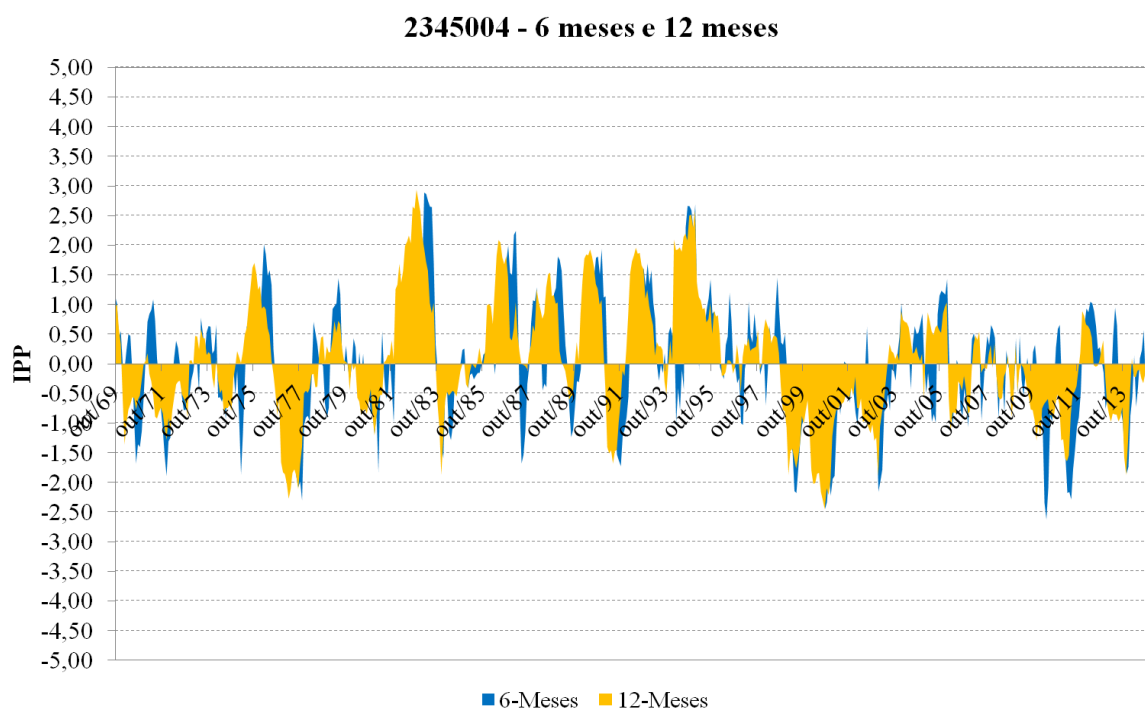
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 57 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345004



Fonte: Produção do próprio autor.

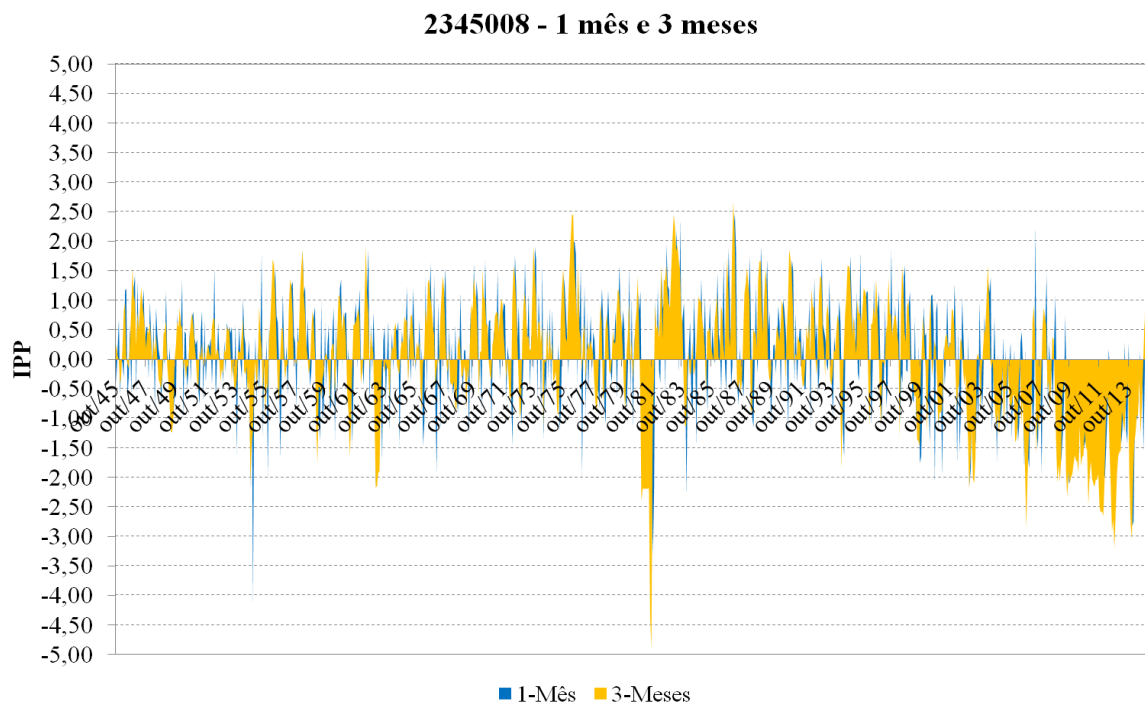
Figura 58 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345004



Fonte: Produção do próprio autor.

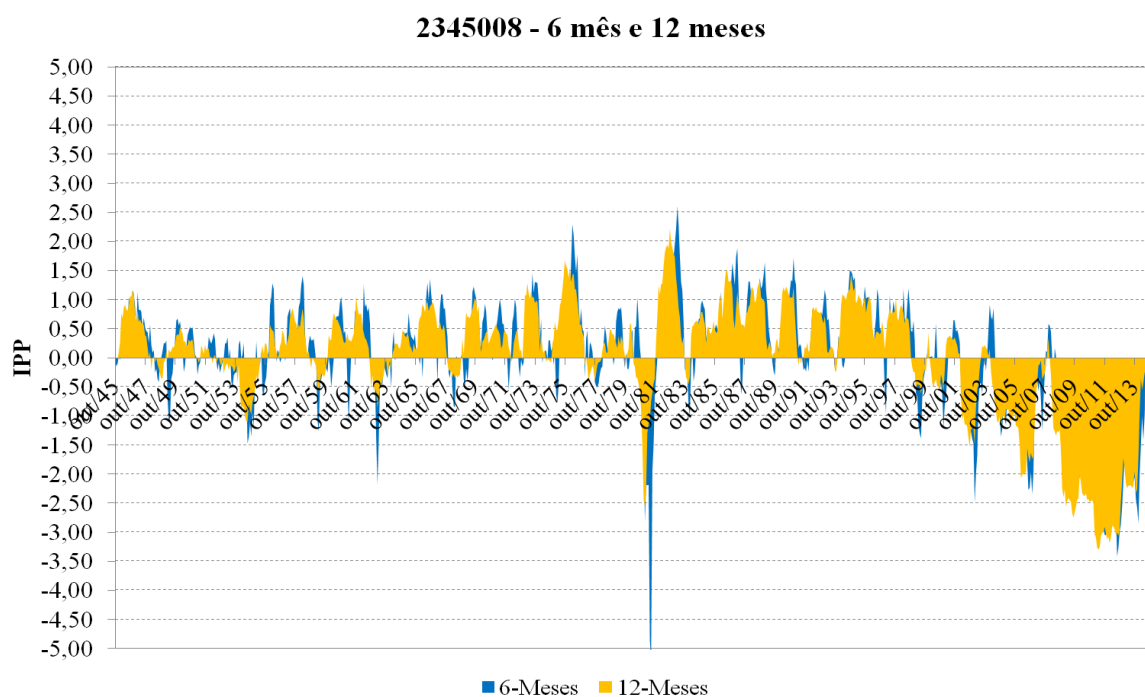


Figura 59 – IPP 1 e 3 meses, estação 23450008



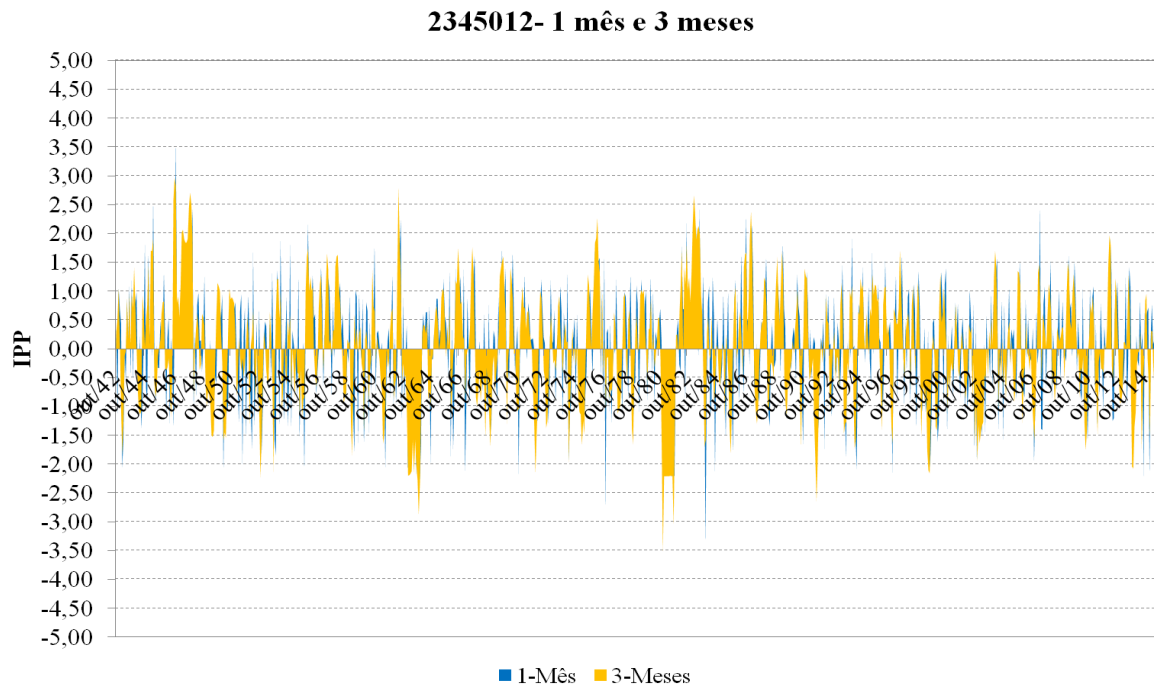
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 60 – IPP 6 e 12 meses, estação 23450008



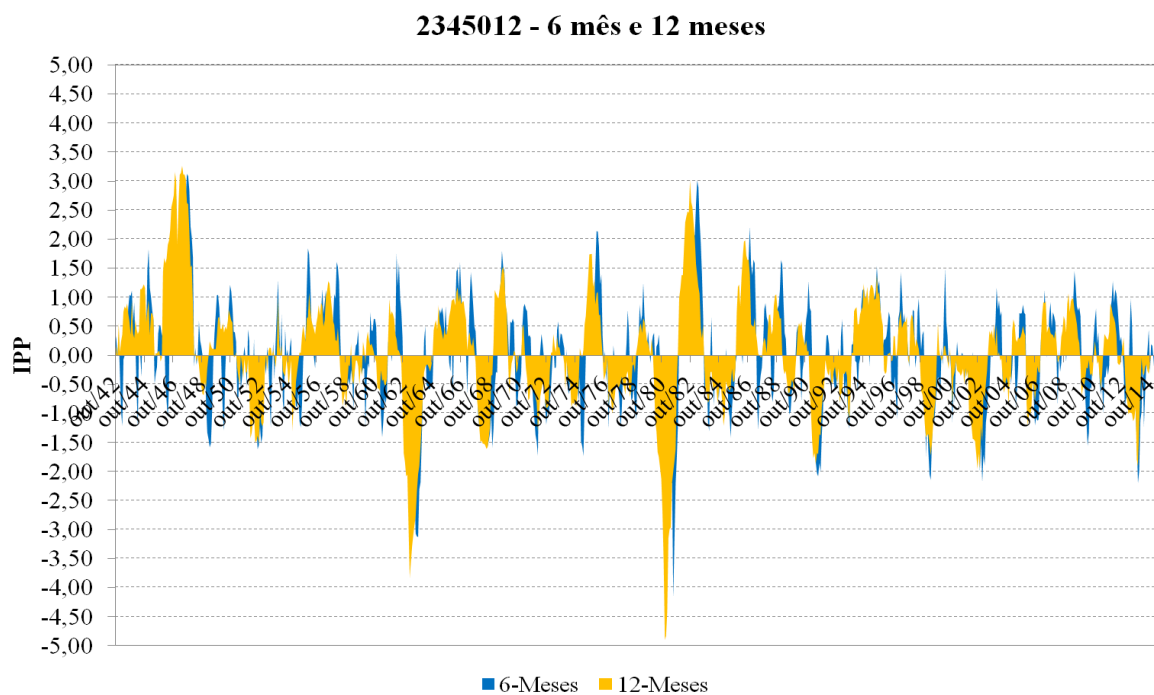
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 61 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345012



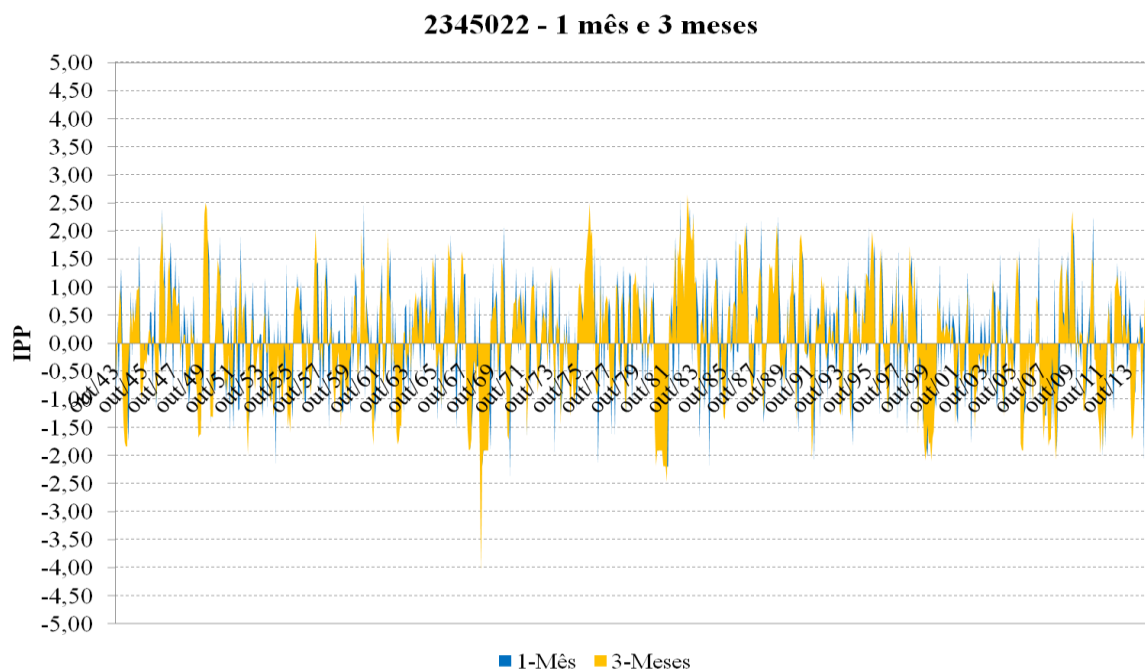
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 62 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345012



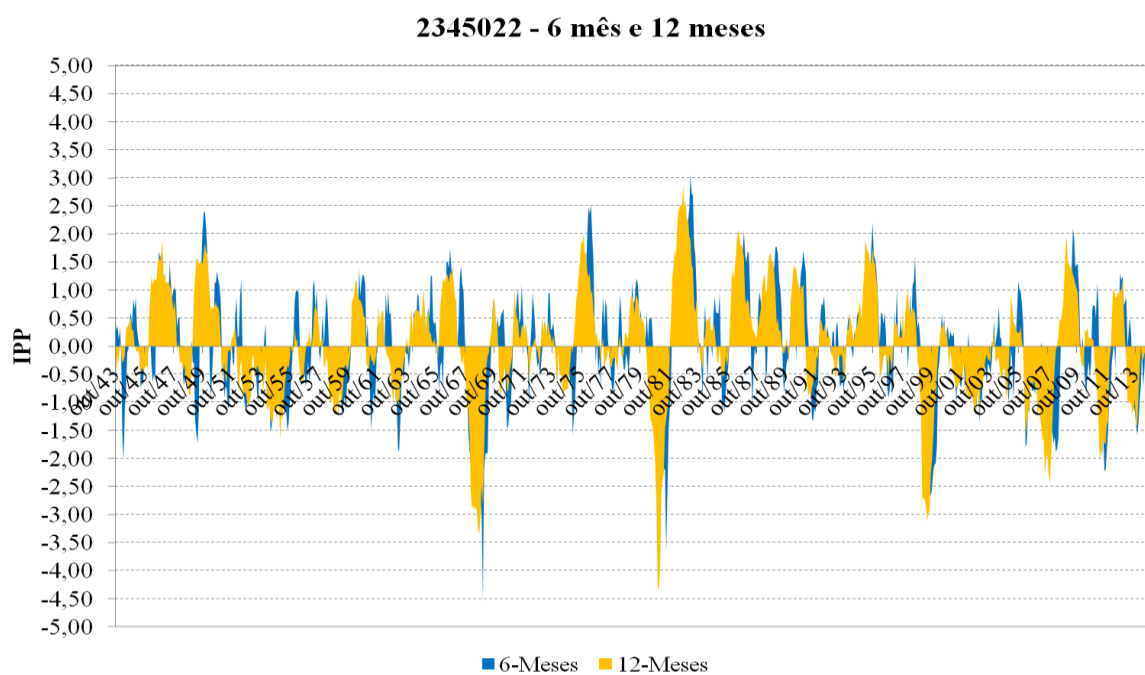
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 63 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345022



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 64 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345022



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 65 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345062

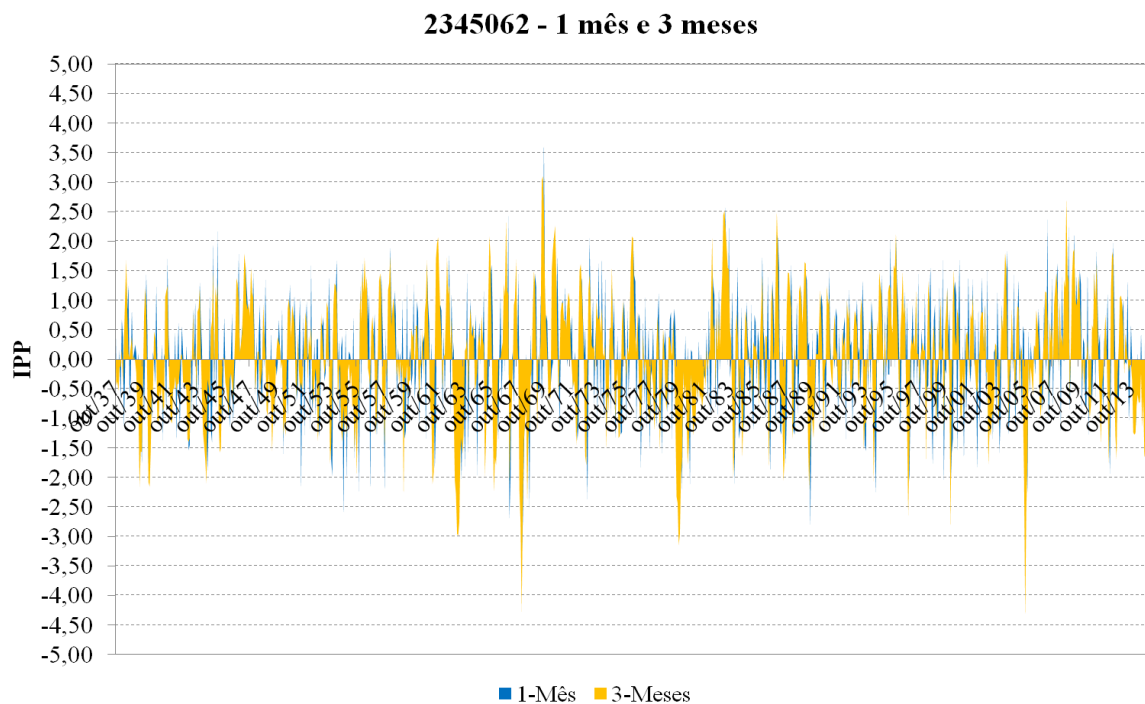
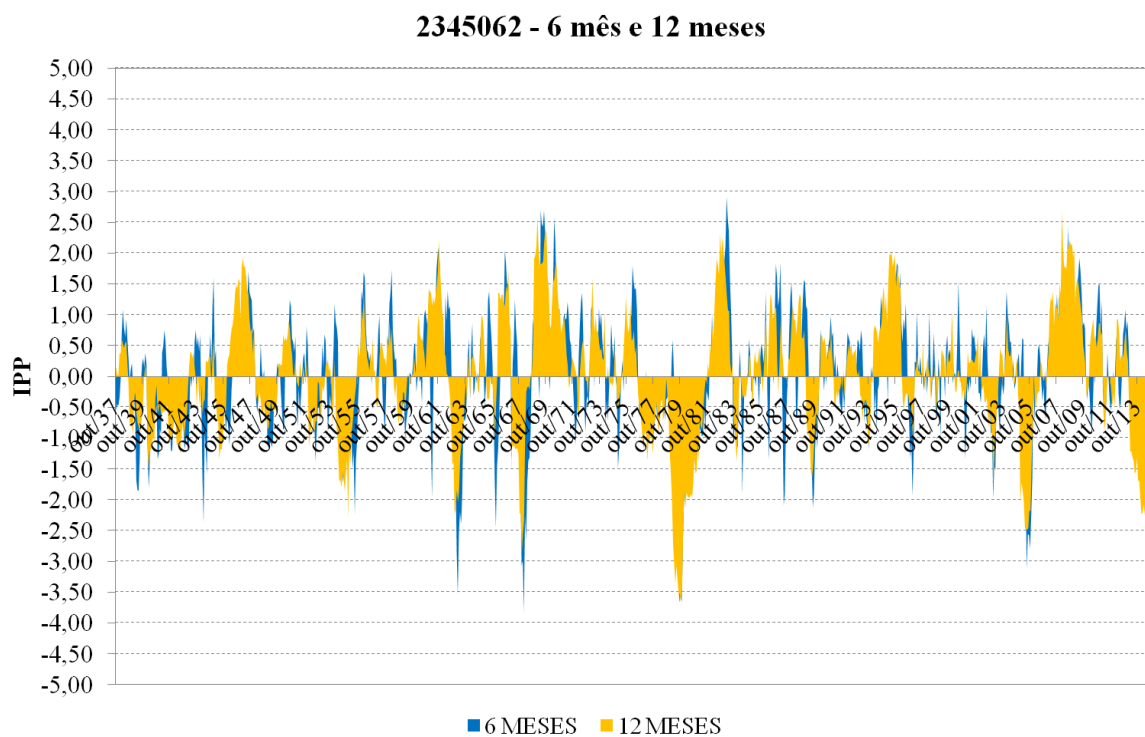
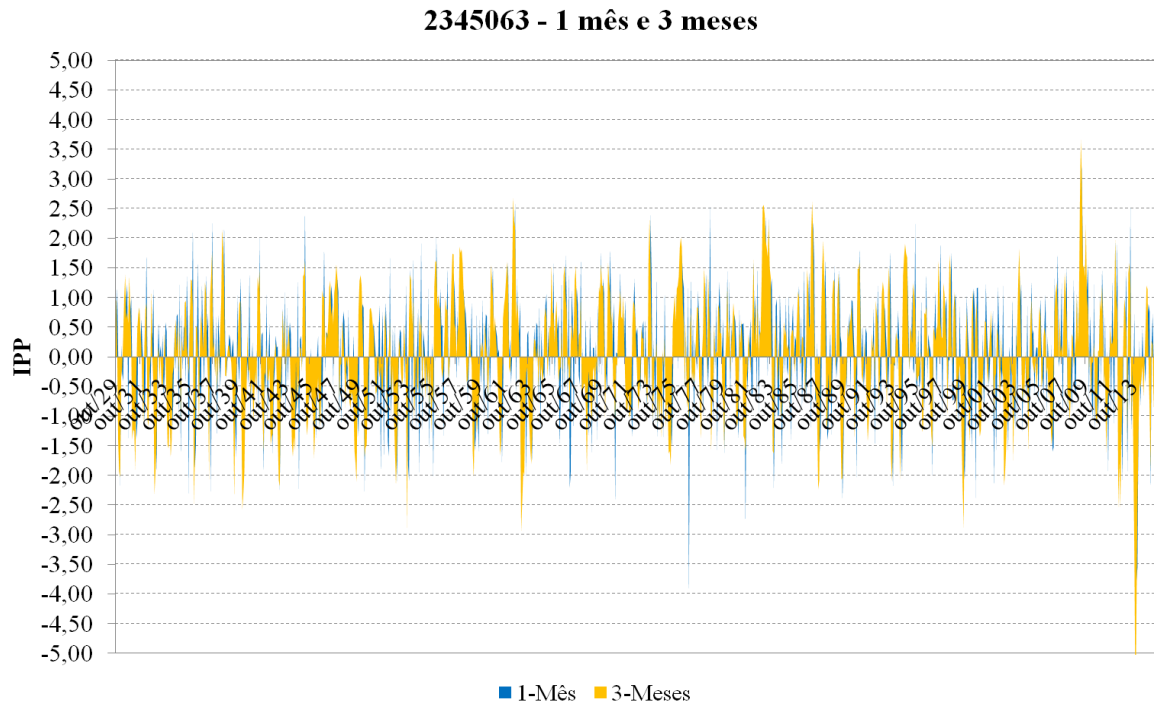


Figura 66 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345062



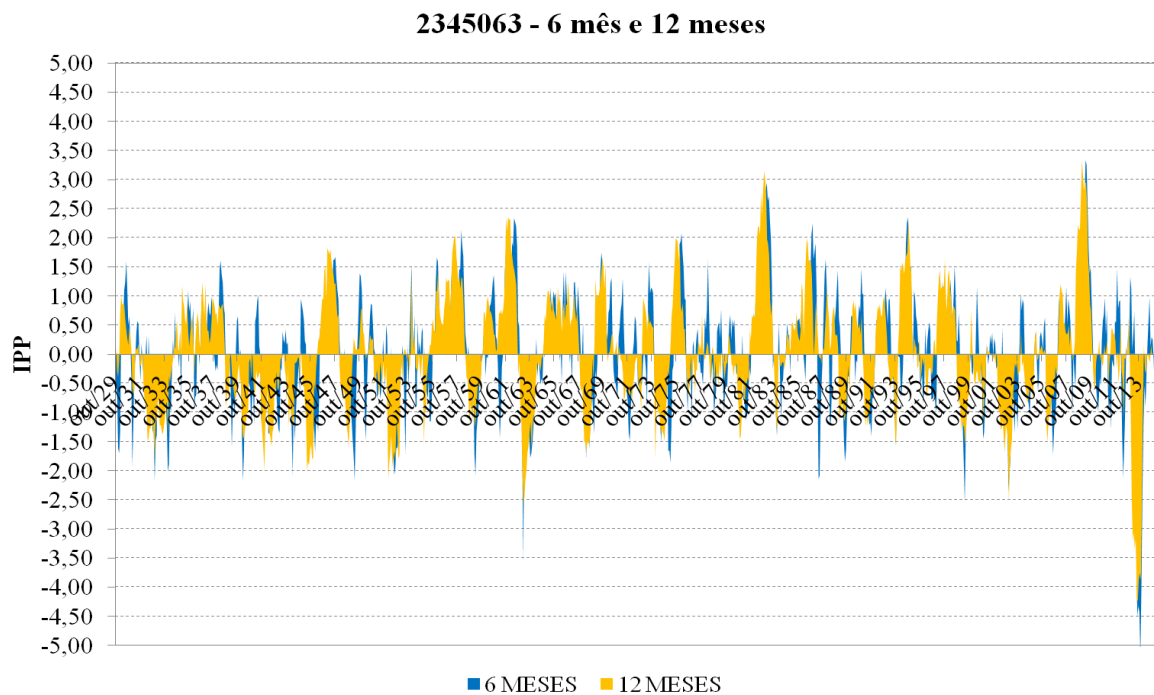
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 67 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345063



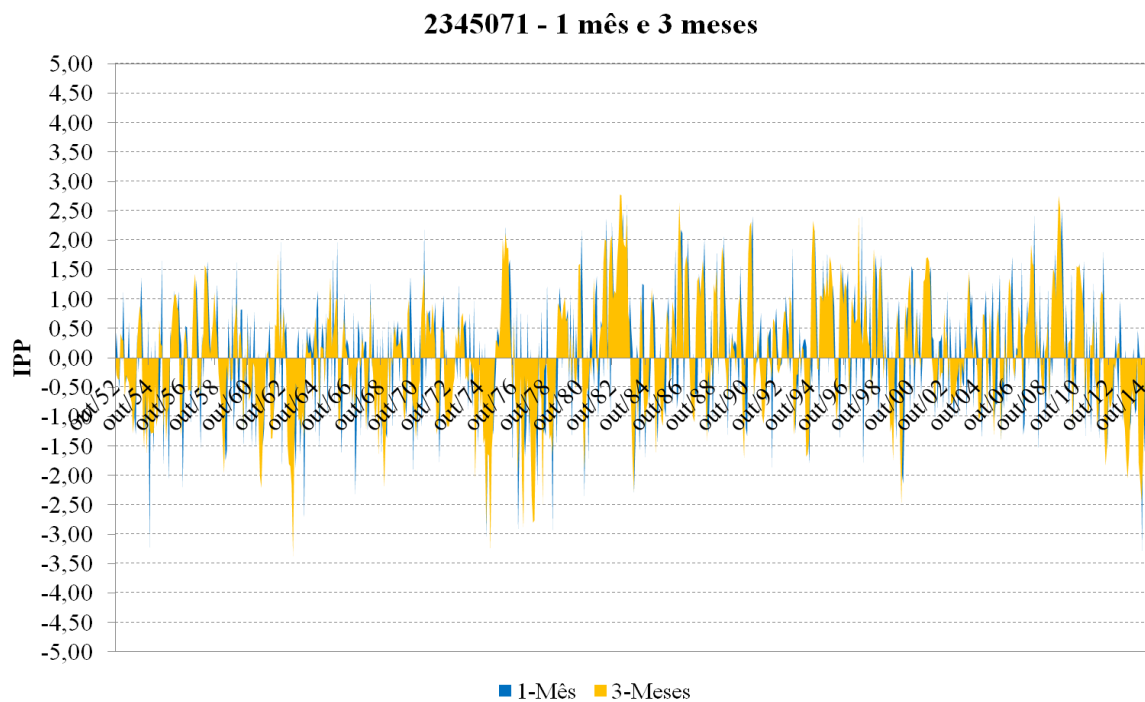
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 68 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345063



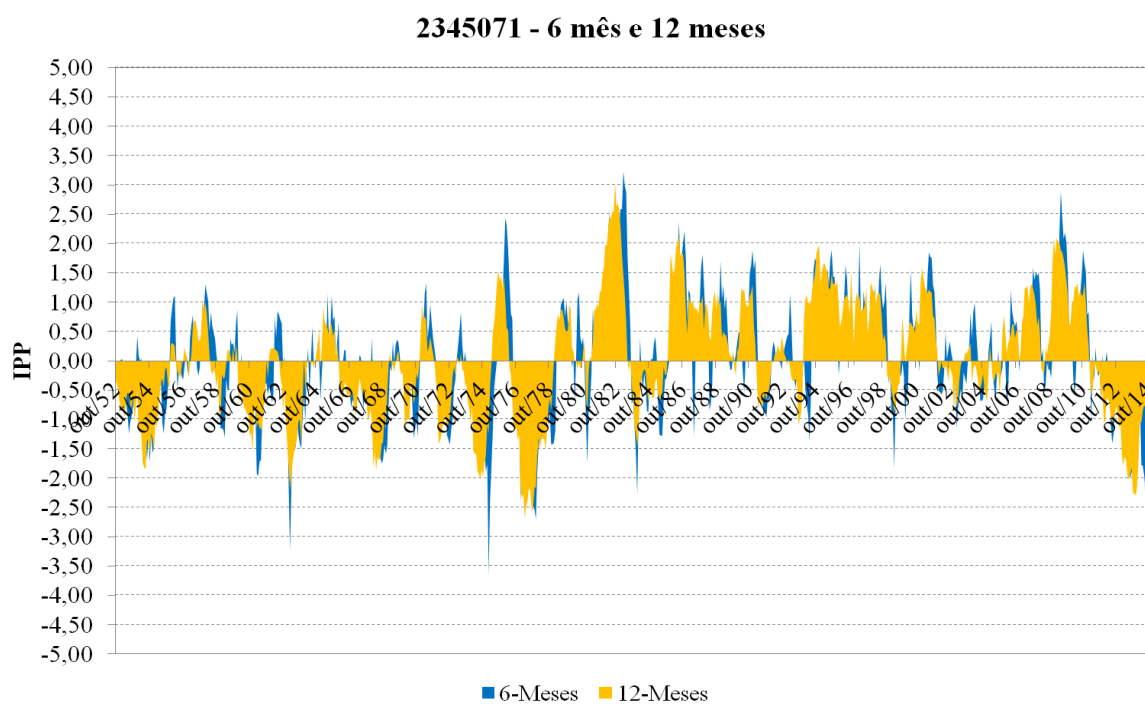
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 69 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345071



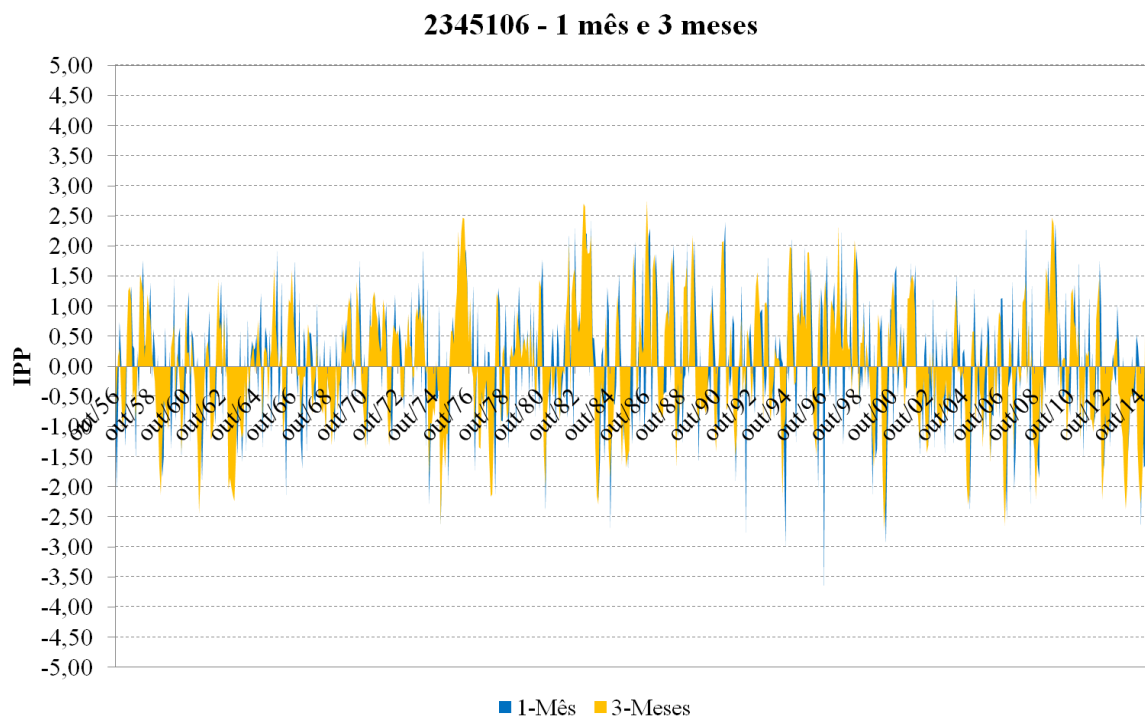
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 70 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345071



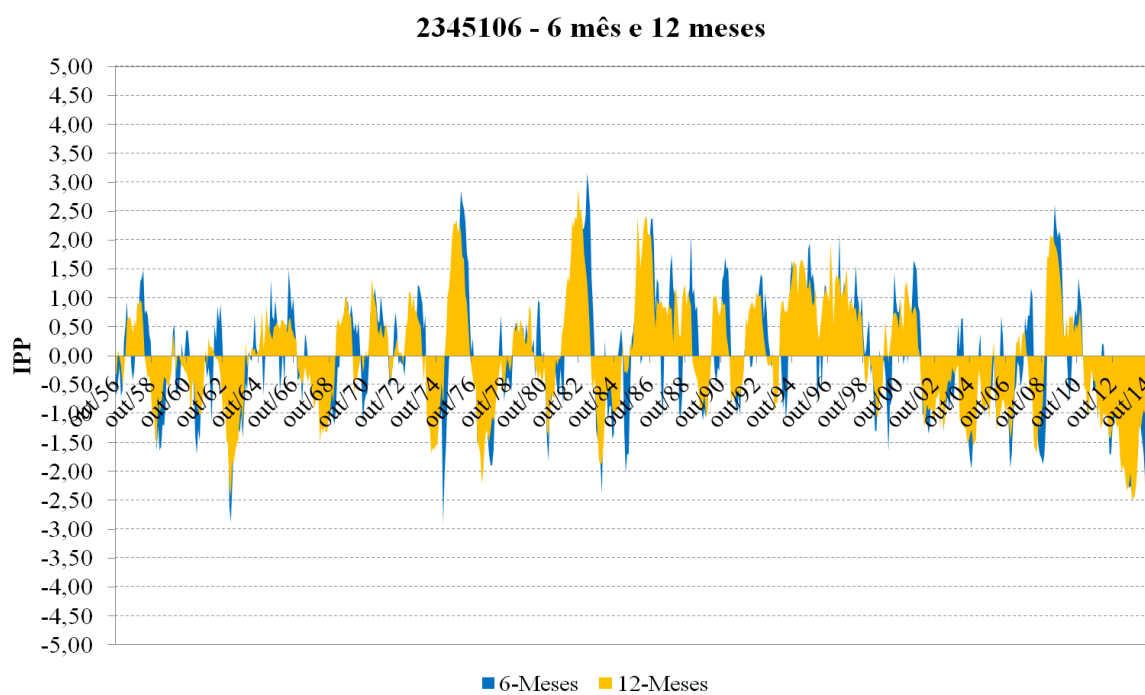
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 71 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345106



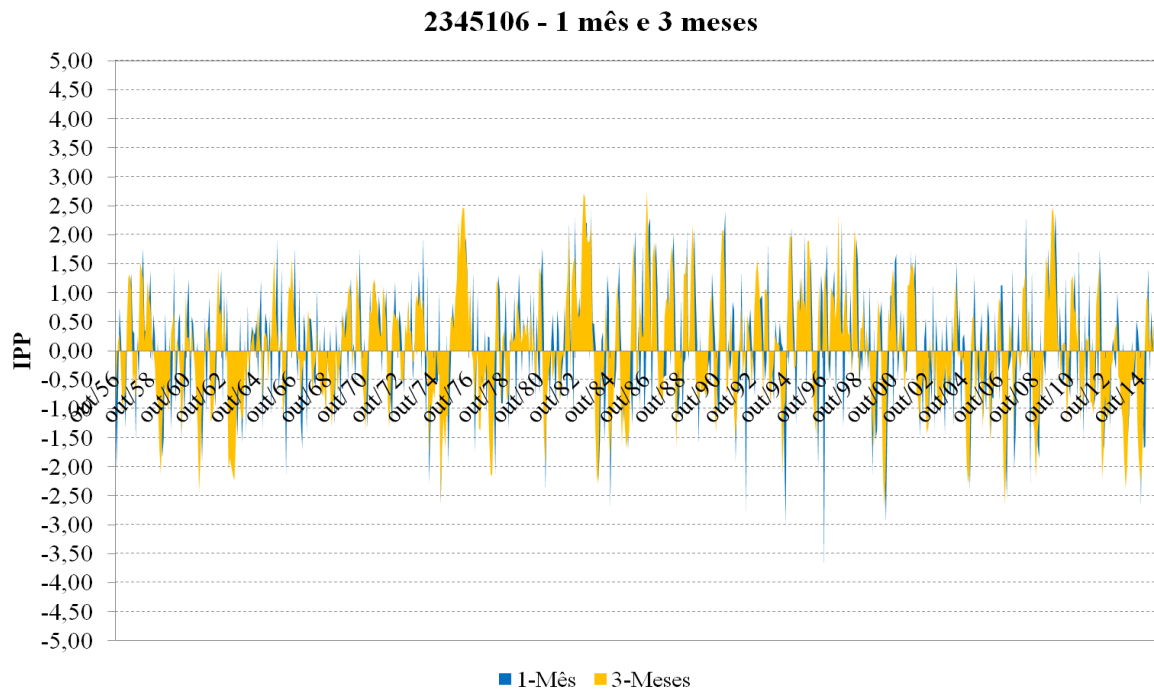
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 72 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345106



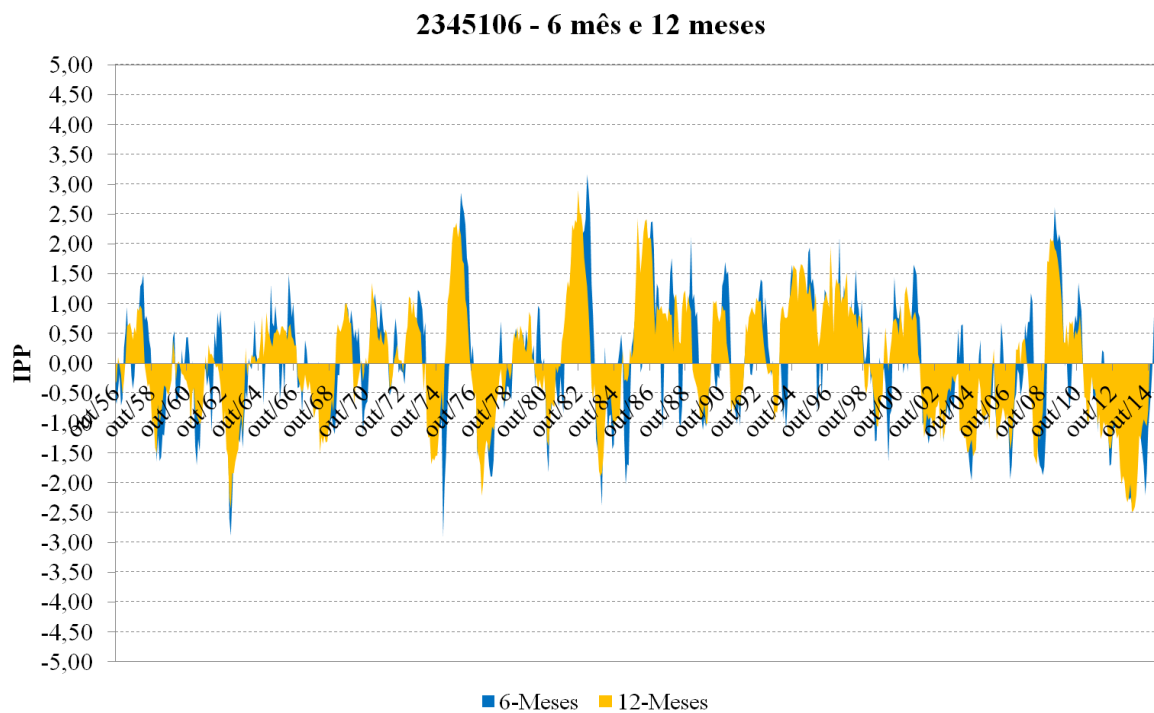
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 73 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345106



Fonte: Produção do próprio autor.

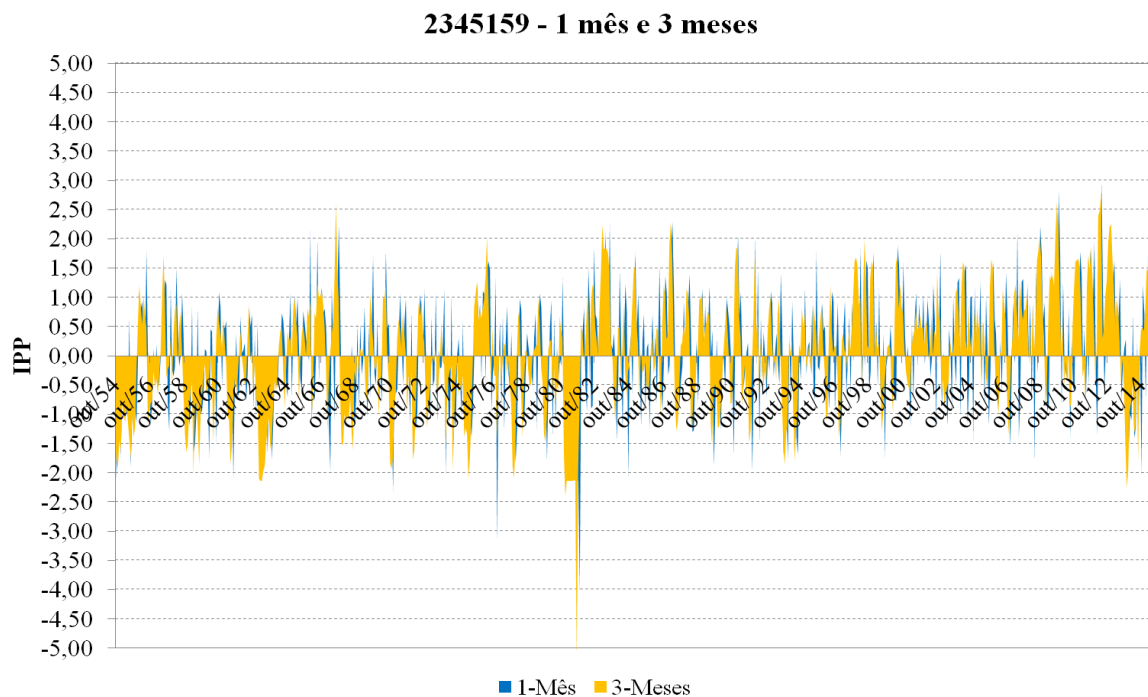
Figura 74 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345106



Fonte: Produção do próprio autor.

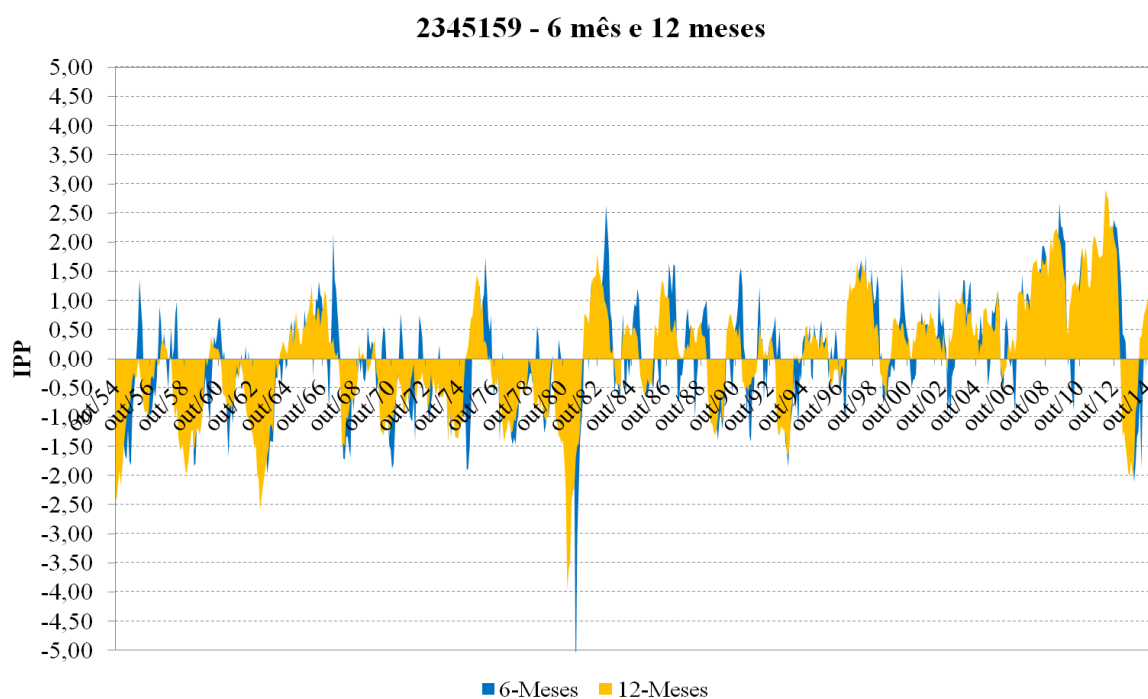


Figura 75 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345159



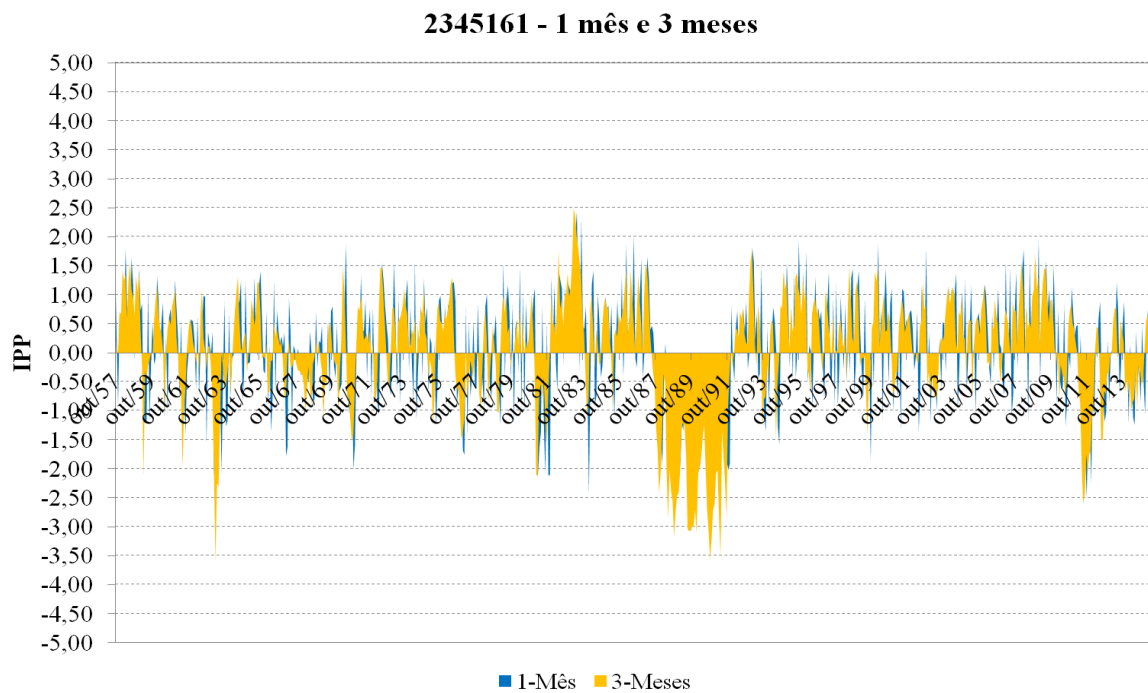
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 76 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345159



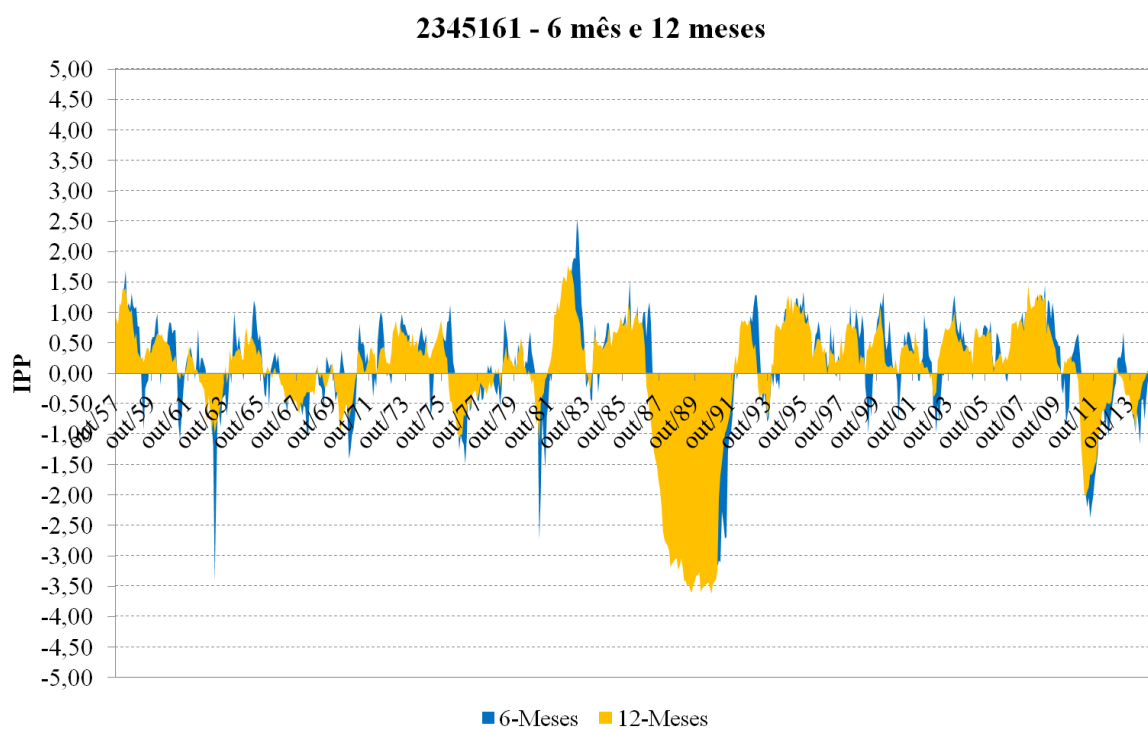
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 77 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345161



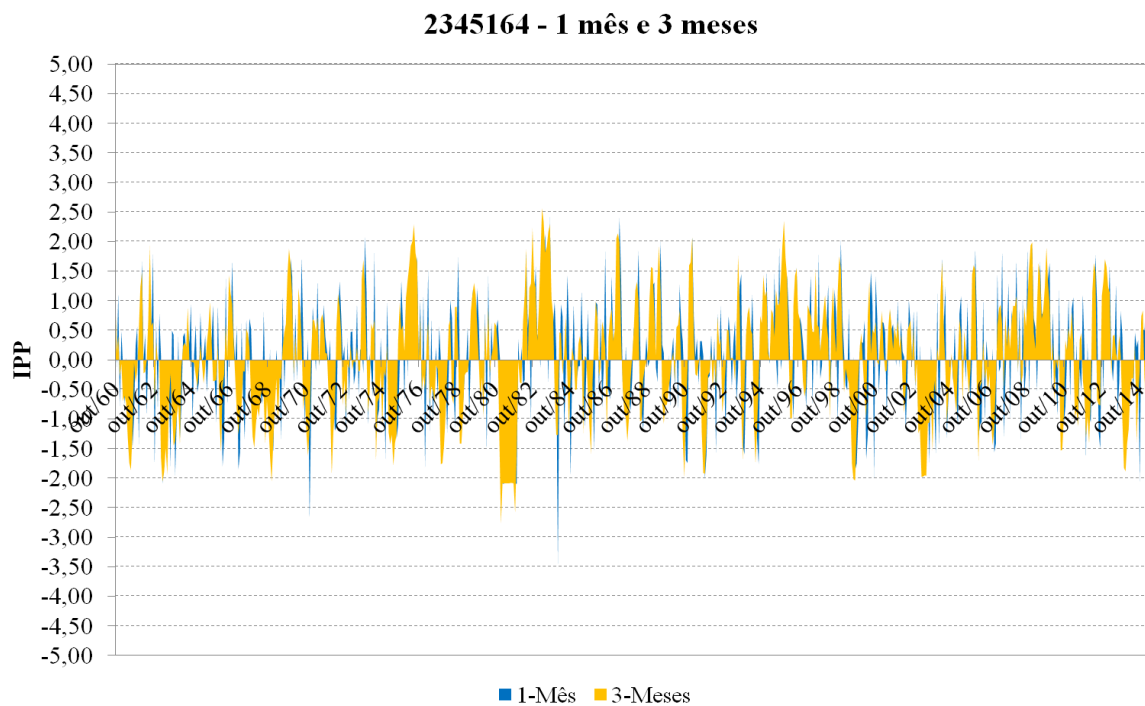
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 78 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345161



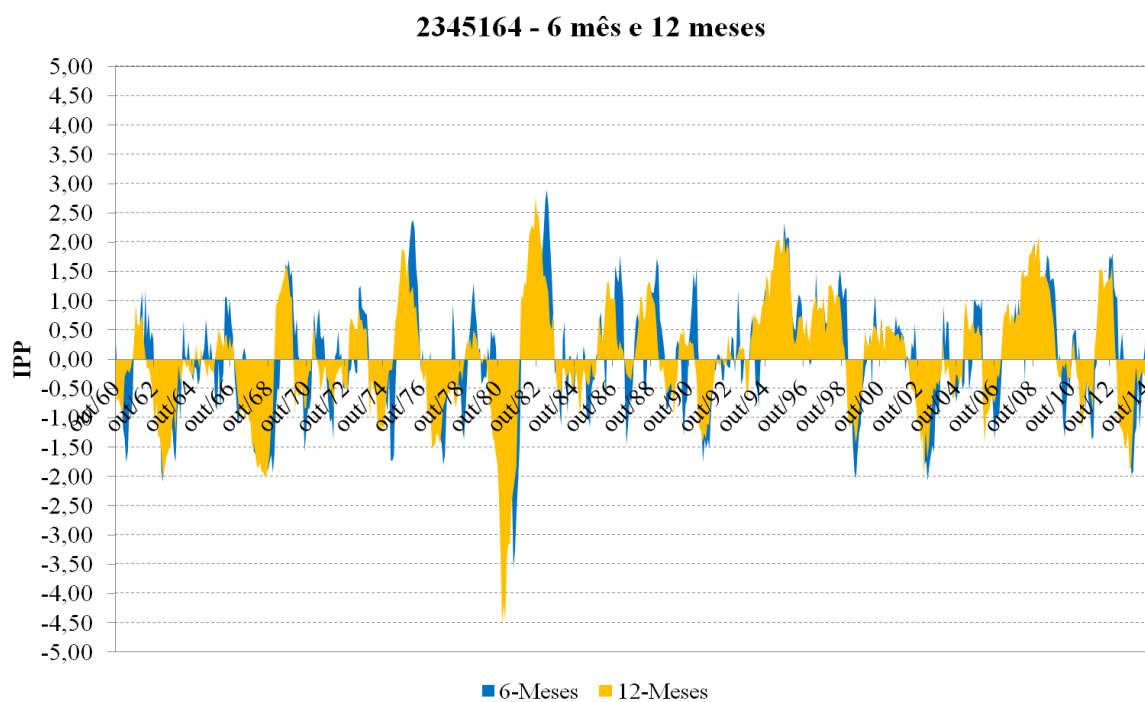
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 79 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345164



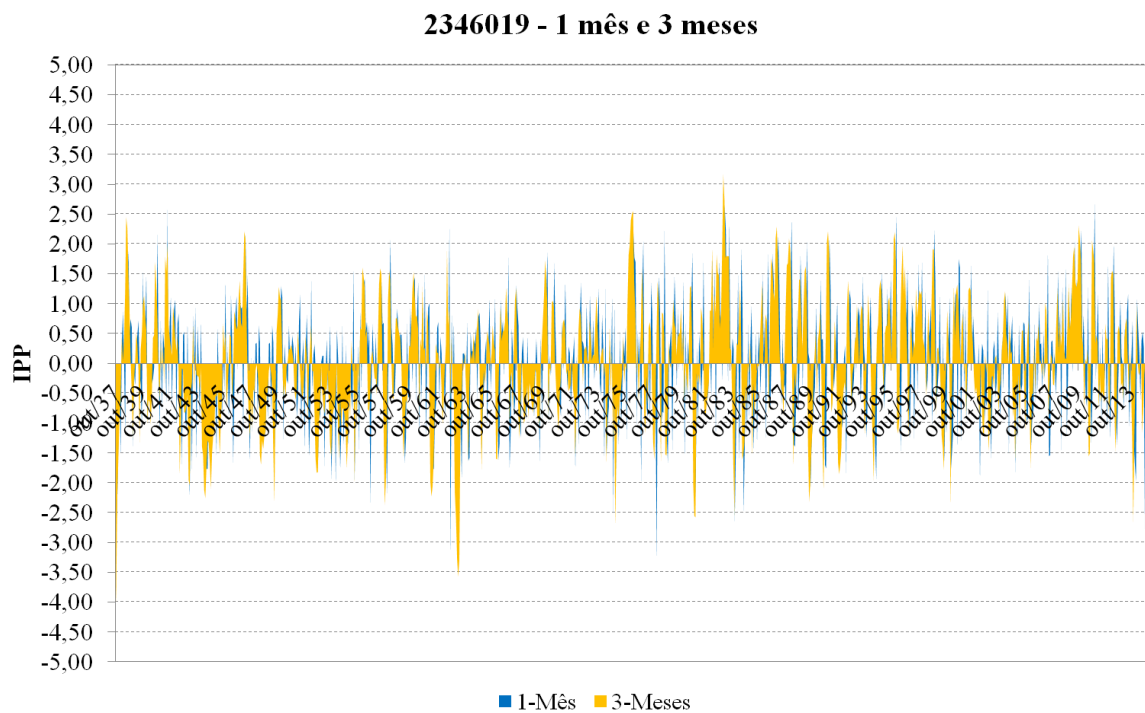
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 80 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345164



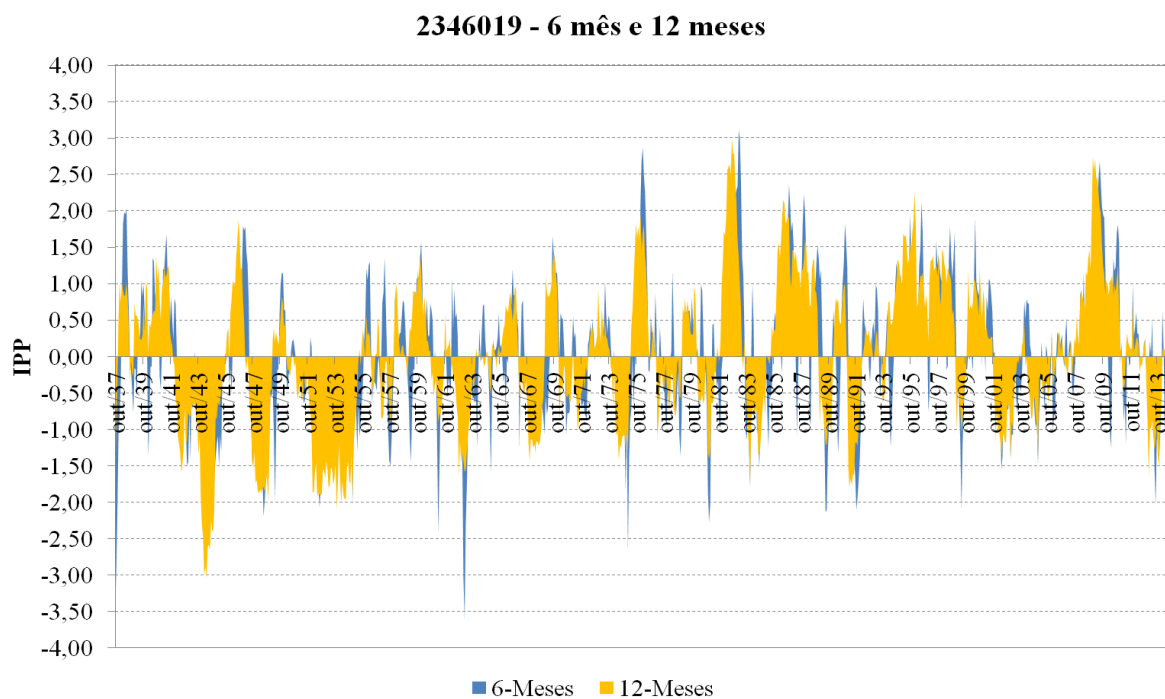
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 81 – IPP 1 e 3 meses, estação 2345019



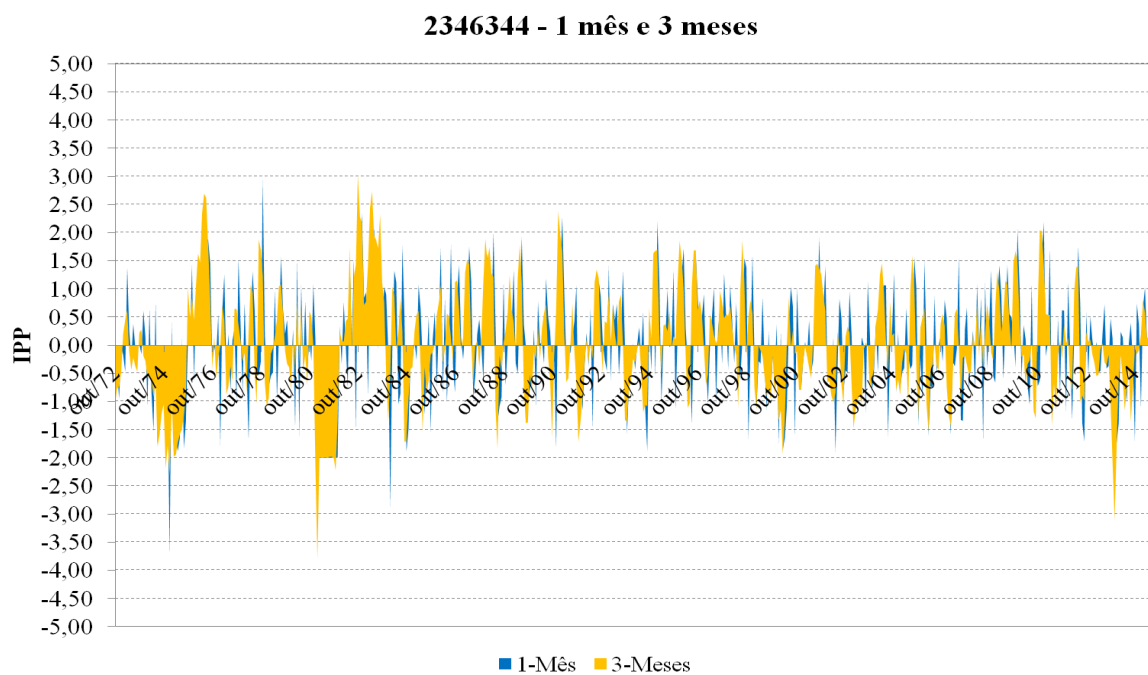
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 82 – IPP 6 e 12 meses, estação 2345019



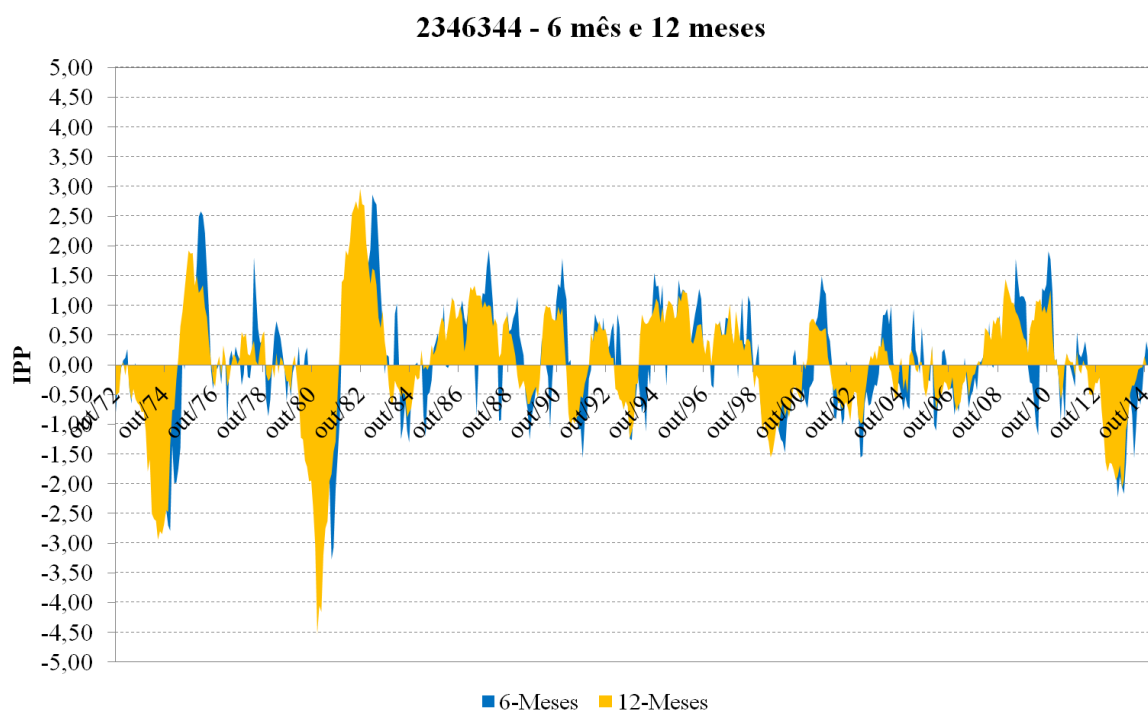
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 83 – IPP 1 e 3 meses, estação 2346344



Fonte: Produção do próprio autor.

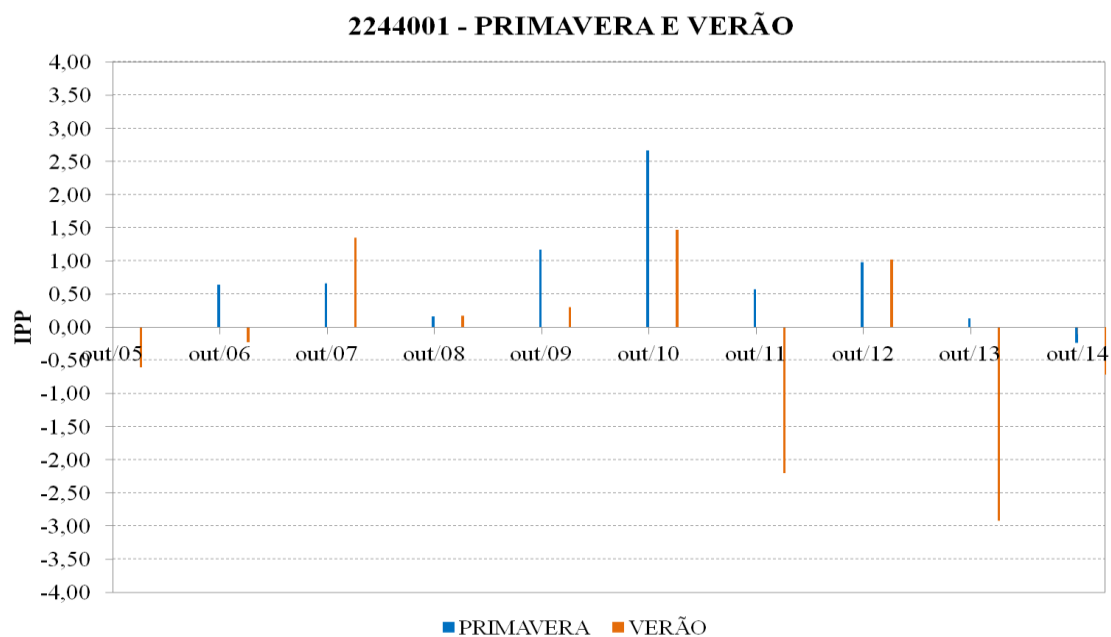
Figura 84 – IPP 6 e 12 meses, estação 2346344



Fonte: Produção do próprio autor.

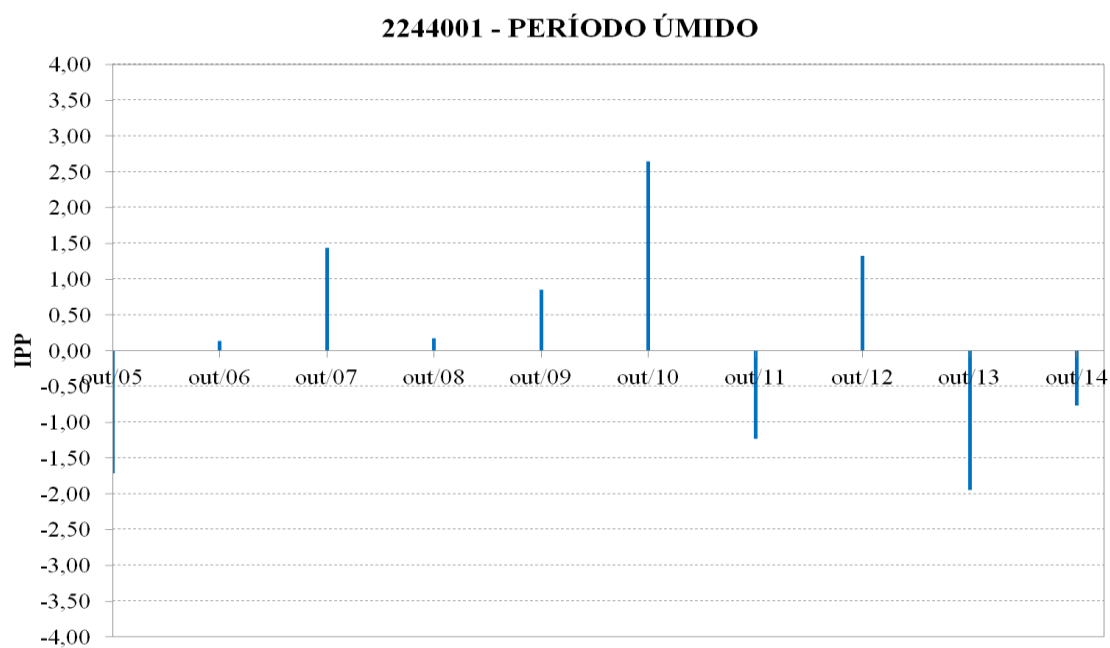
## APÊNDICE C – IPPs DE PRIMAVERA, VERÃO, PERÍODO ÚMIDO E ANO HIDROLÓGICO

Figura 85 – IPPs de primavera e verão, estação 2244001



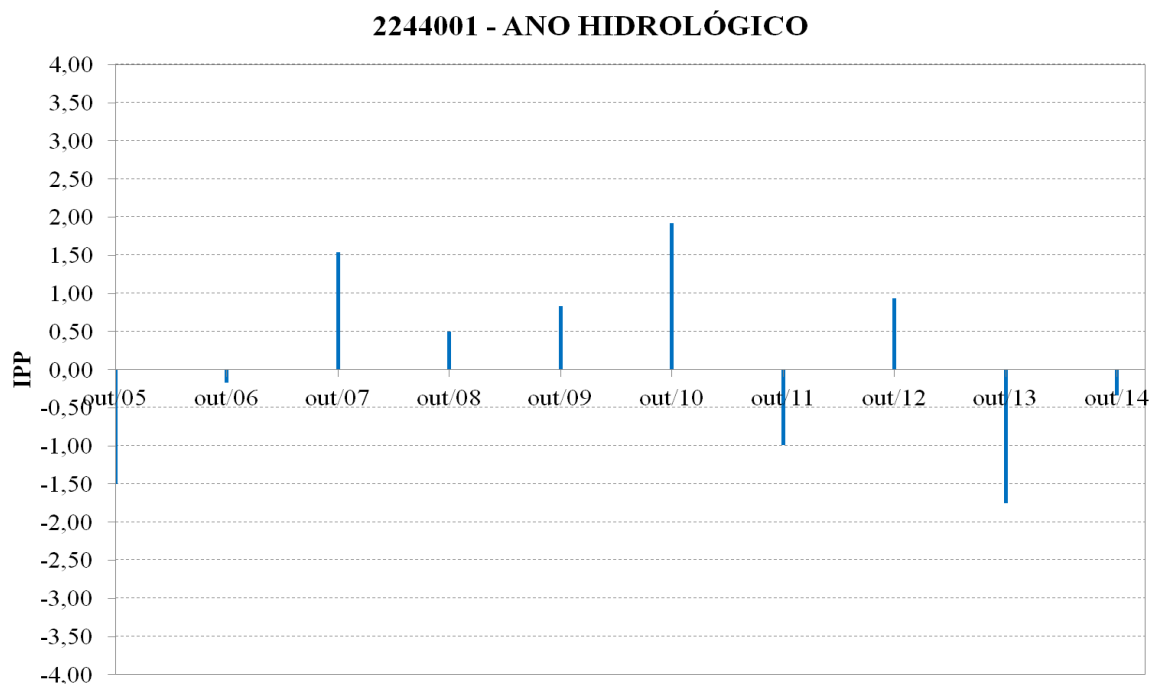
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 86 – IPPs de período úmido, estação 2244001



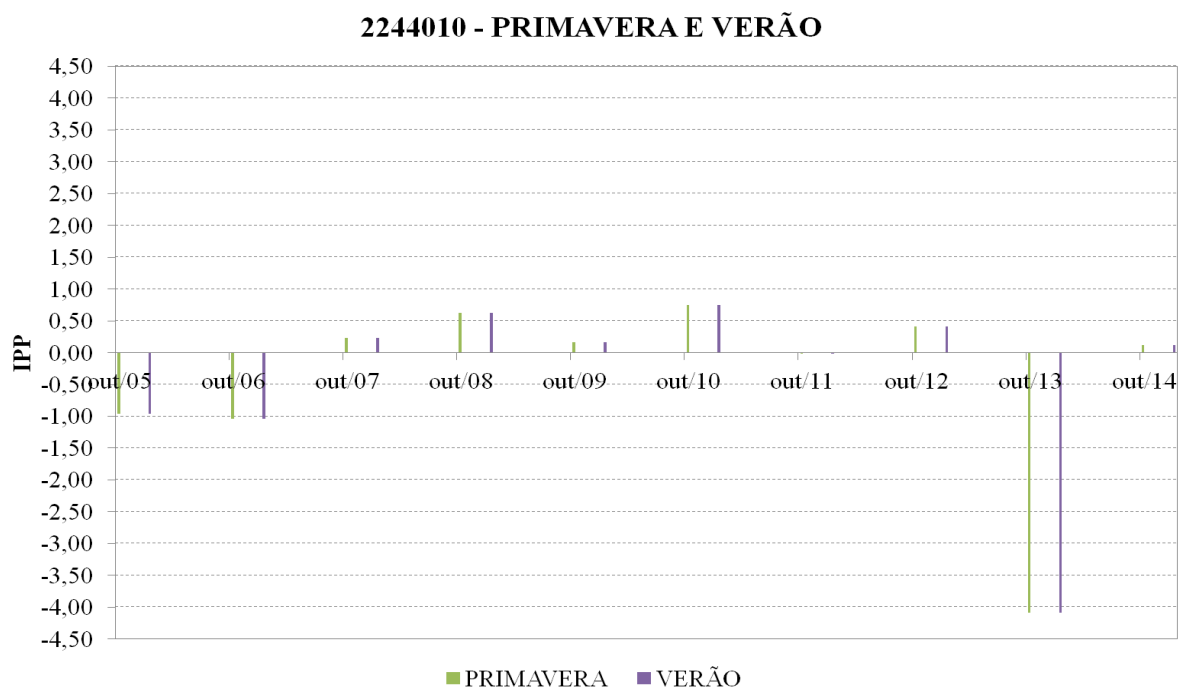
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 87 – IPPs de ano hidrológico, estação 2244001



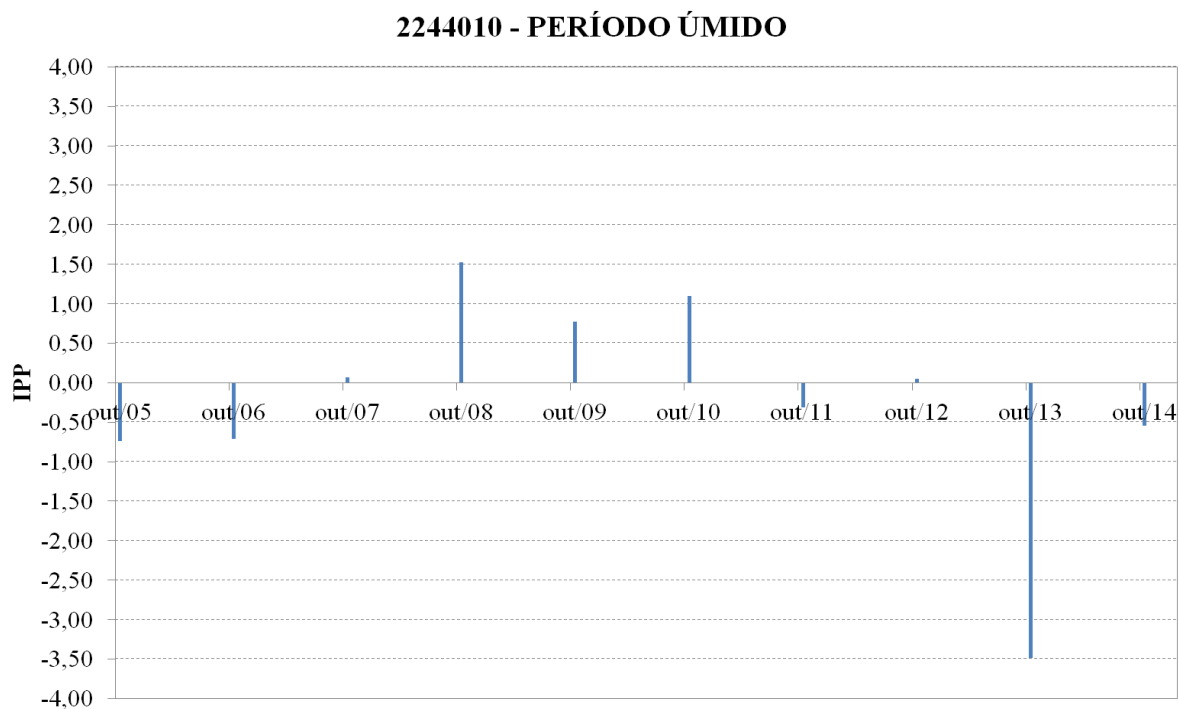
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 88 – IPPs de primavera e verão, estação 2244010



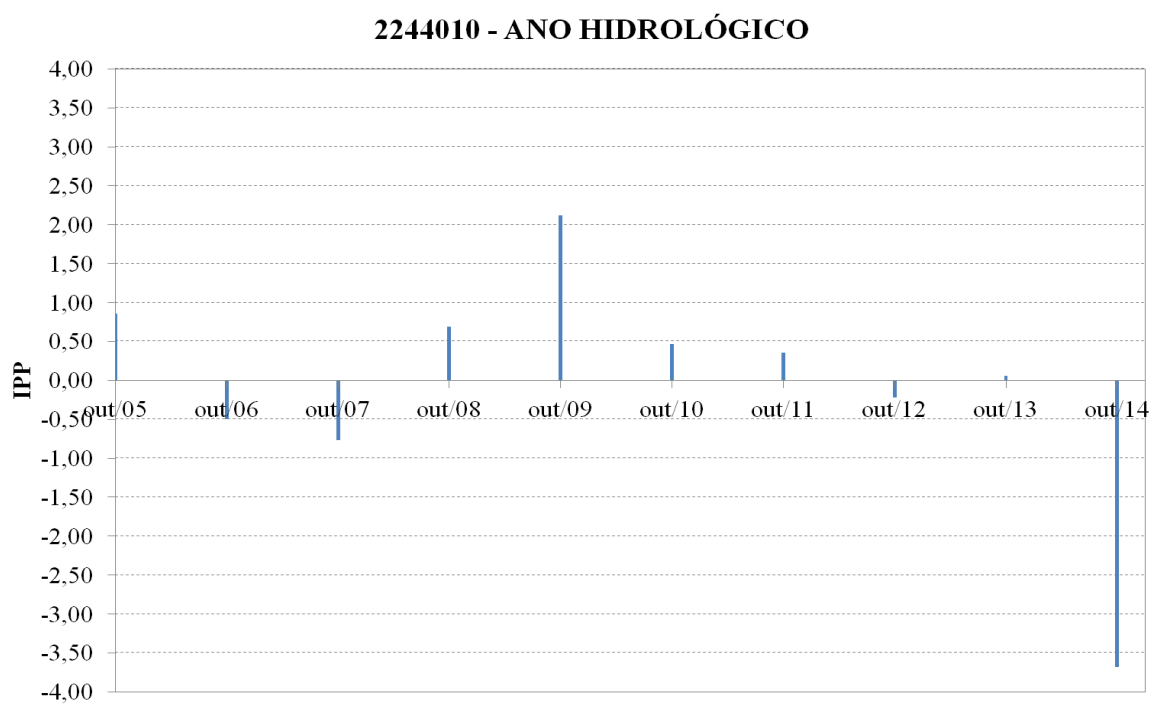
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 89 – IPPs de período úmido, estação 2244010



Fonte: Produção do próprio autor.

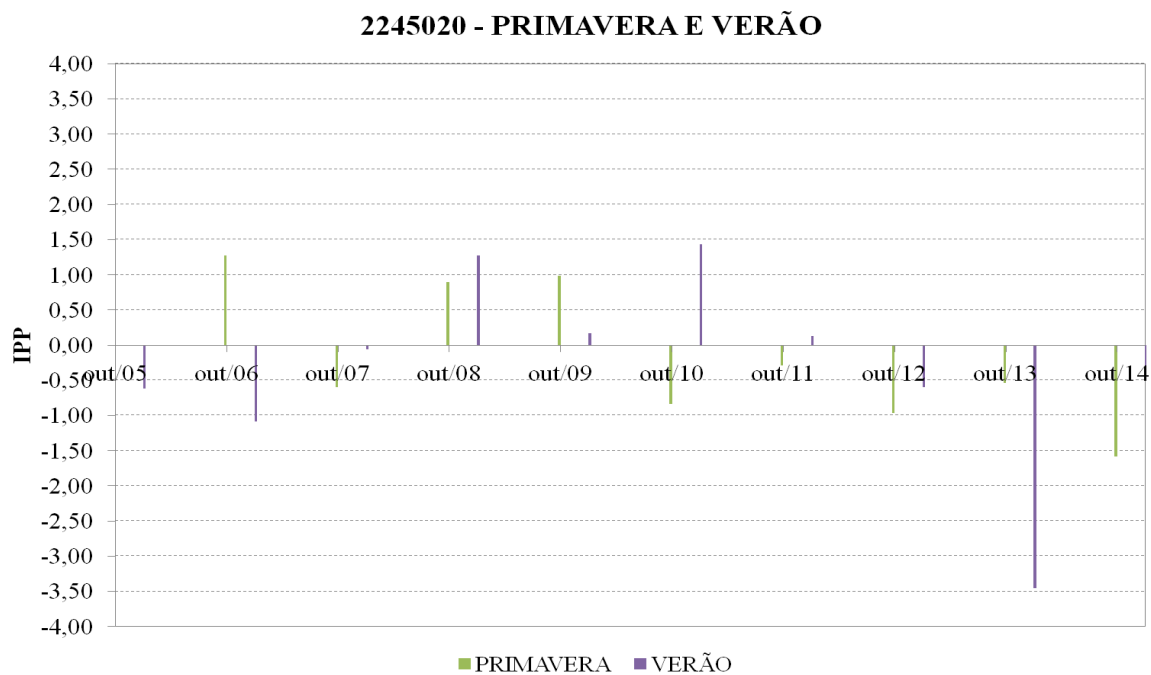
Figura 90 – IPPs de ano hidrológico, estação 2244010



Fonte: Produção do próprio autor.

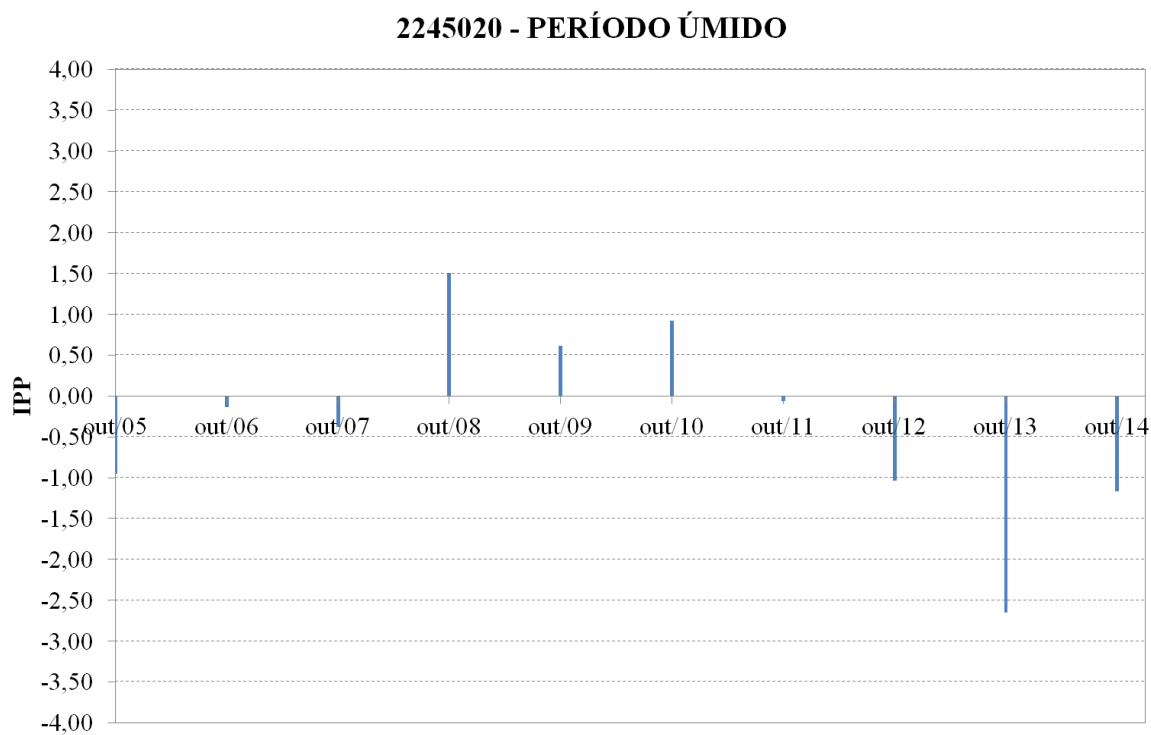


Figura 91 – IPPs de primavera e verão, estação 2244020



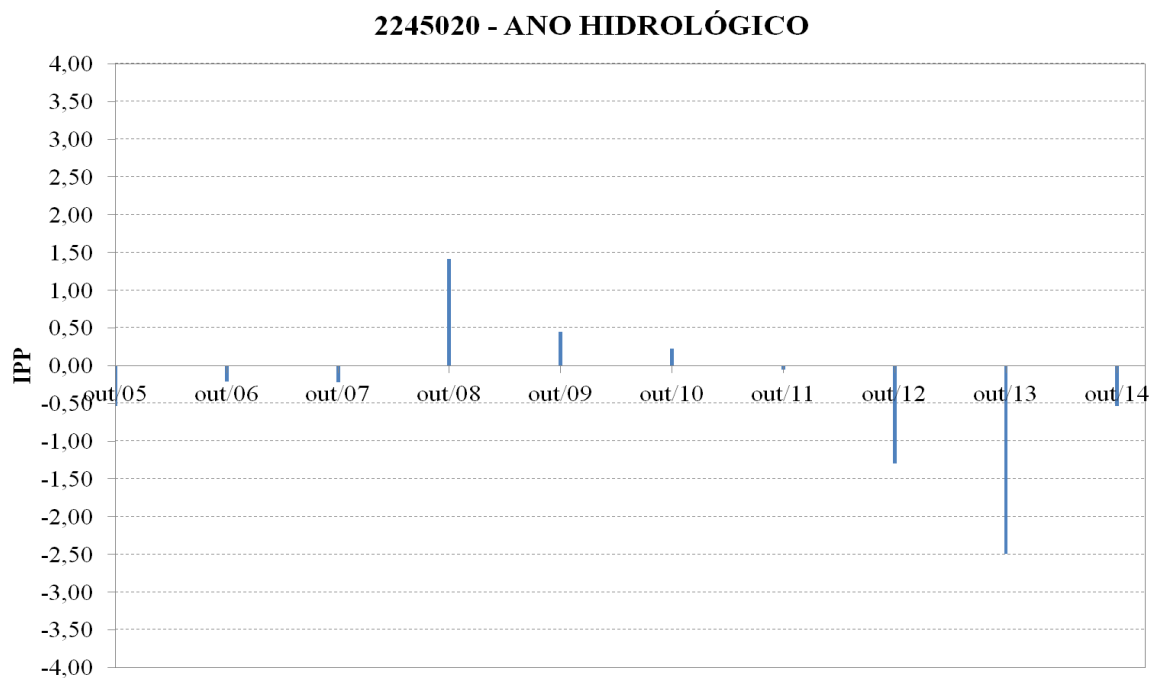
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 92 – IPPs de período úmido, estação 2245020



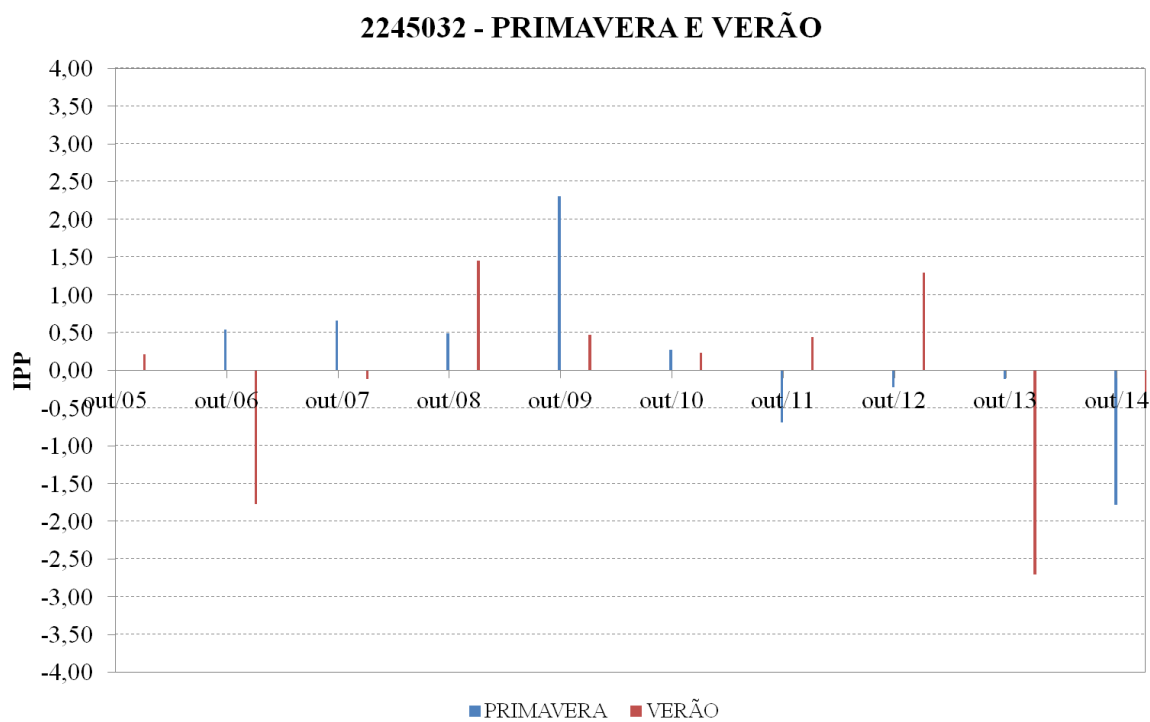
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 93 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245020



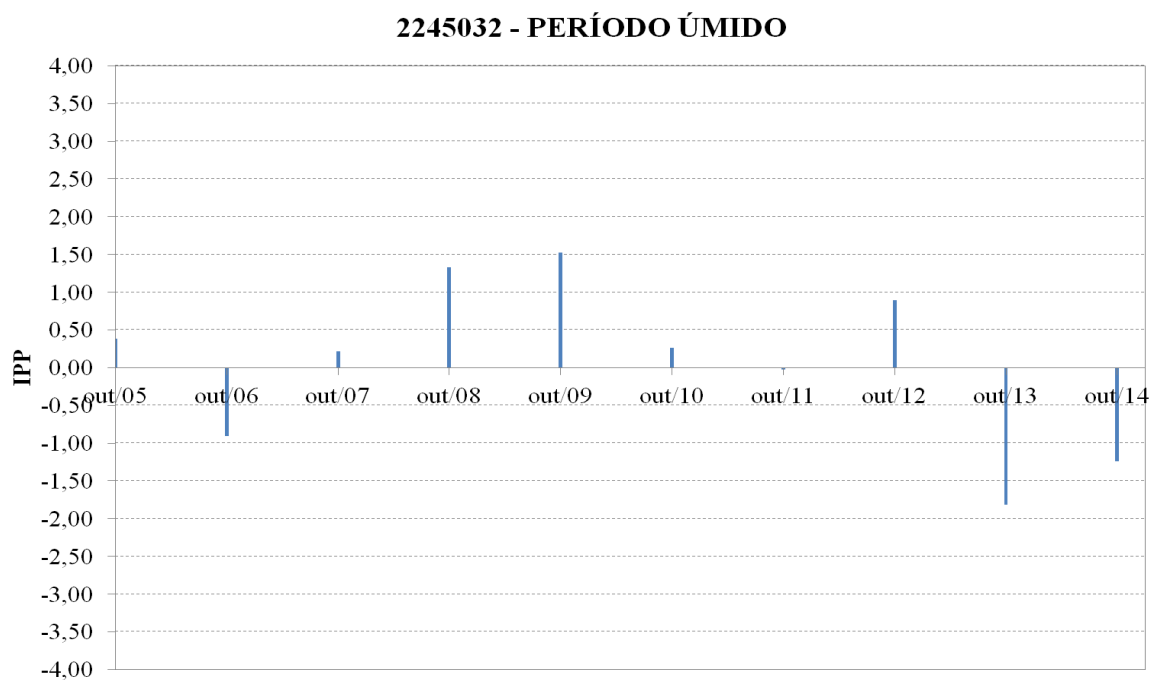
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 94 – IPPs de primavera e verão, estação 2245032



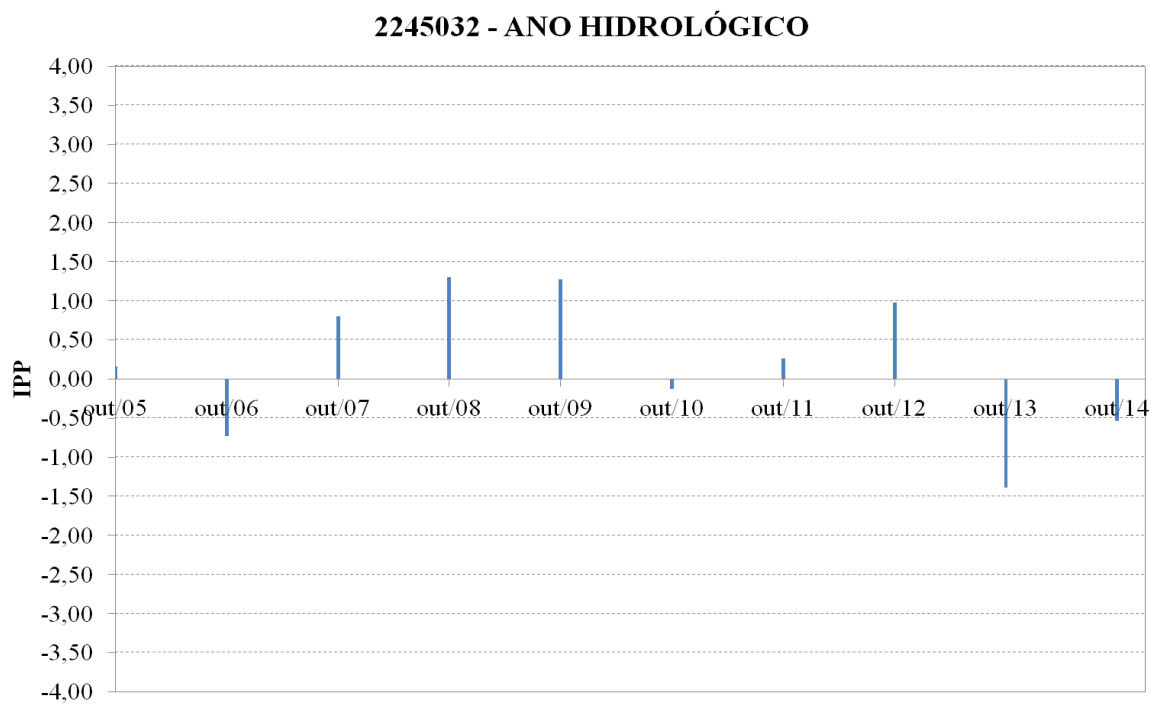
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 95 – IPPs de período úmido, estação 2245032



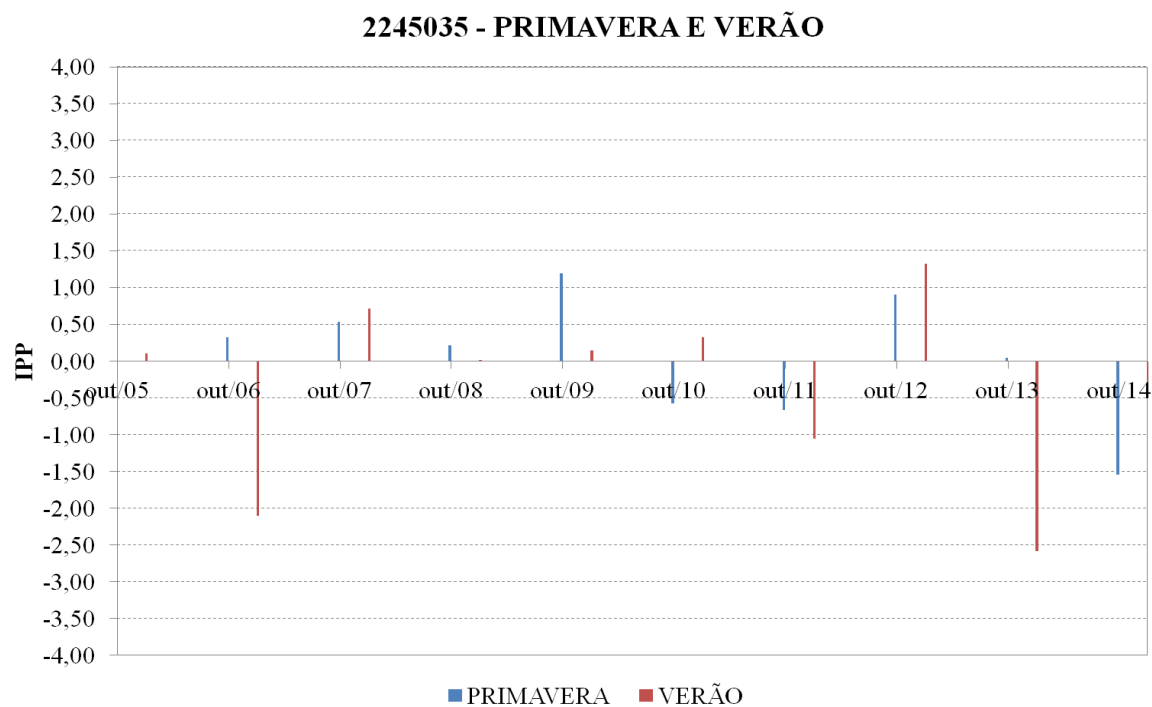
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 96 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245032



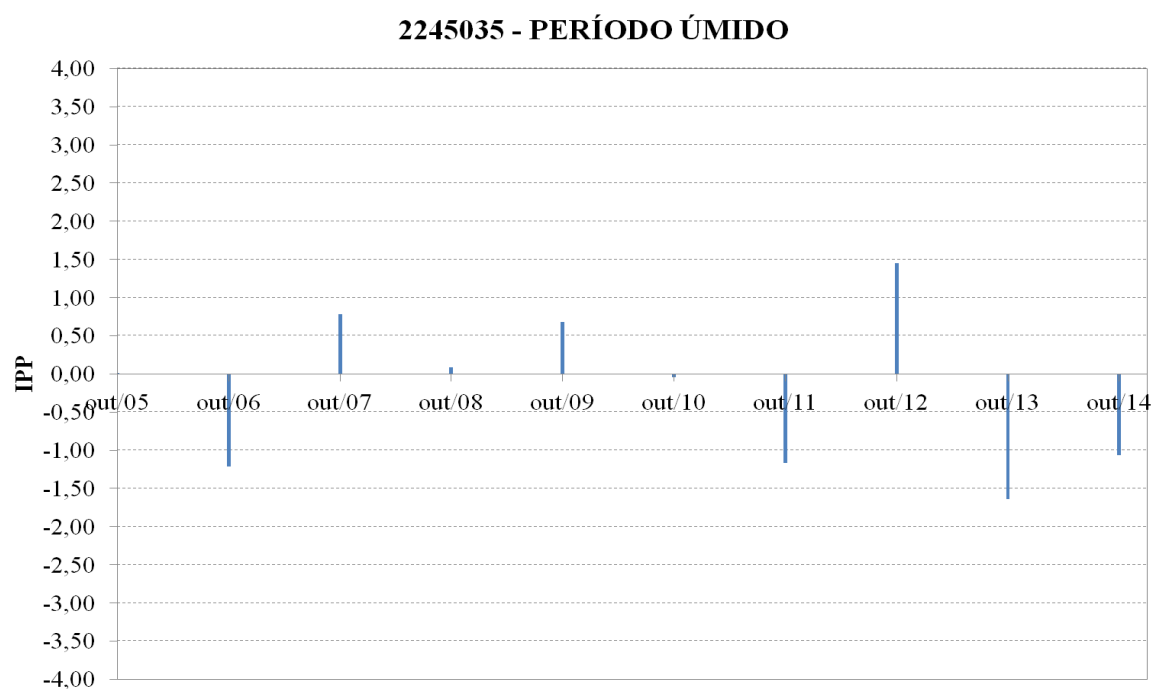
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 97 – IPPs de primavera e verão, estação 2245035



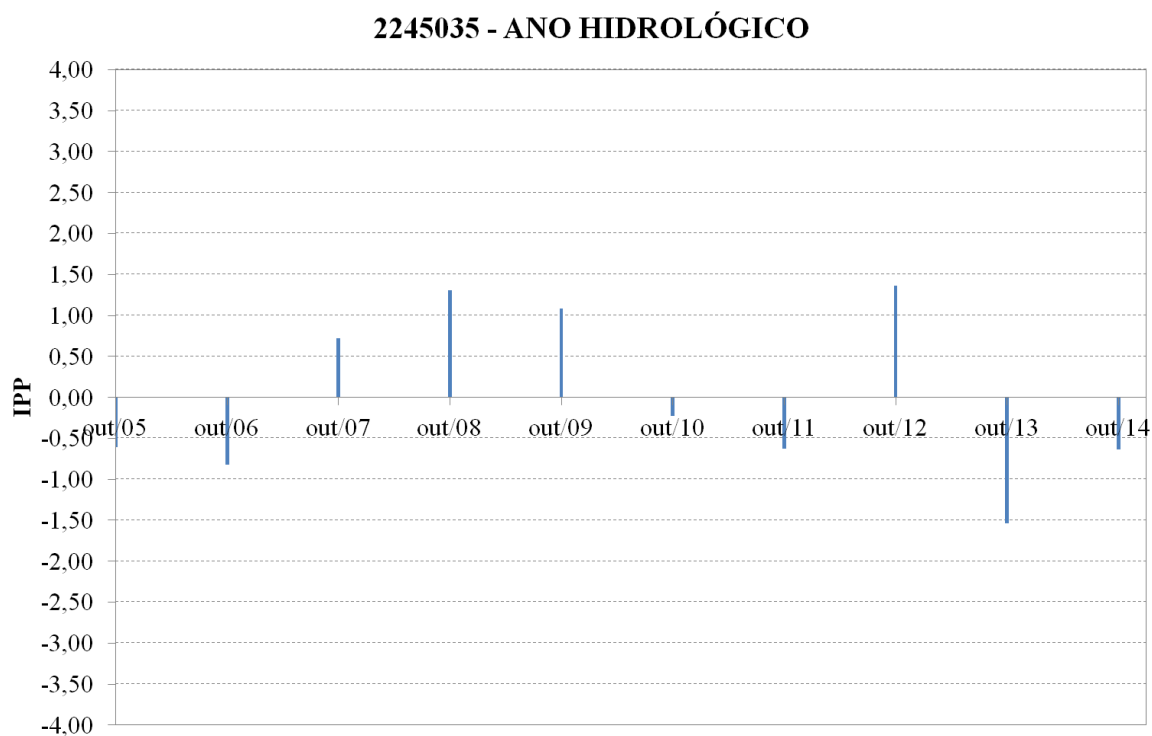
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 98 – IPPs de período úmido, estação 2245035



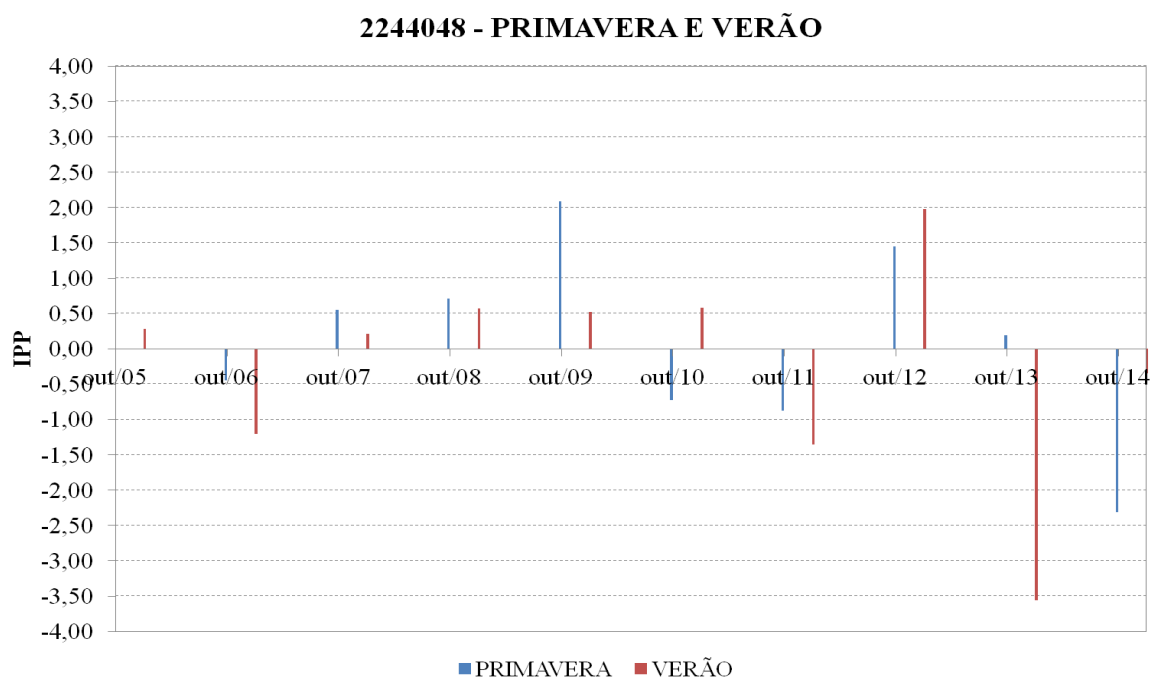
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 99 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245035



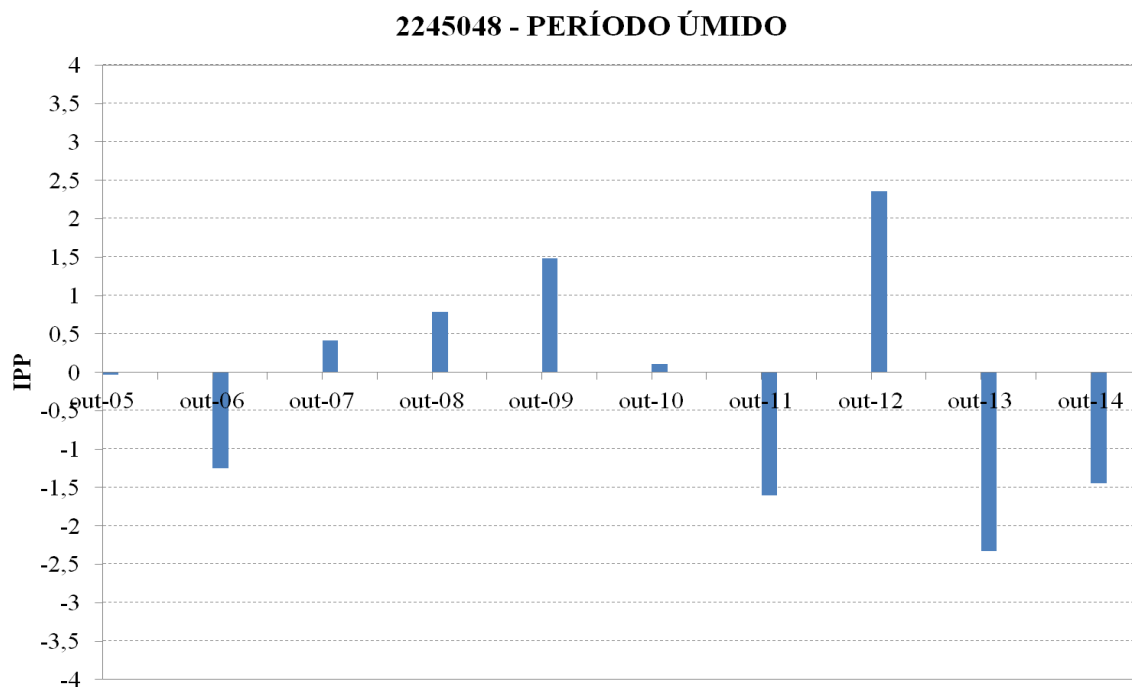
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 100 – IPPs de primavera e verão, estação 2244048



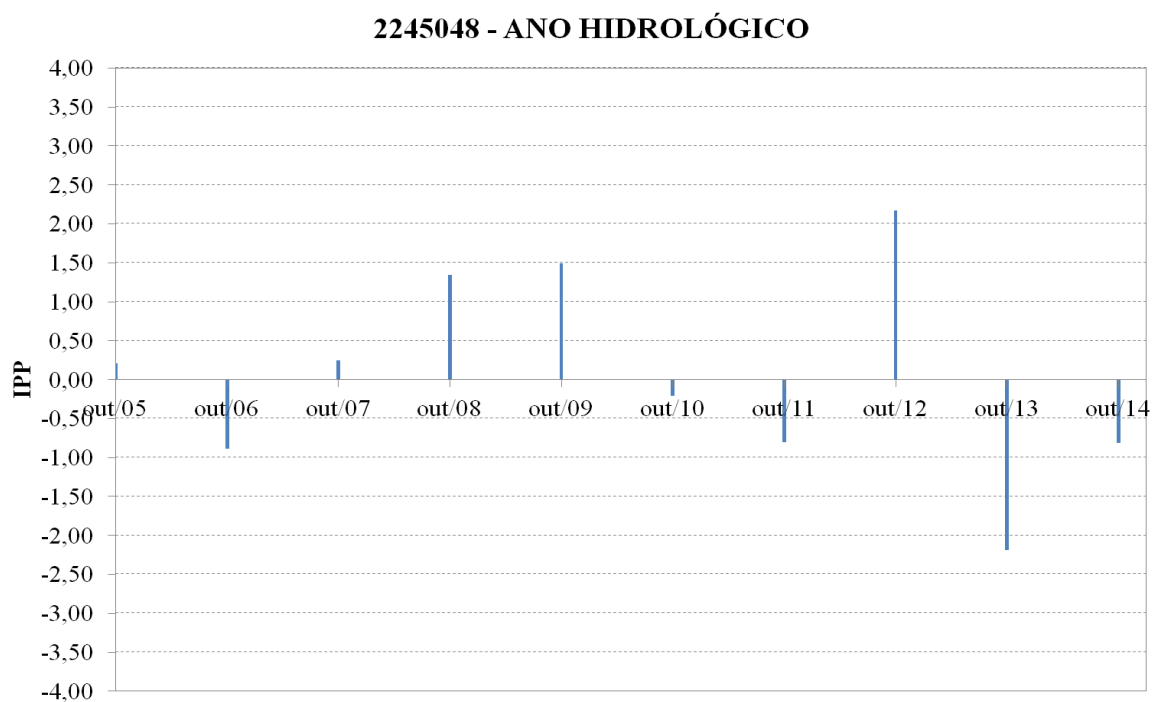
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 101 – IPPs de período úmido, estação 2245048



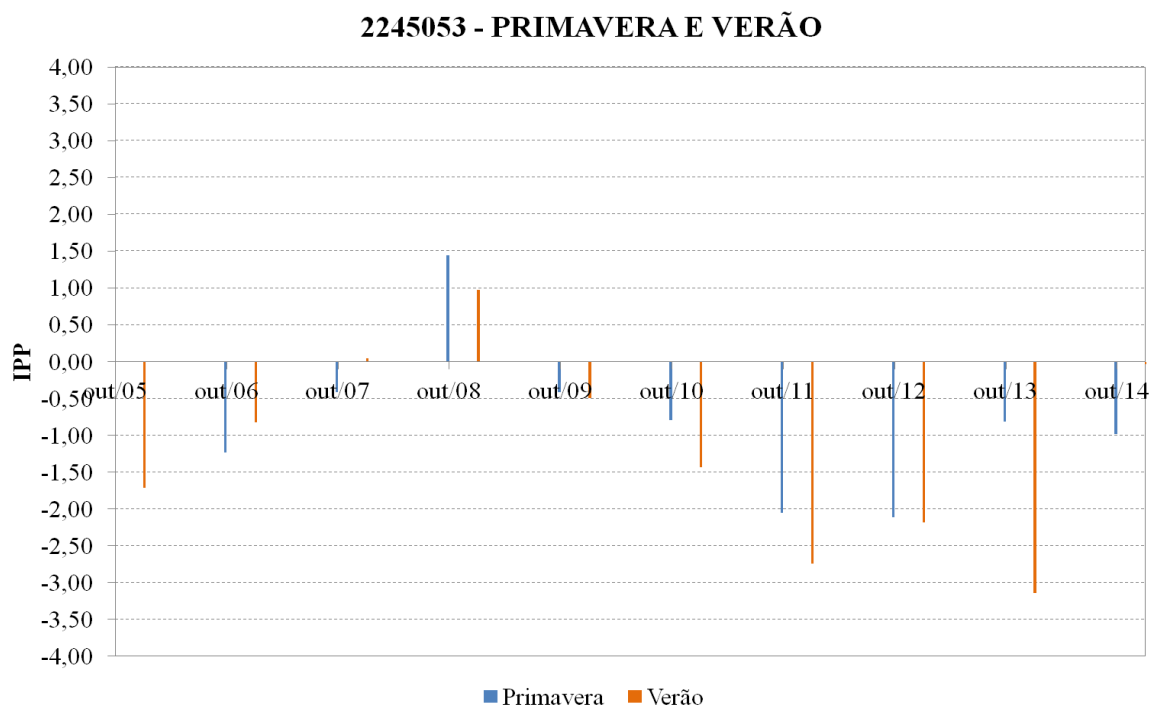
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 102 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245048



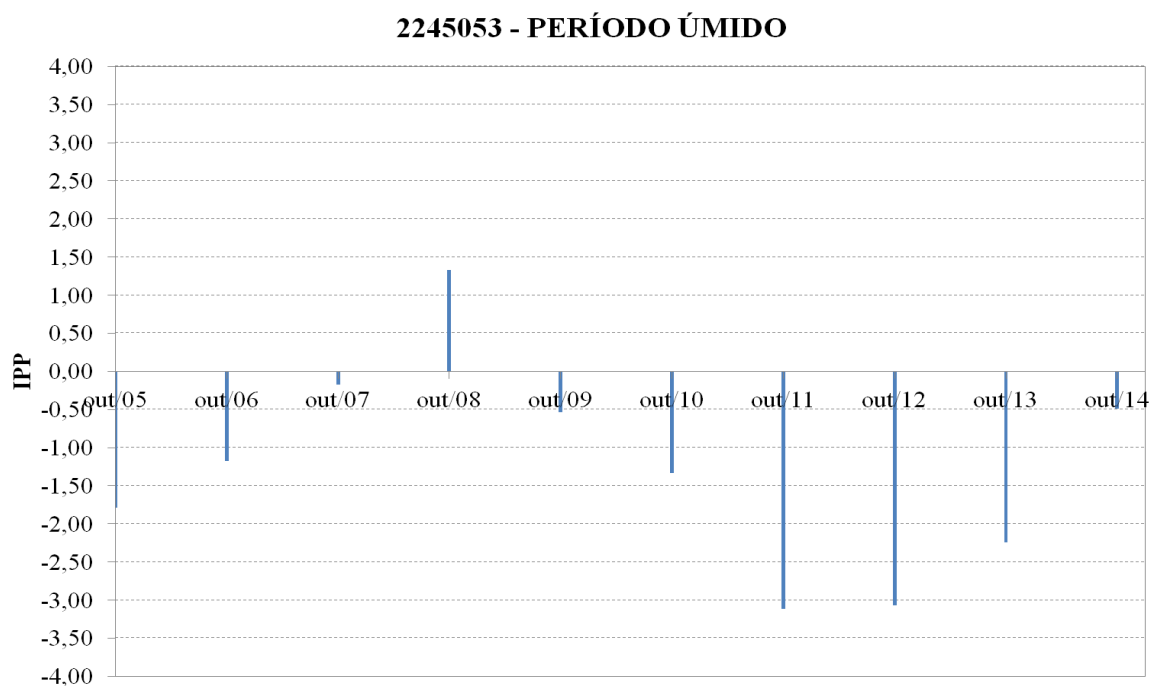
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 103 – IPPs de primavera e verão, estação 2245053



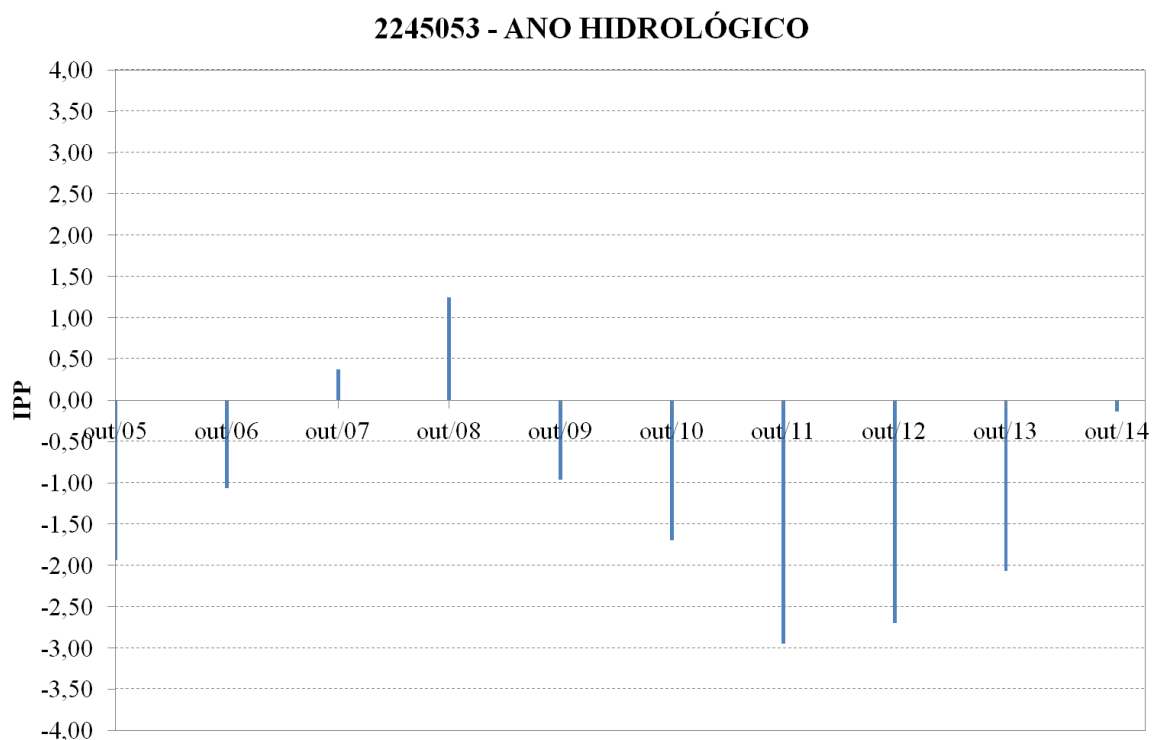
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 104 – IPPs de período úmido, estação 2245053



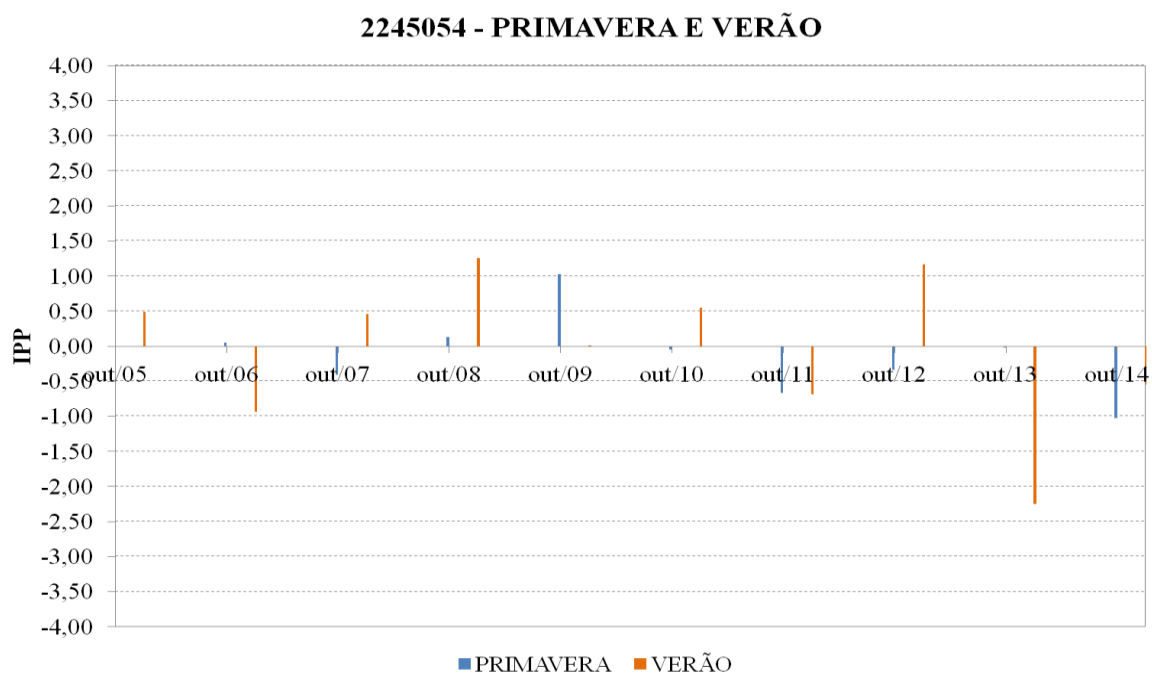
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 105 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245053



Fonte: Produção do próprio autor.

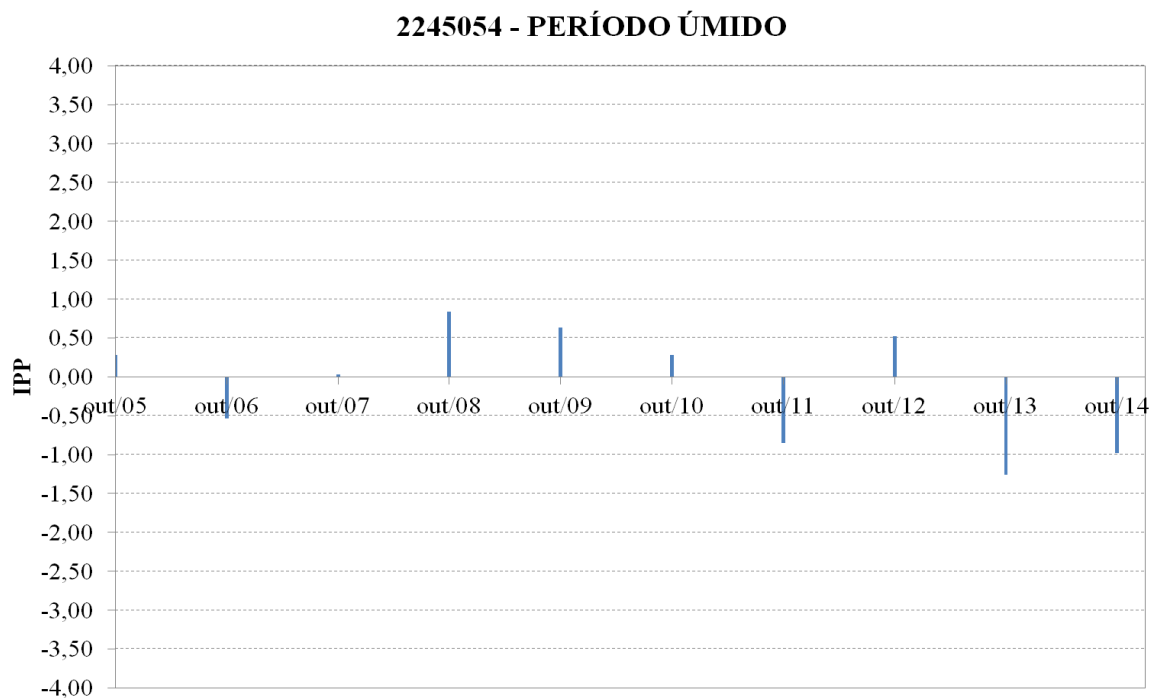
Figura 106 – IPPs de primavera e verão, estação 2245054



Fonte: Produção do próprio autor.

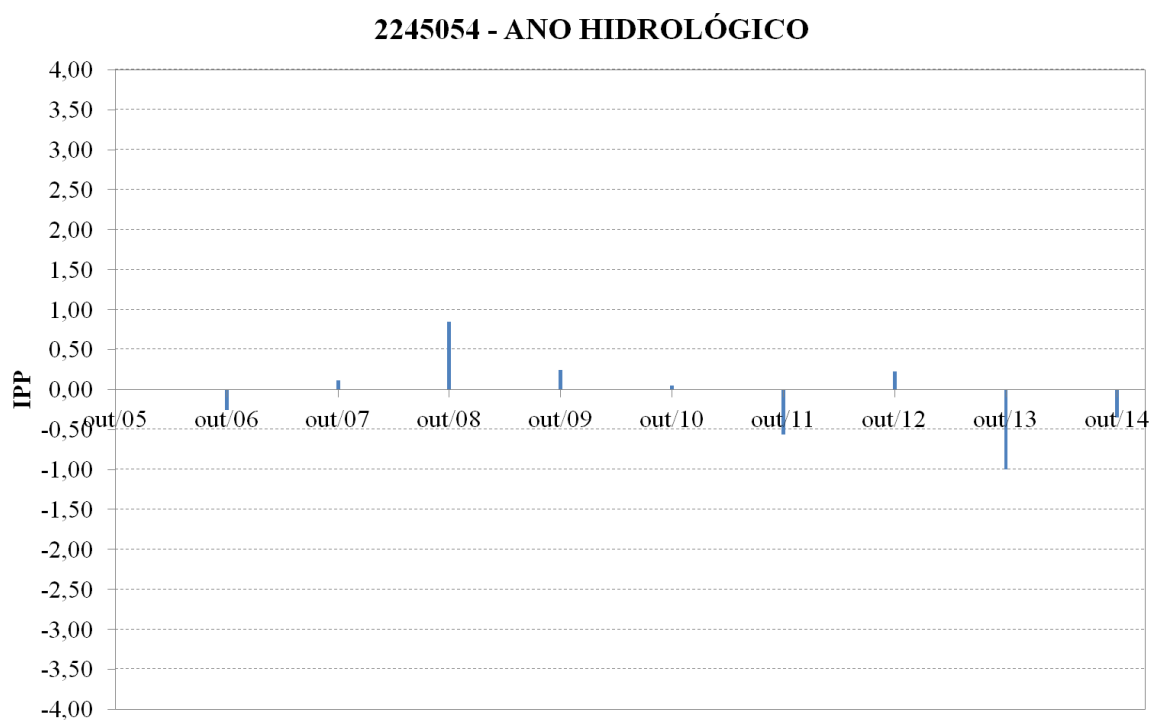


Figura 107 – IPPs de período úmido, estação 2245054



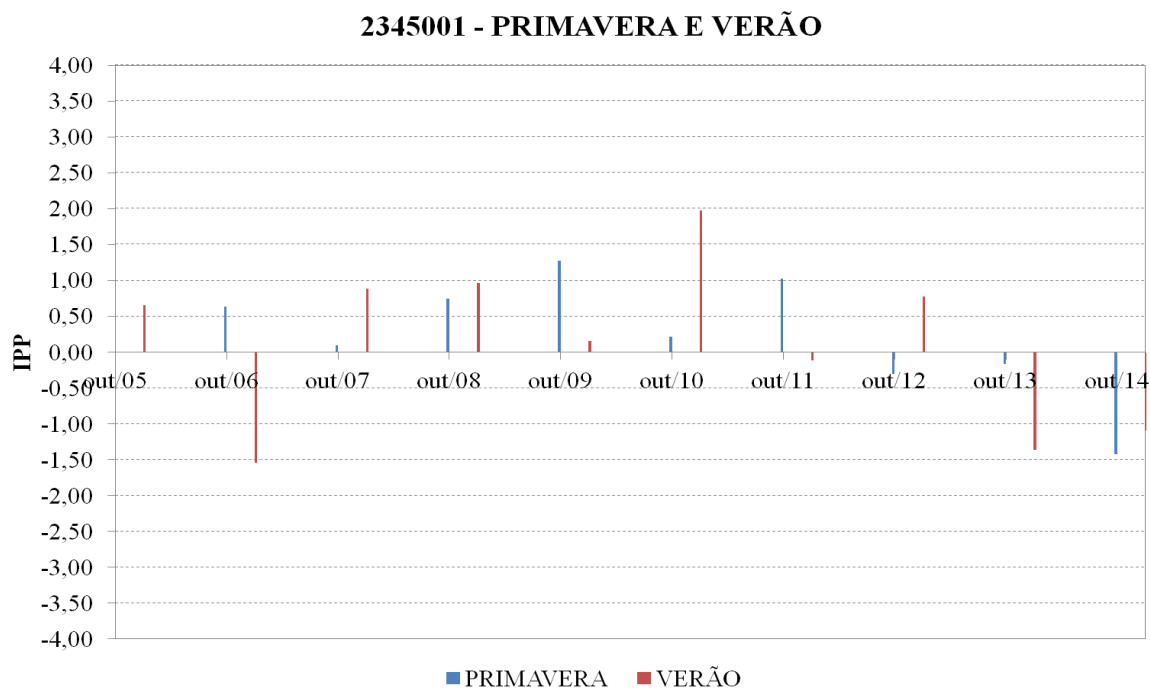
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 108 – IPPs de ano hidrológico, estação 2245054



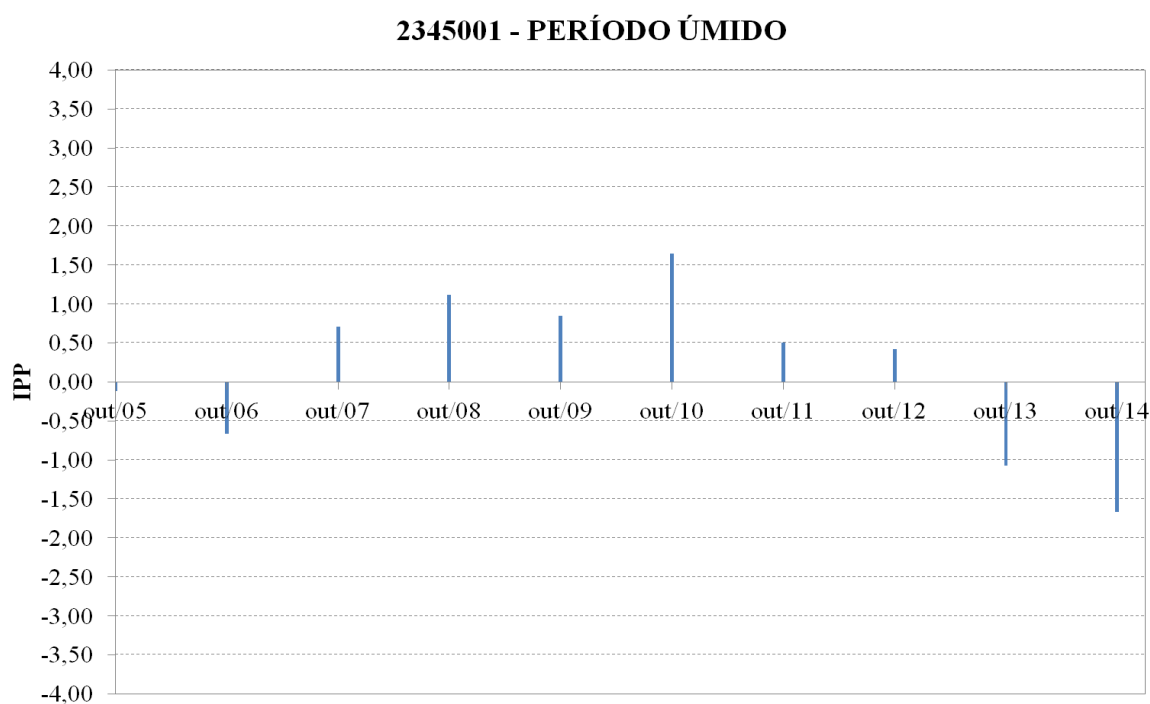
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 109 – IPPs de primavera e verão, estação 2345001



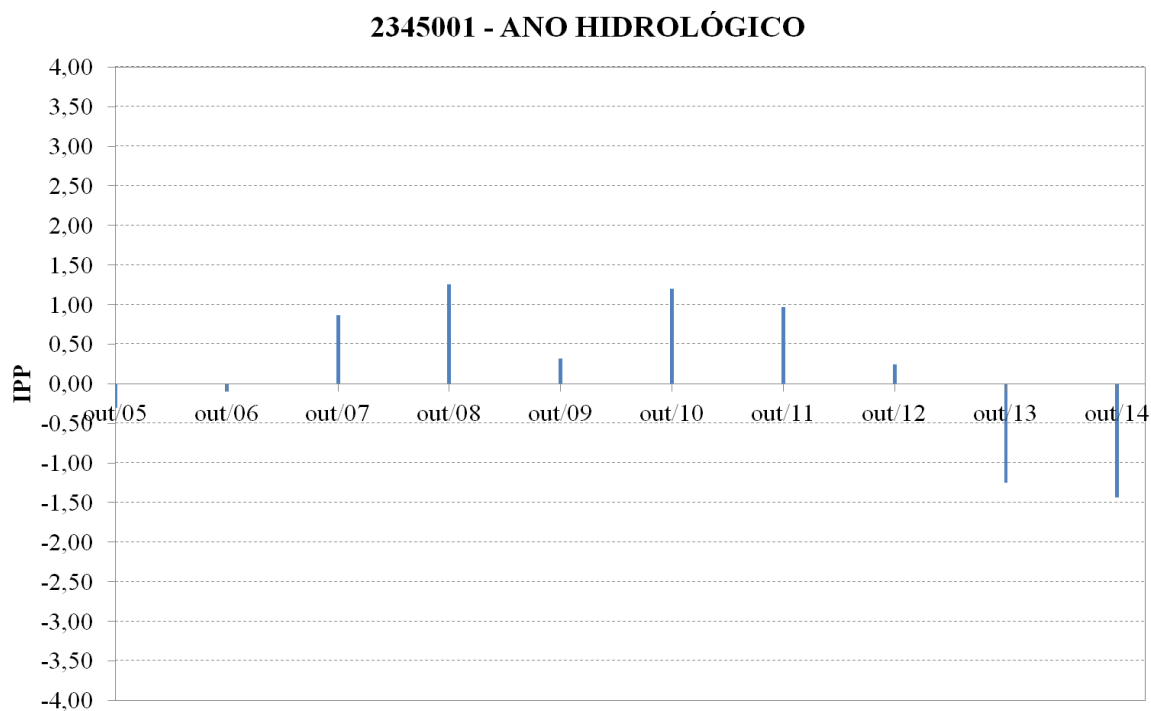
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 110 – IPPs de período úmido, estação 2345001



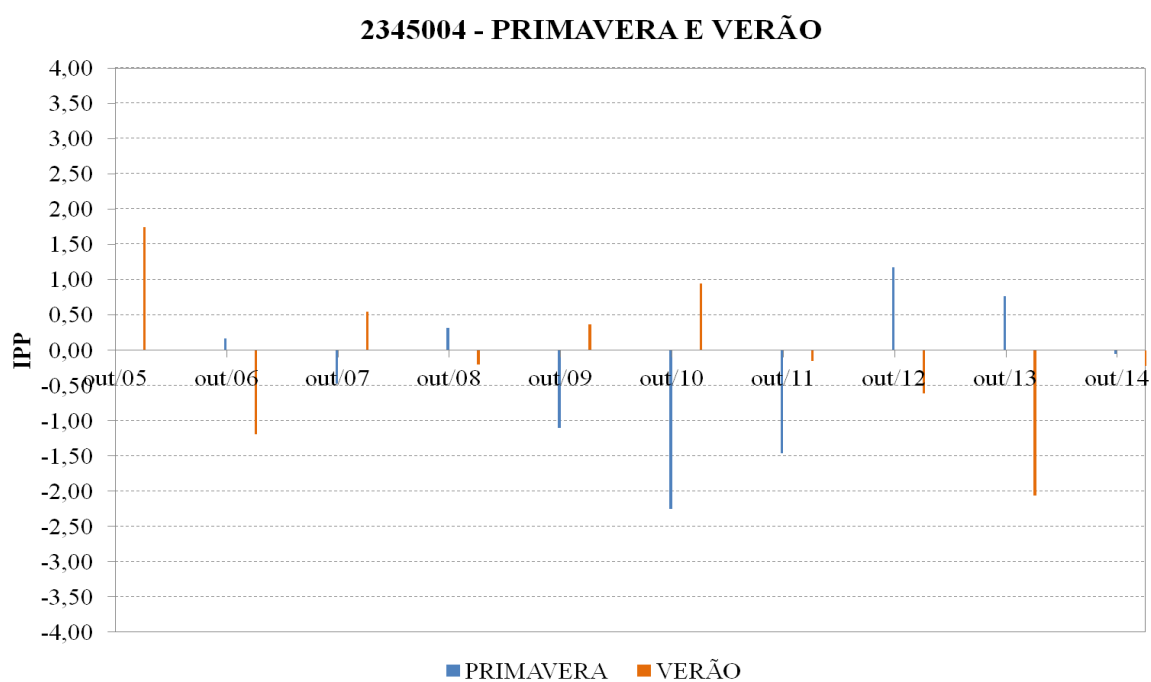
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 111 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345001



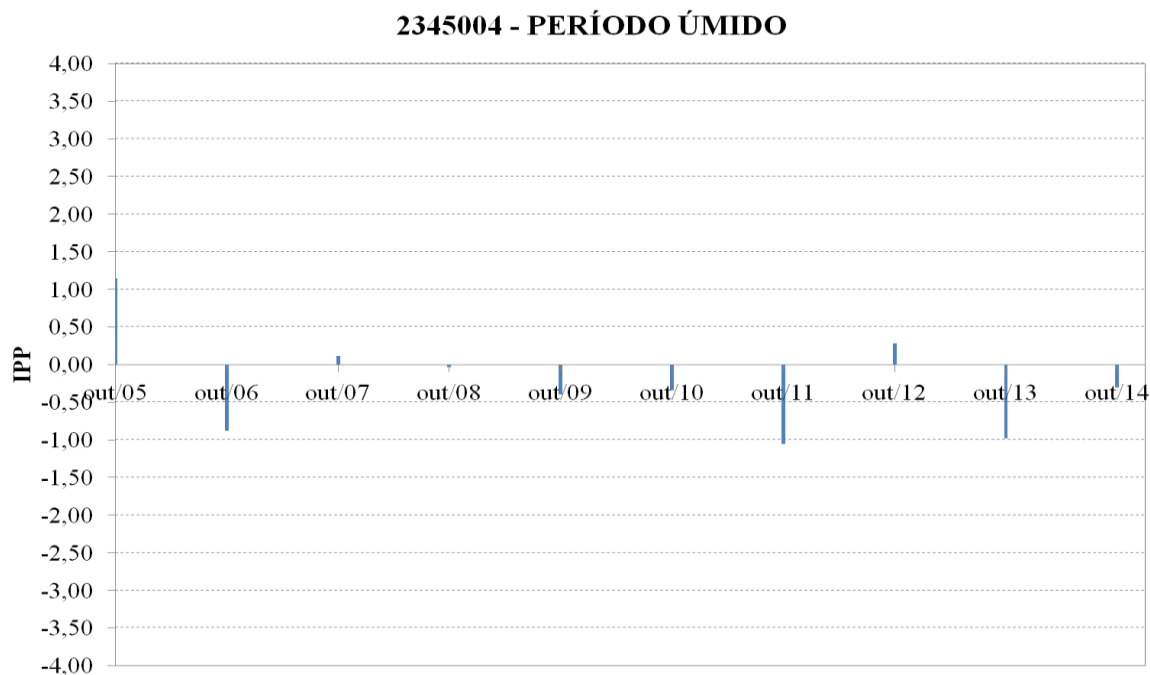
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 112 – IPPs de primavera e verão, estação 2345004



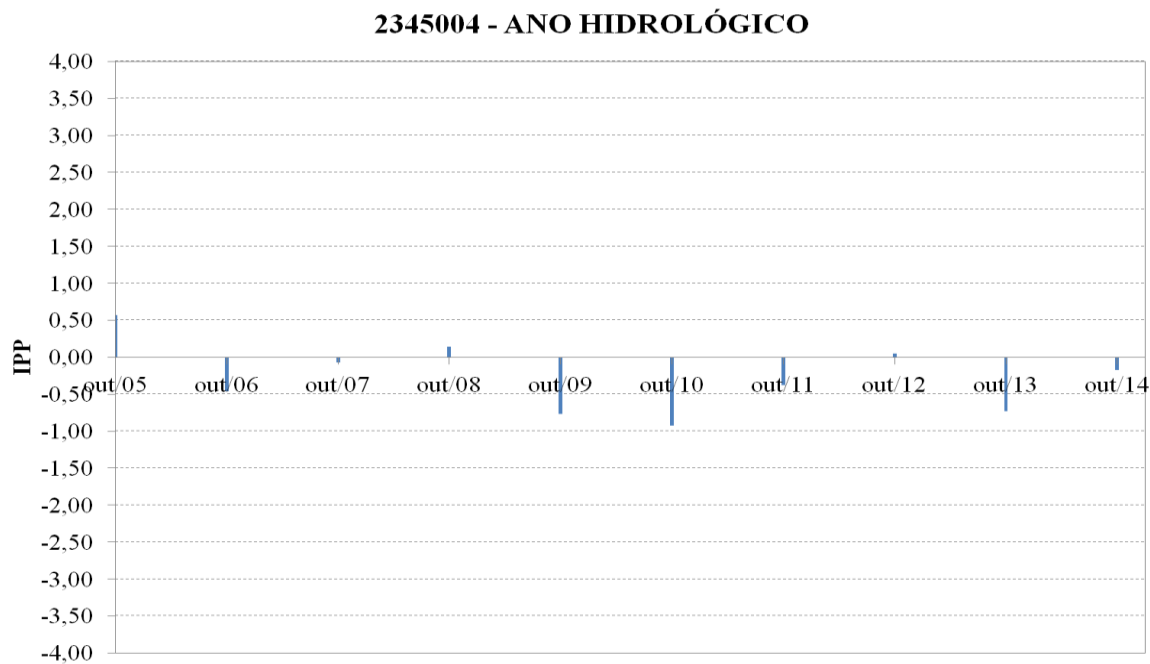
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 113 – IPPs de período úmido, estação 2345004



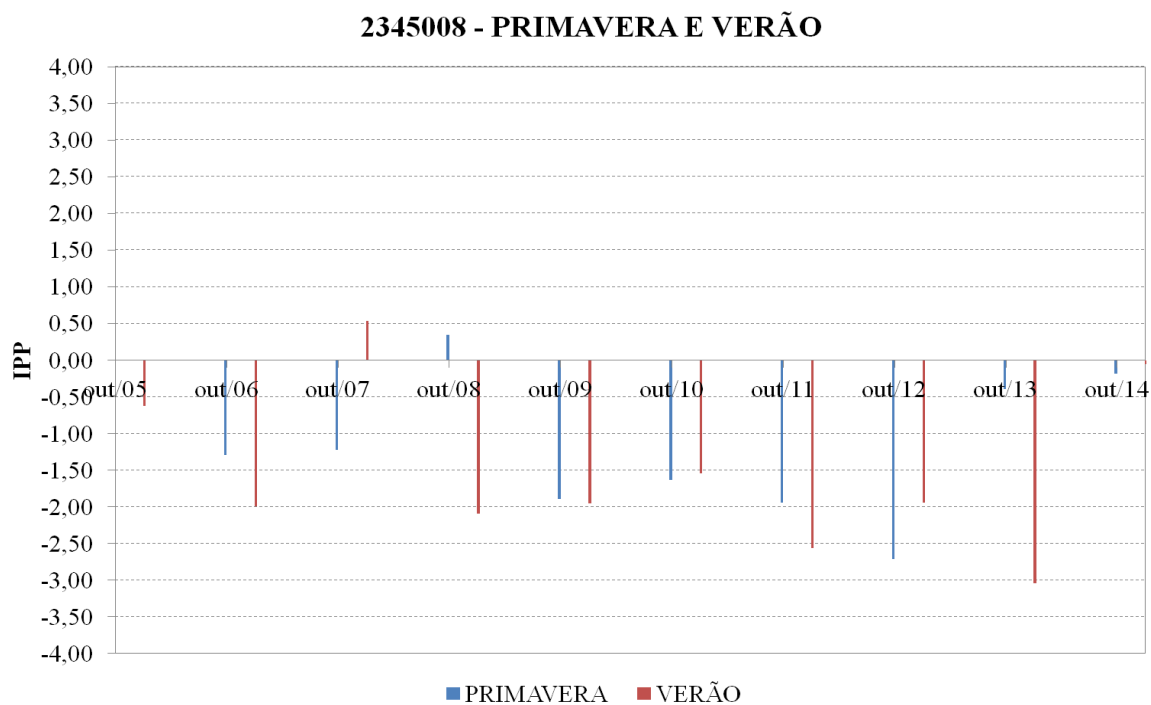
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 114 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345004



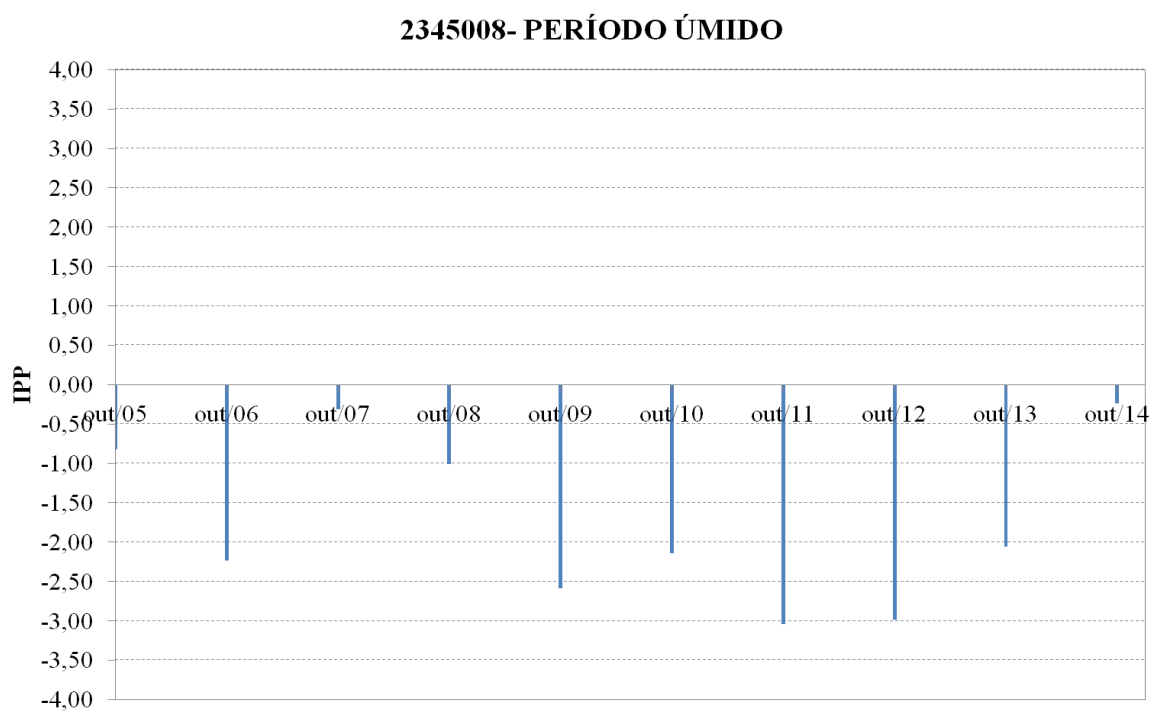
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 115 – IPPs de primavera e verão, estação 2345008



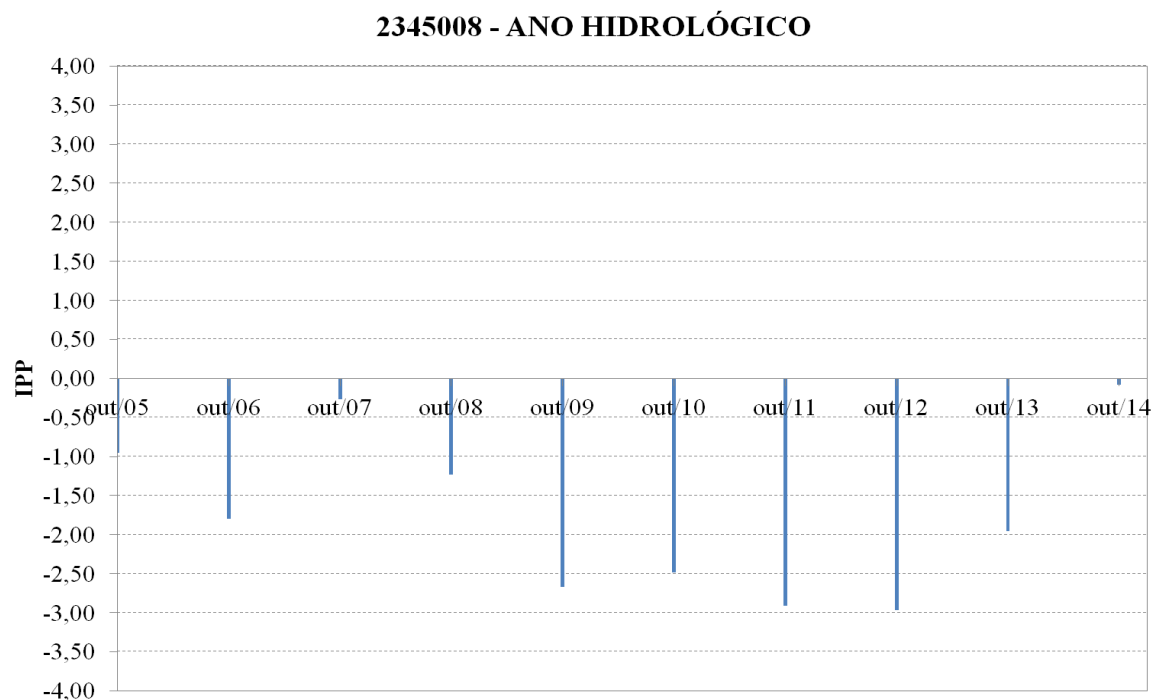
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 116 – IPPs de período úmido, estação 2345008



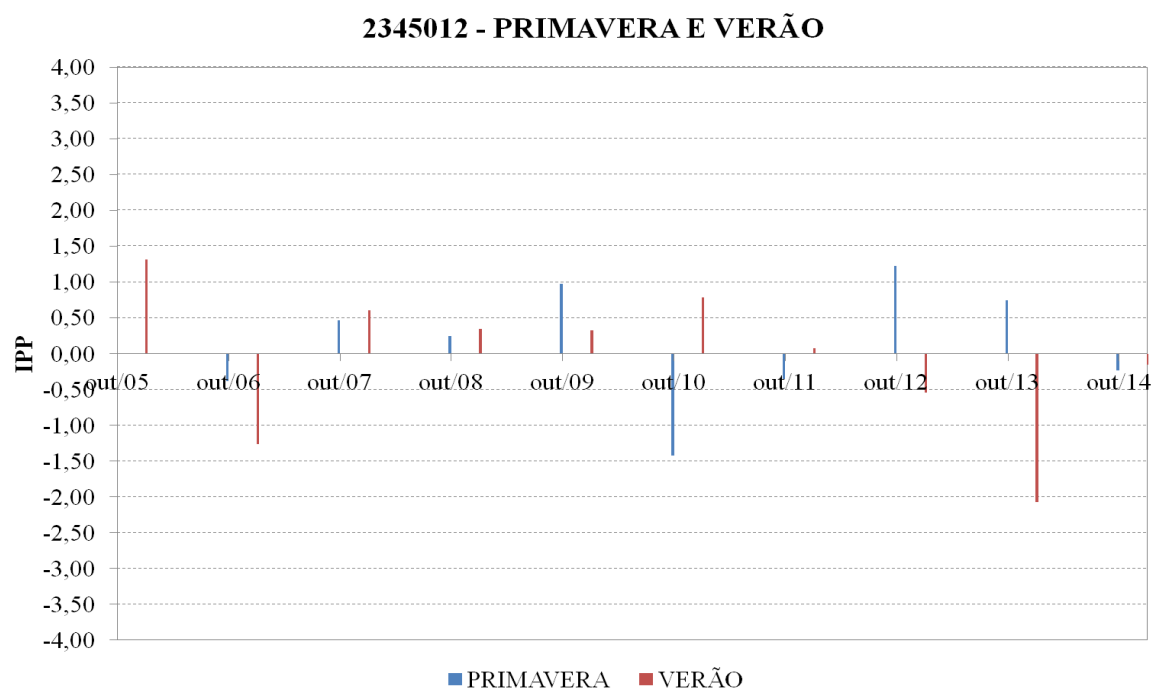
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 117 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345008



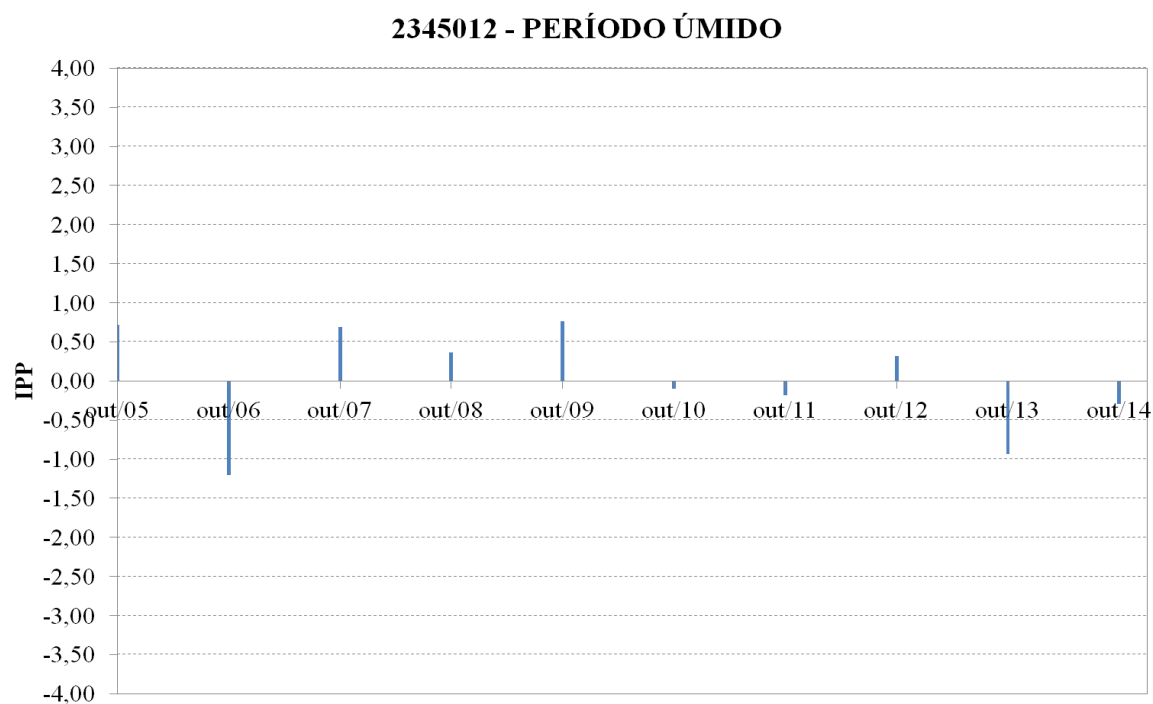
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 118 – IPPs de primavera e verão, estação 2345012



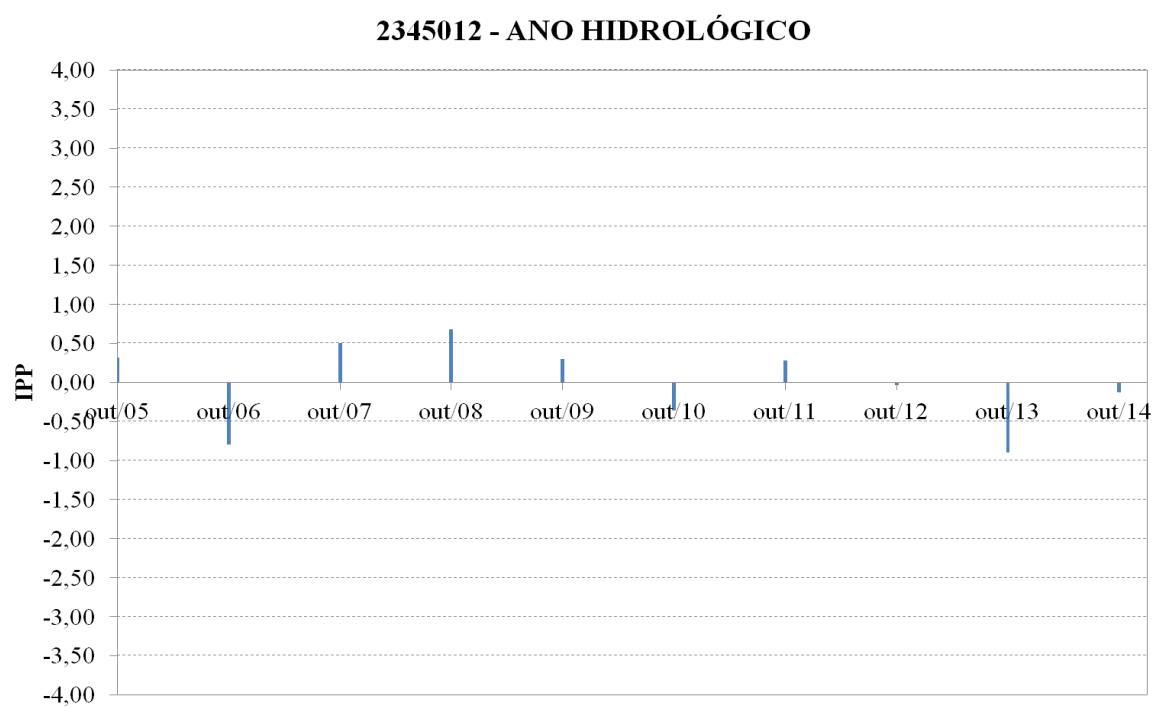
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 119 – IPPs de período úmido, estação 2345012



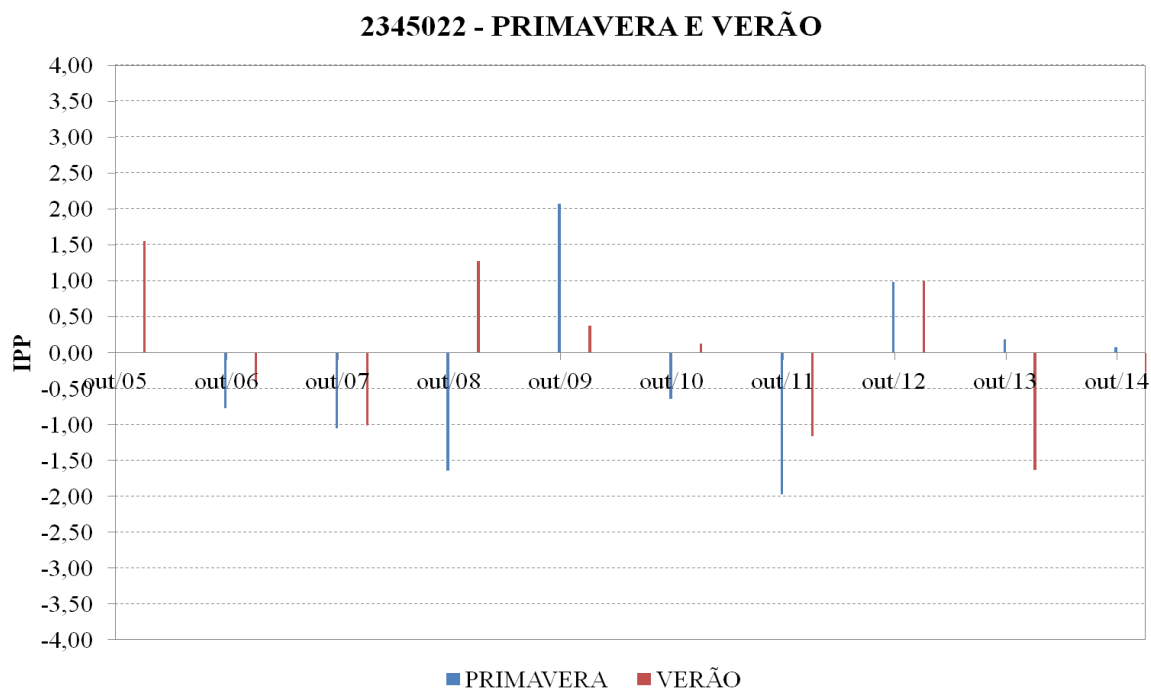
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 120 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345012



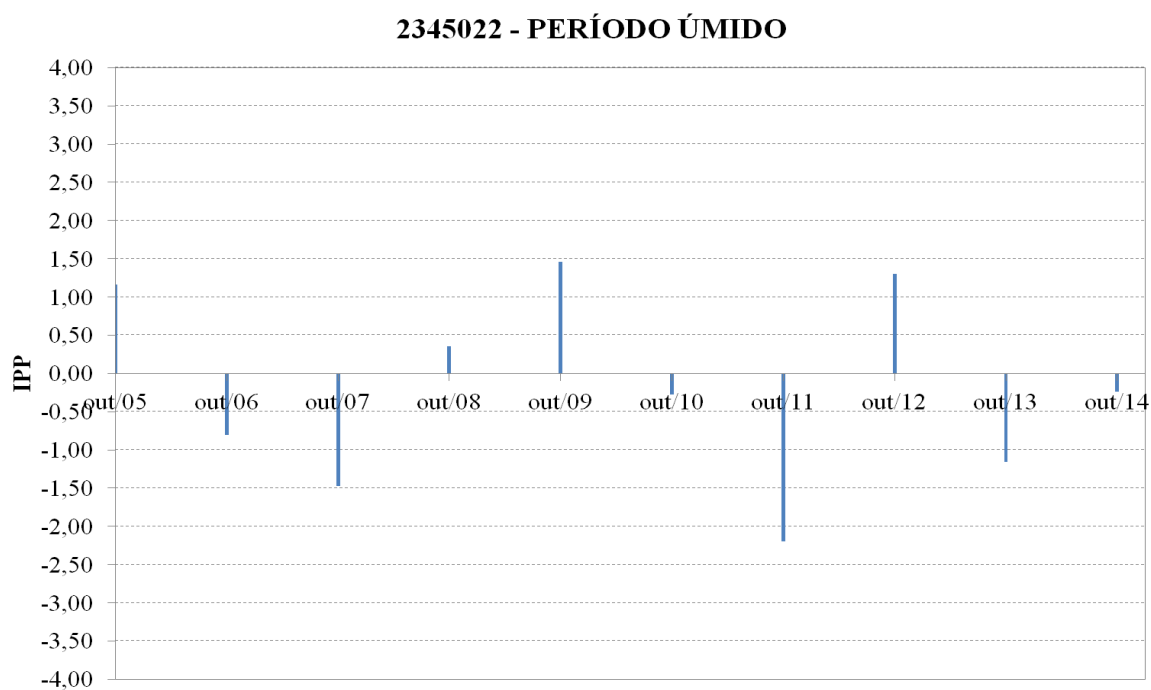
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 121 – IPPs de primavera e verão, estação 2345022



Fonte: Produção do próprio autor.

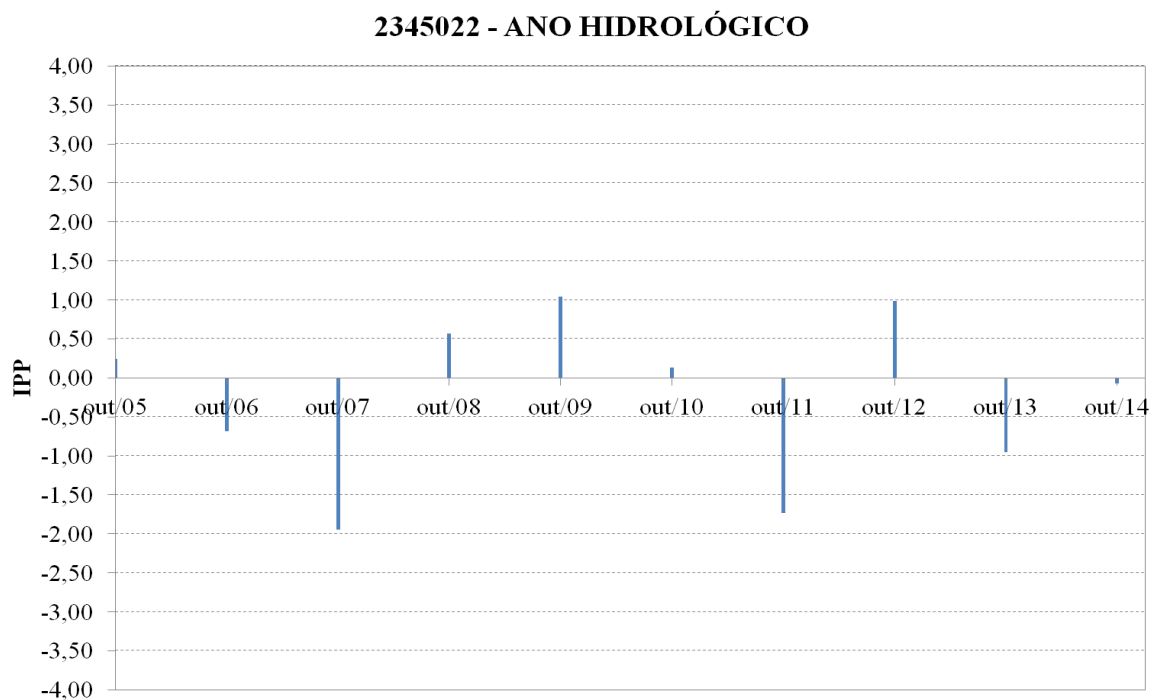
Figura 122 – IPPs de período úmido, estação 2345022



Fonte: Produção do próprio autor.

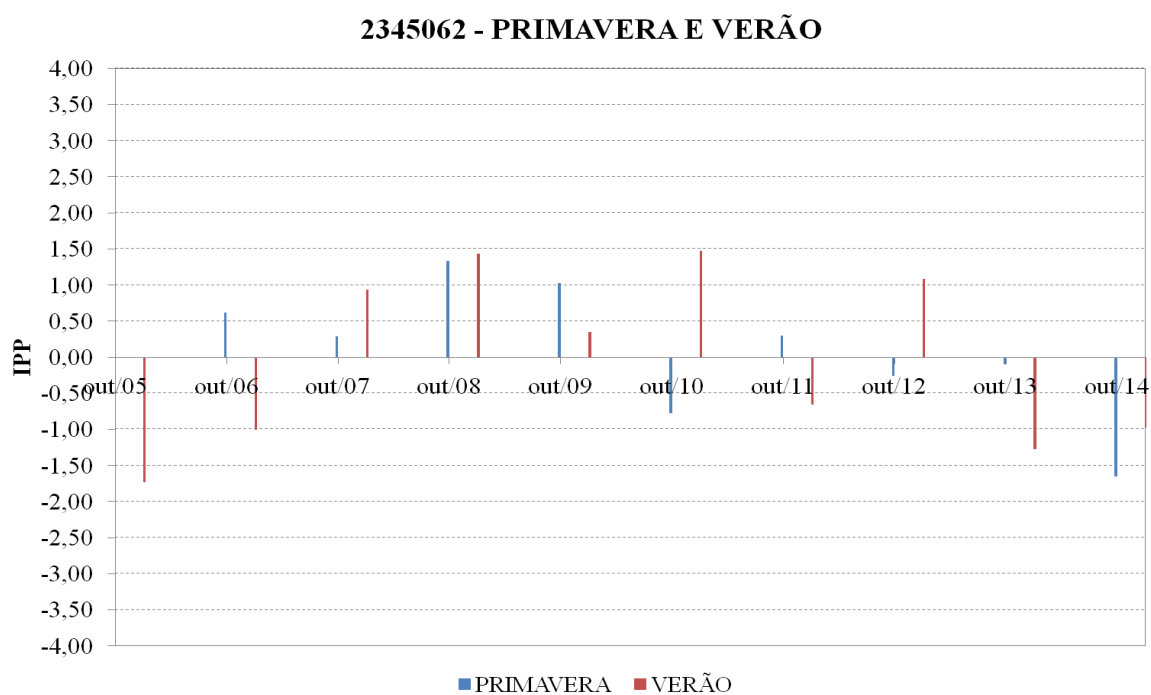


Figura 123 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345022



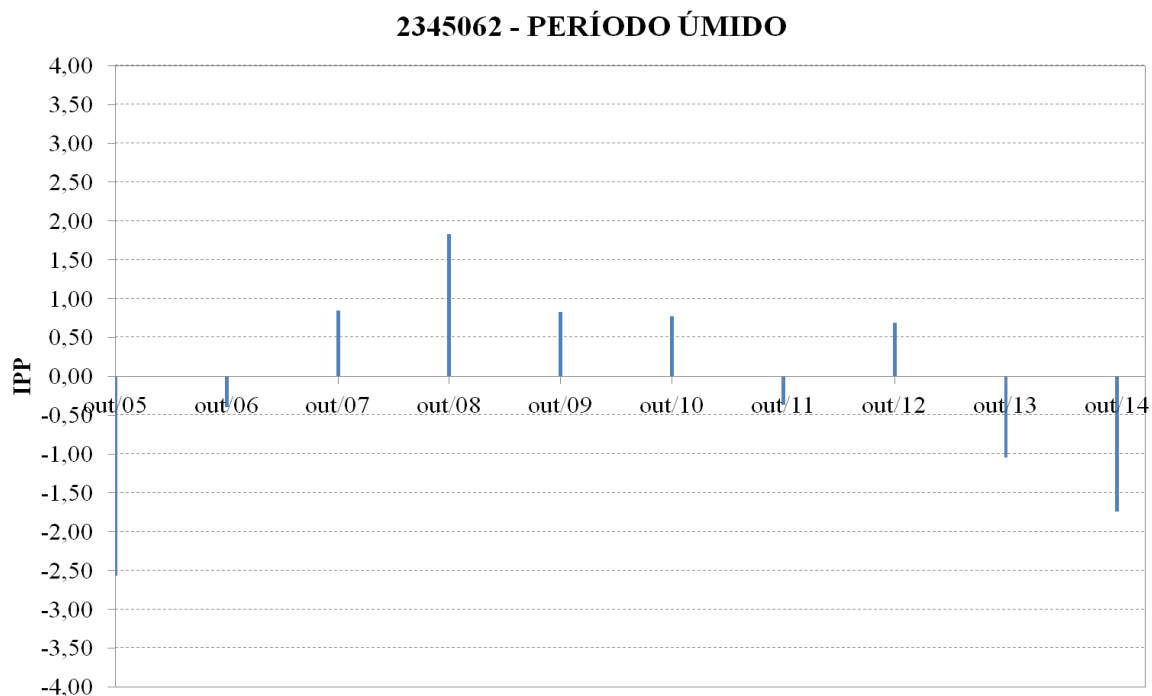
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 124 – IPPs de primavera e verão, estação 2345062



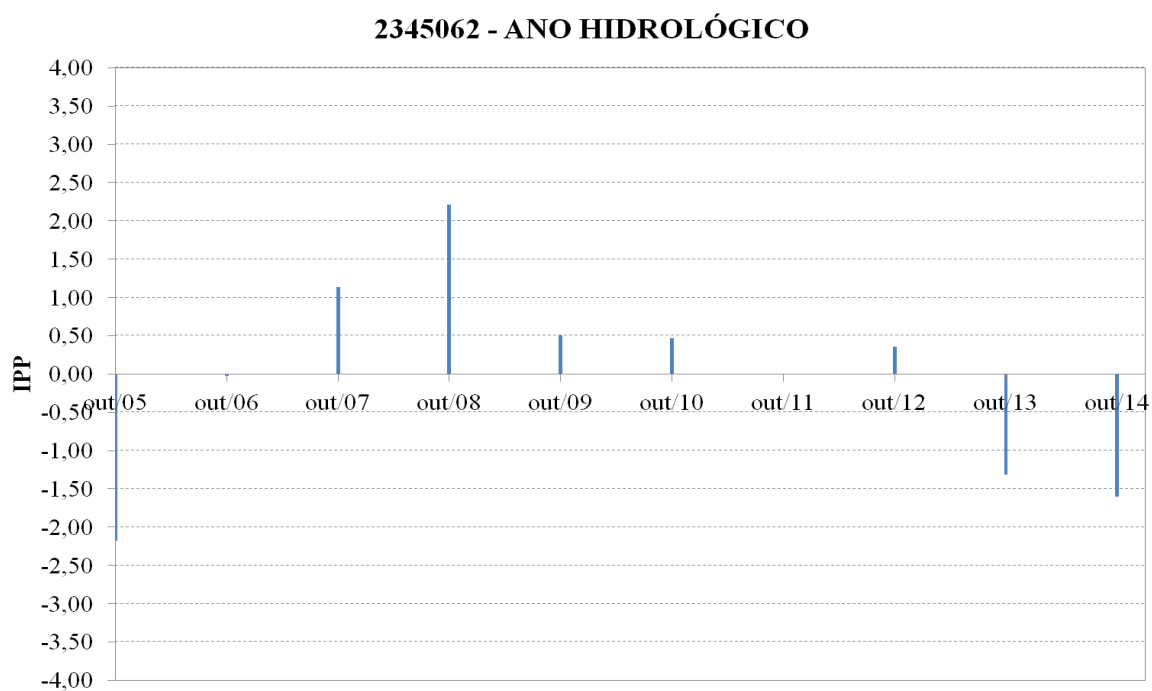
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 125 – IPPs de período úmido, estação 2345062



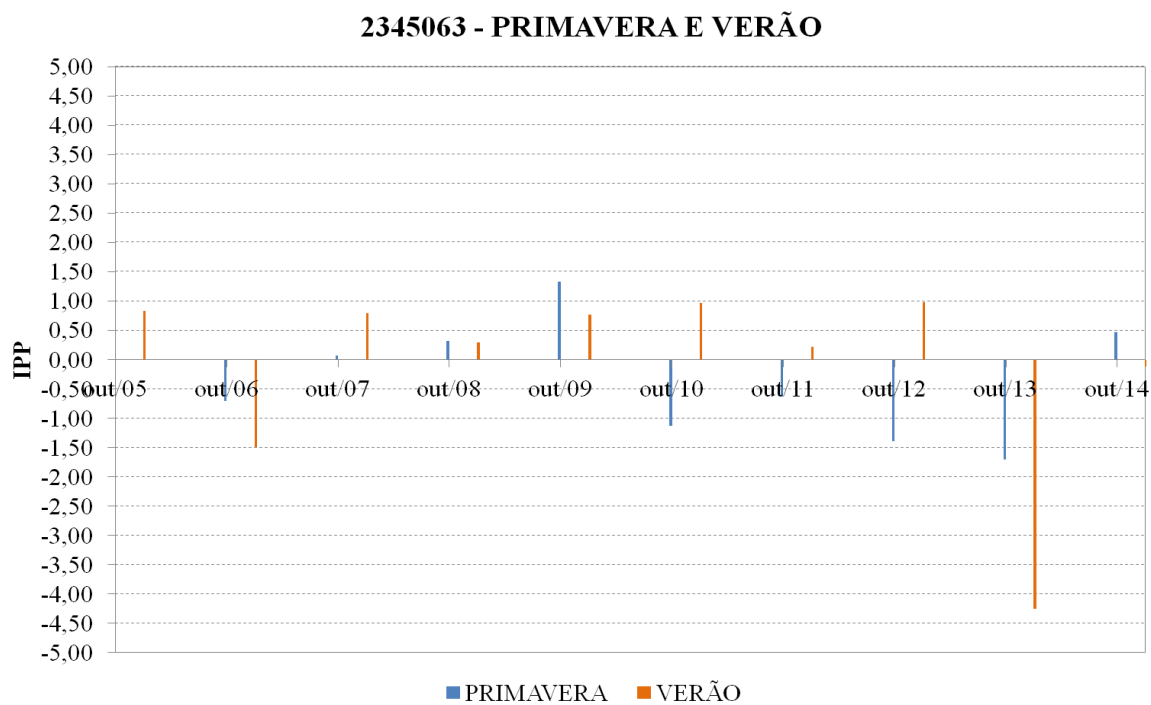
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 126 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345062



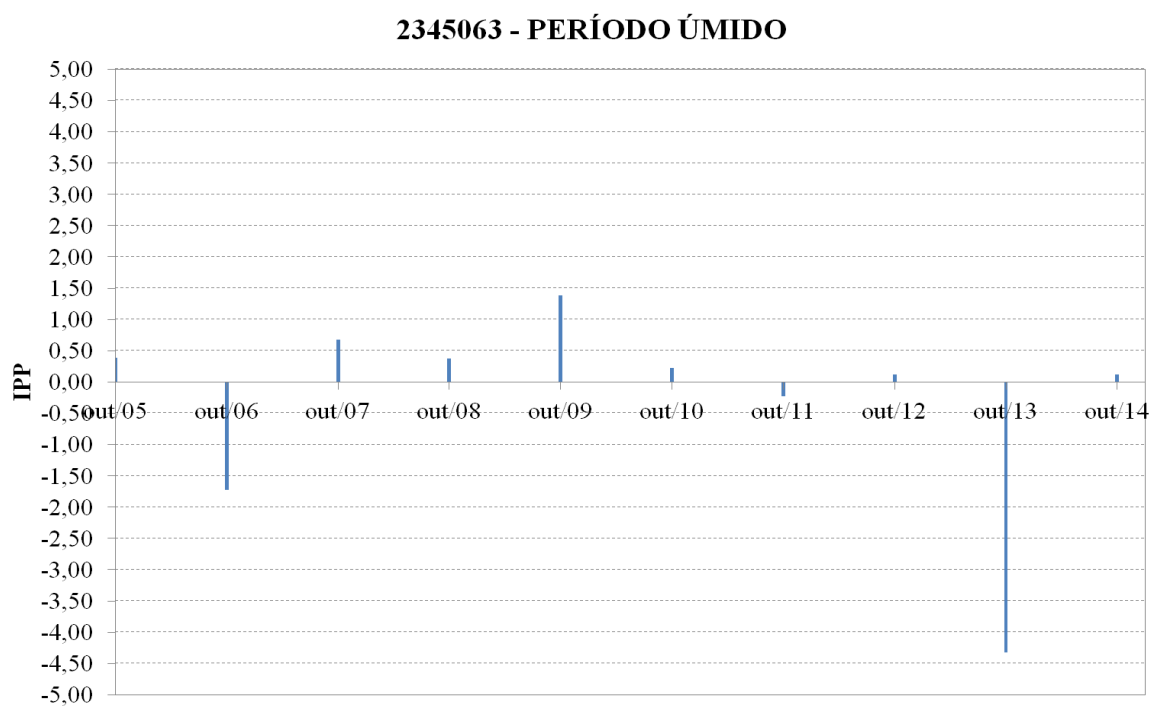
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 127 – IPPs de primavera e verão, estação 2345063



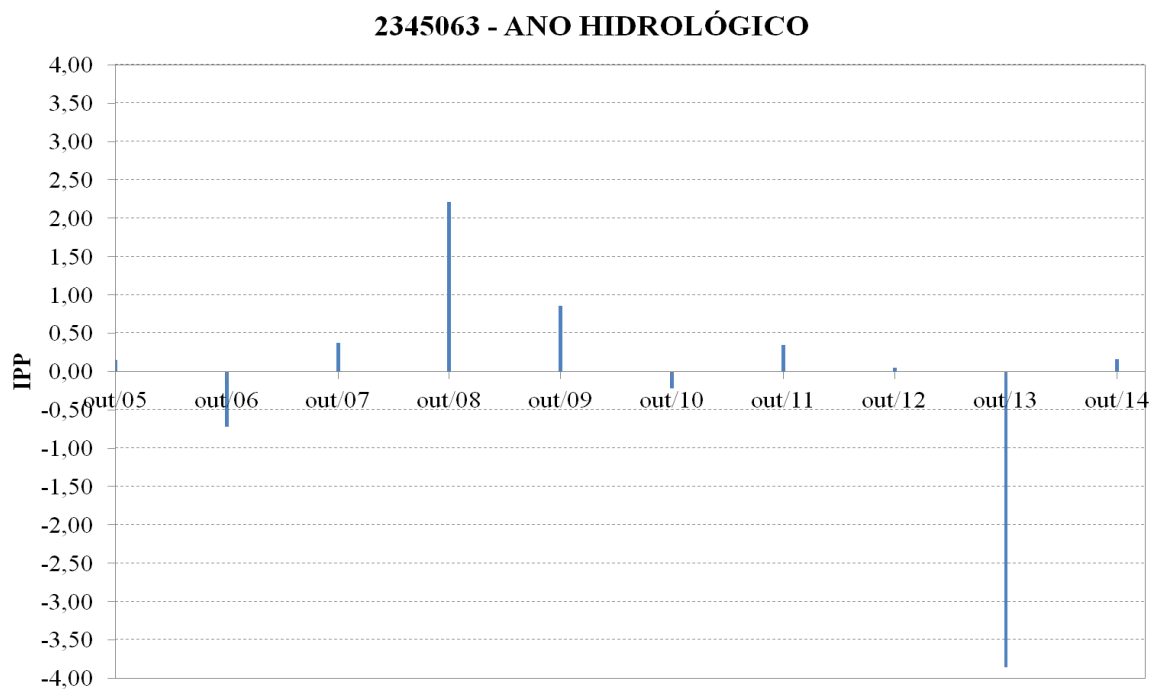
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 128 – IPPs de período úmido, estação 2345063



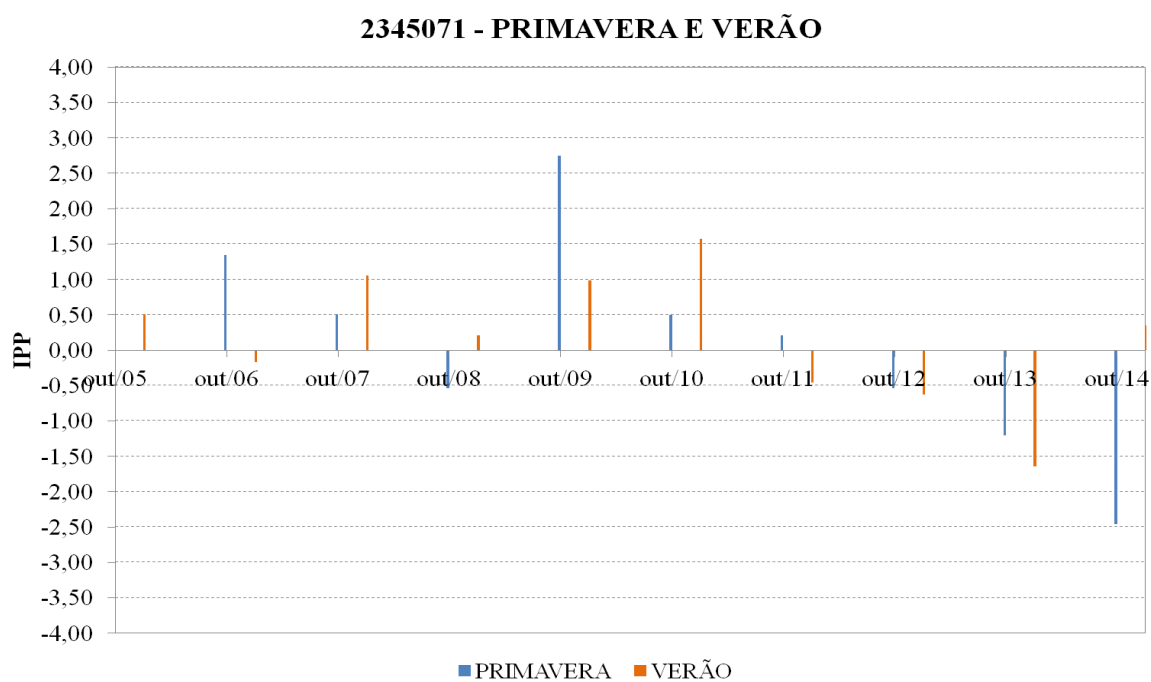
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 129 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345063



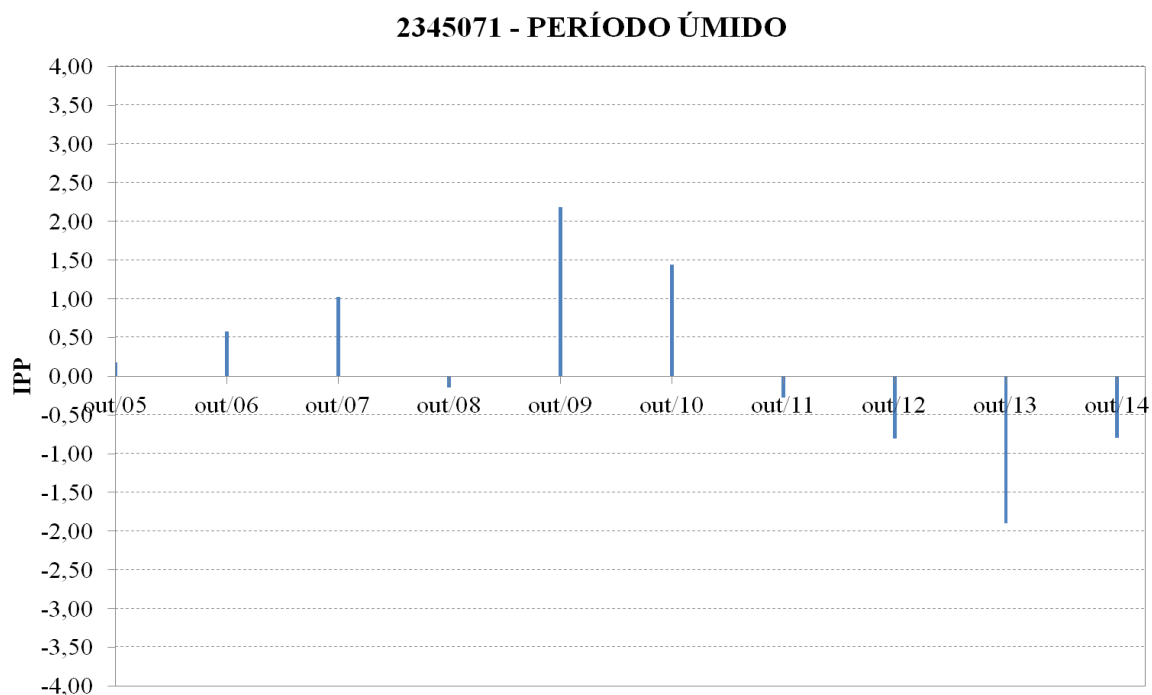
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 130 – IPPs de primavera e verão, estação 2345071



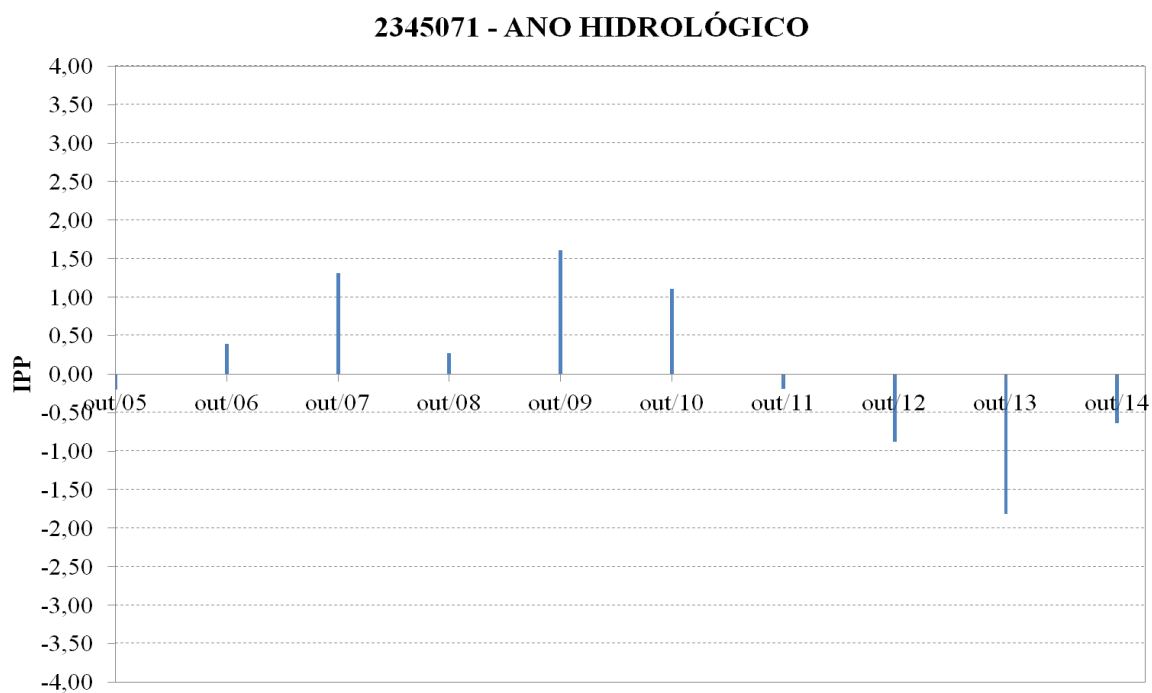
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 131 – IPPs de período úmido, estação 2345071



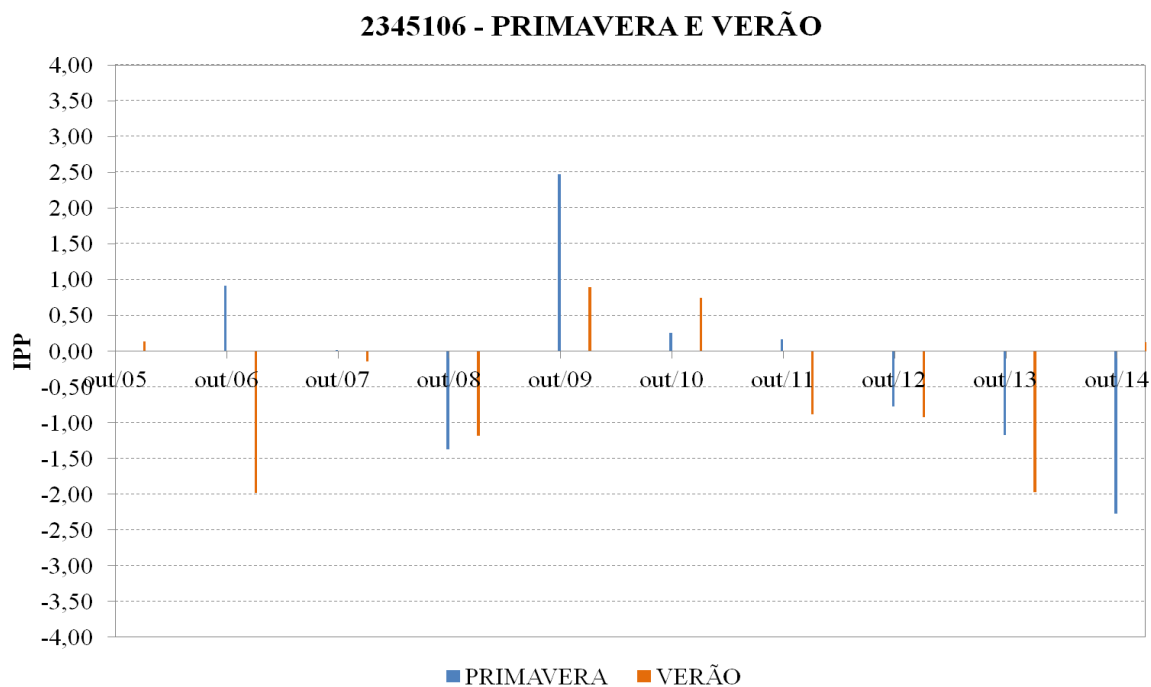
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 132 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345071



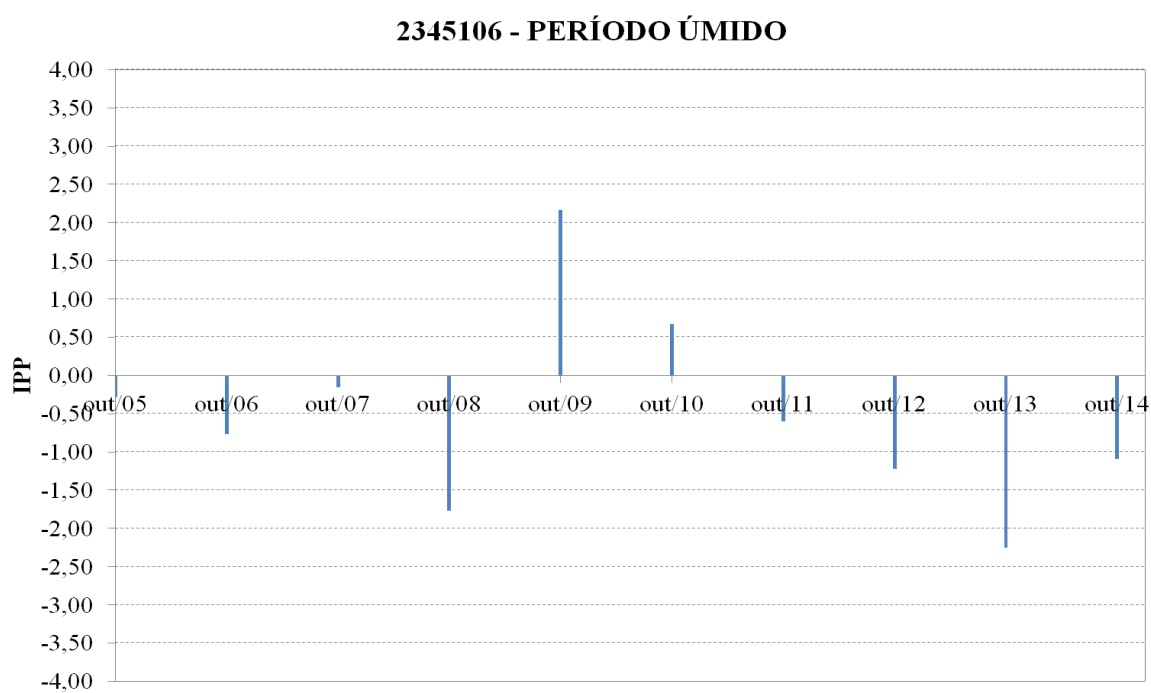
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 133 – IPPs de primavera e verão, estação 2345106



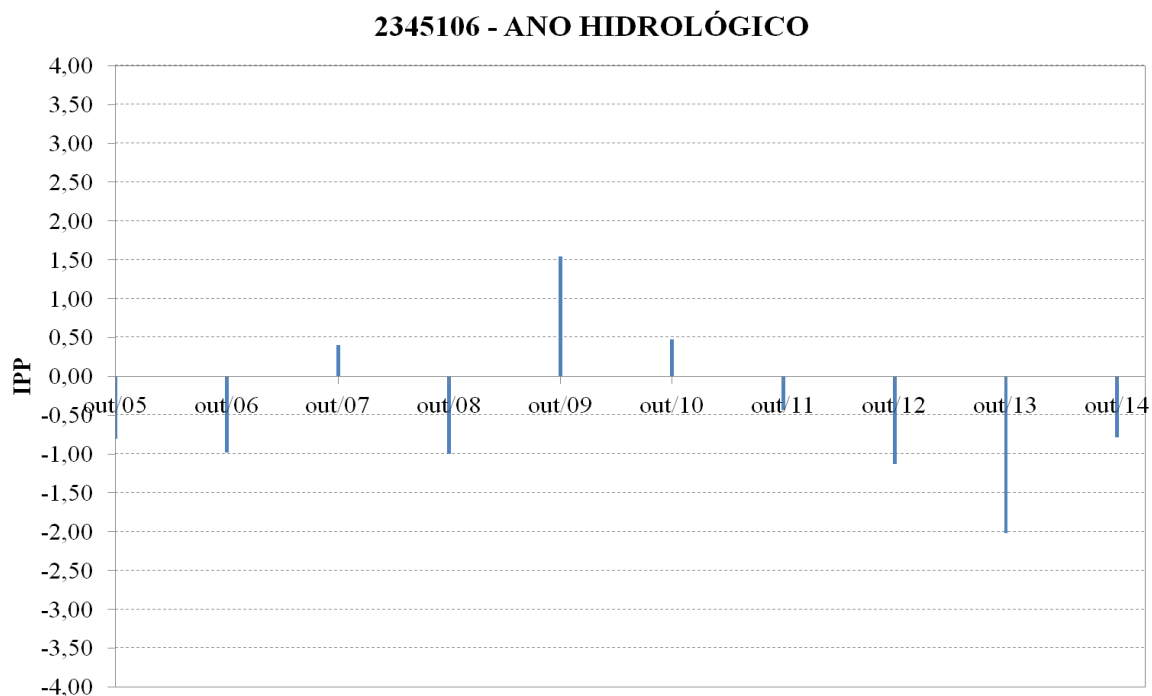
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 134 – IPPs de período úmido, estação 2345106



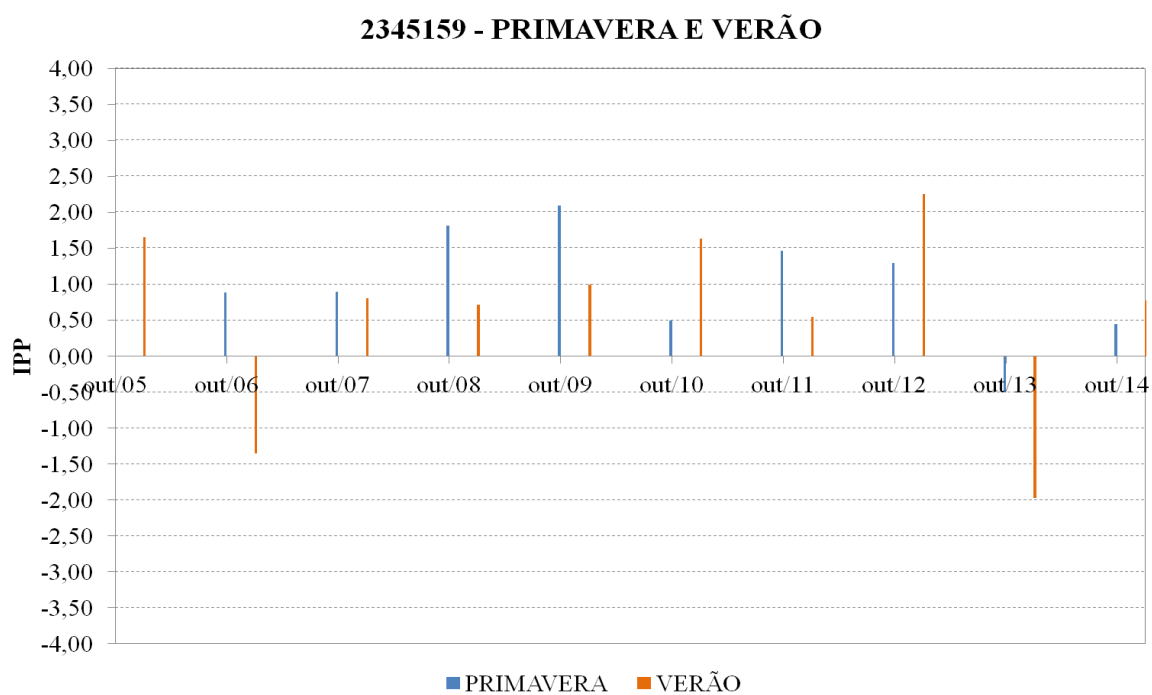
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 135 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345106



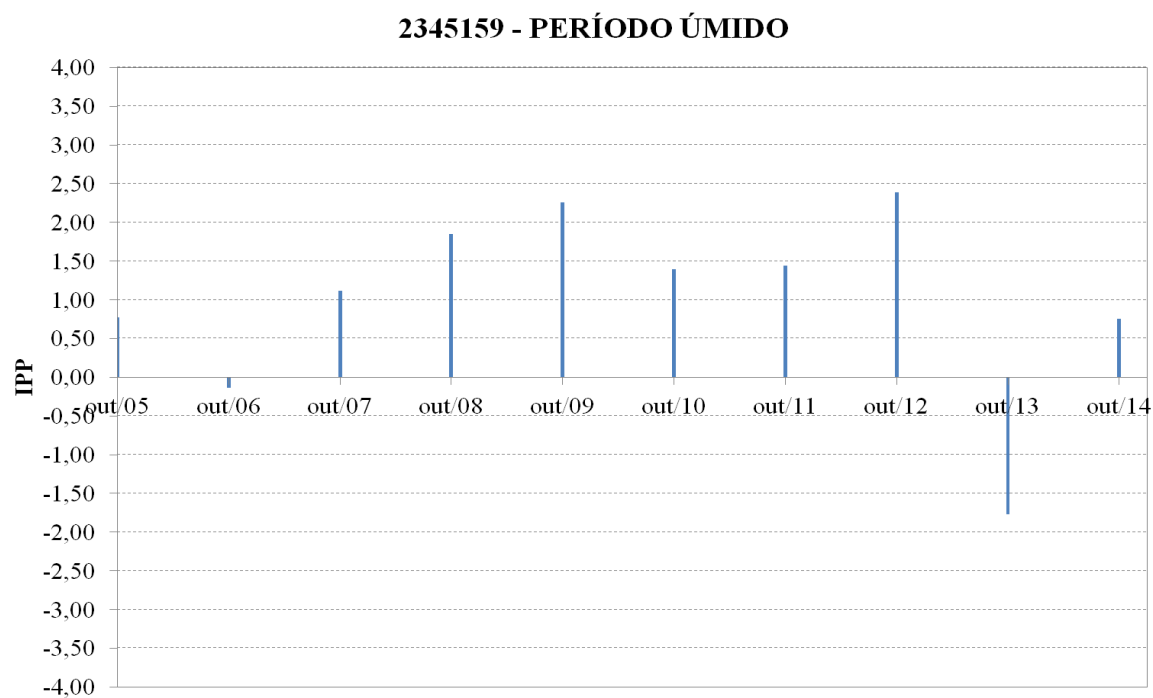
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 136 – IPPs de primavera e verão, estação 2345159



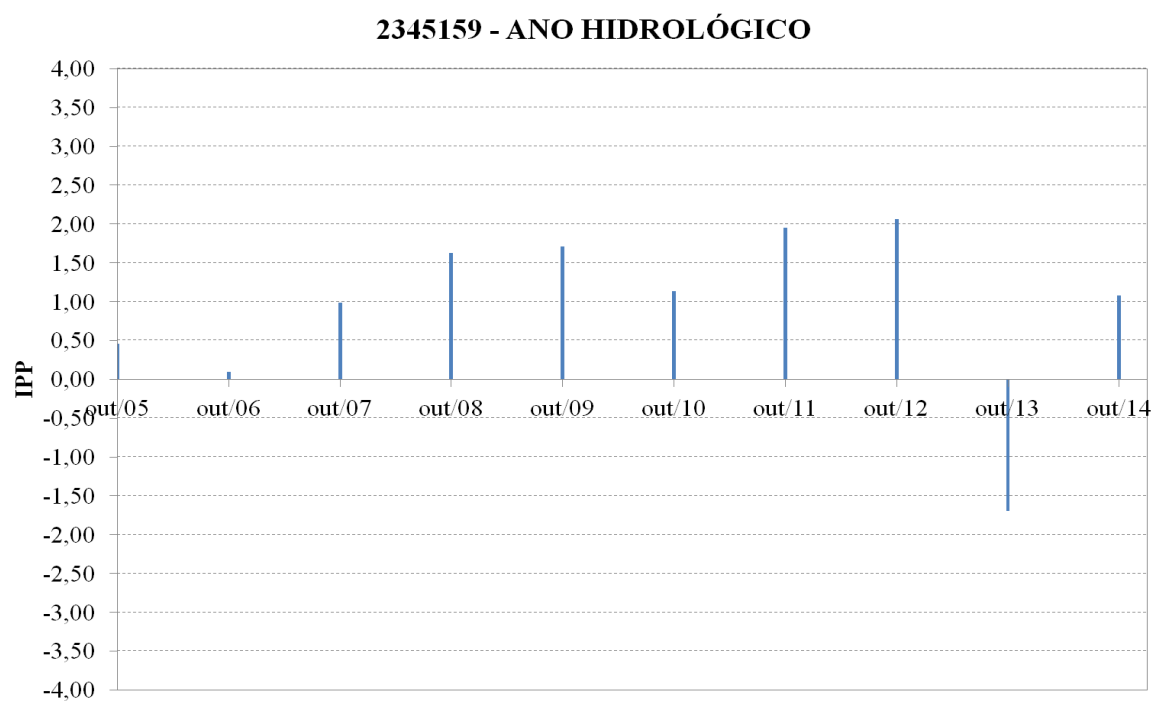
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 137 – IPPs de período úmido, estação 2345159



Fonte: Produção do próprio autor.

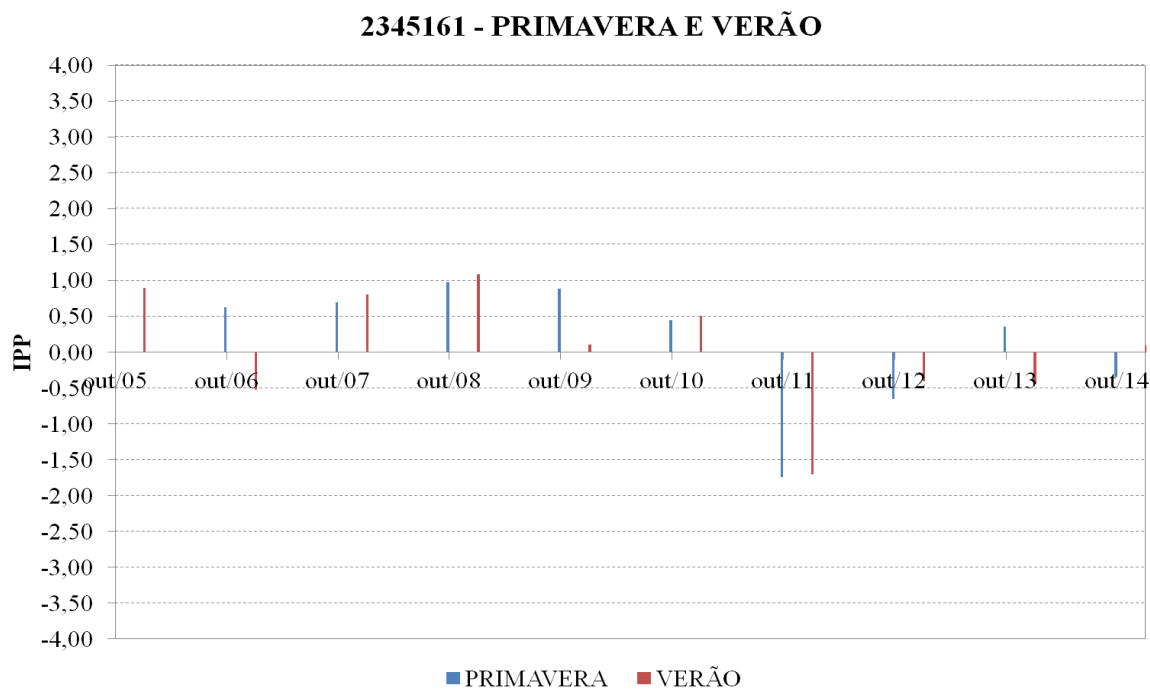
Figura 138 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345159



Fonte: Produção do próprio autor.

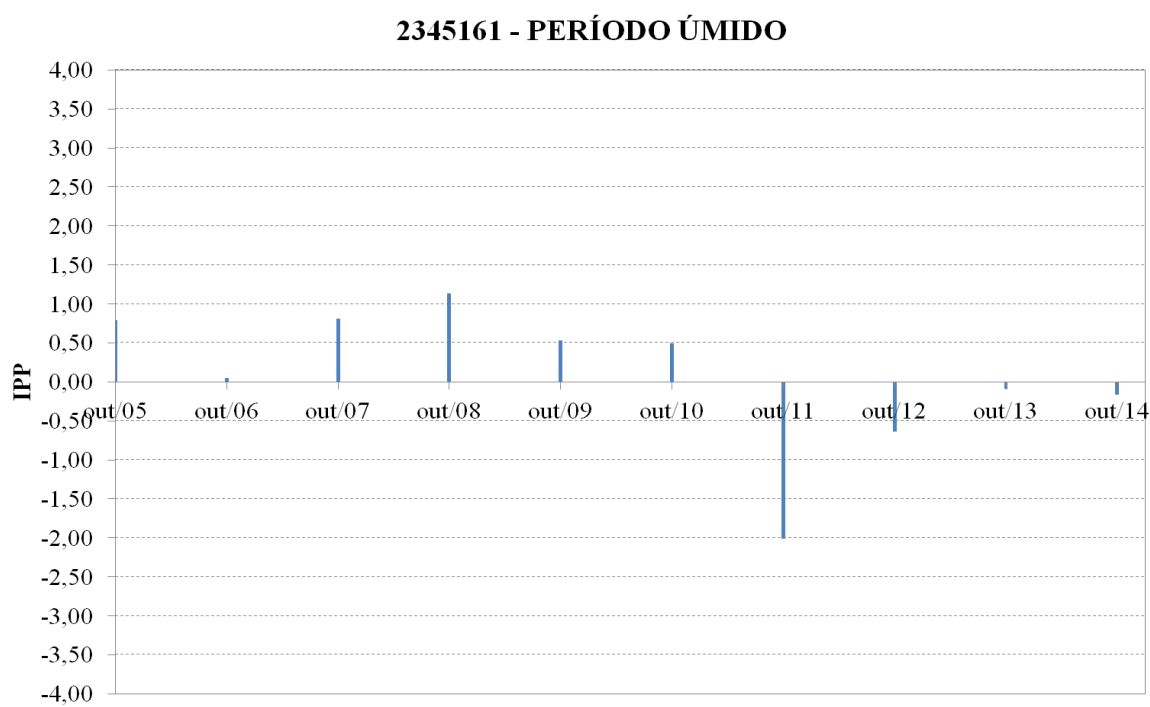


Figura 139 – IPPs de primavera e verão, estação 2345161



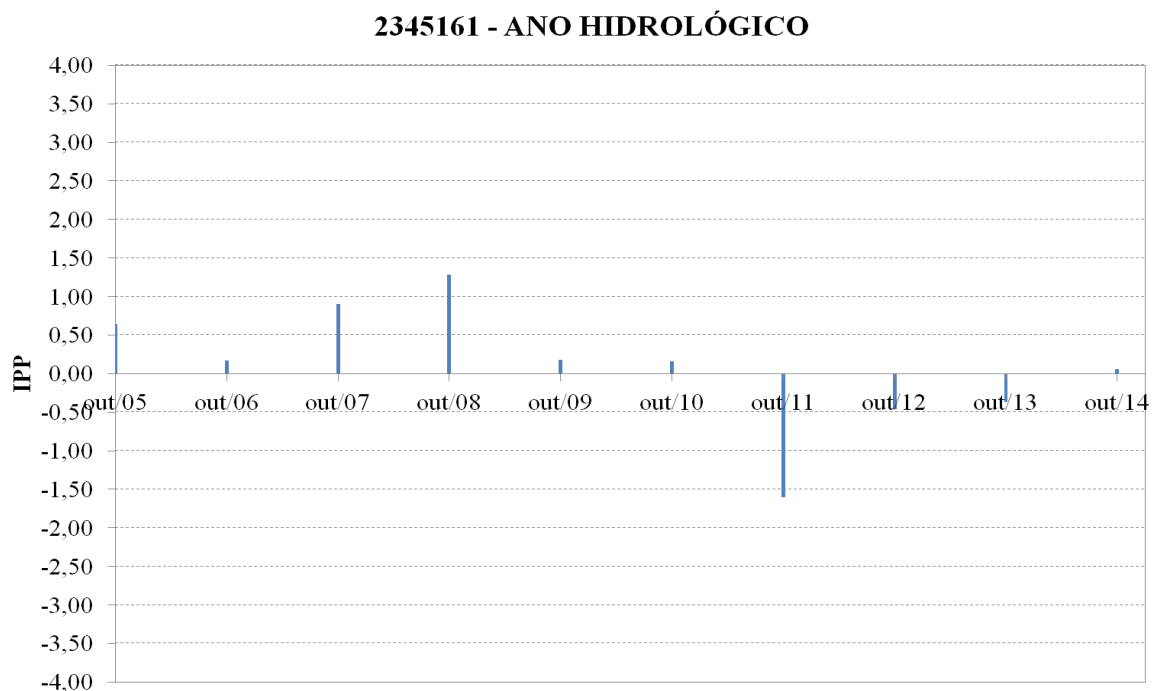
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 140 – IPPs de período úmido, estação 2345161



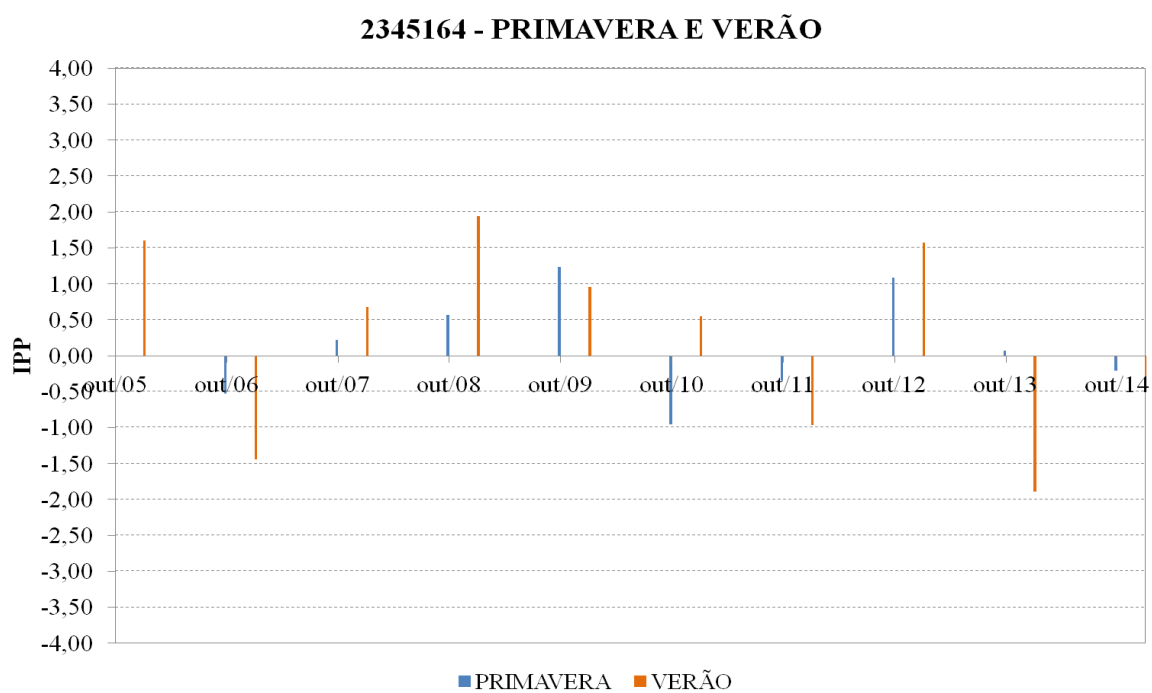
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 141 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345161



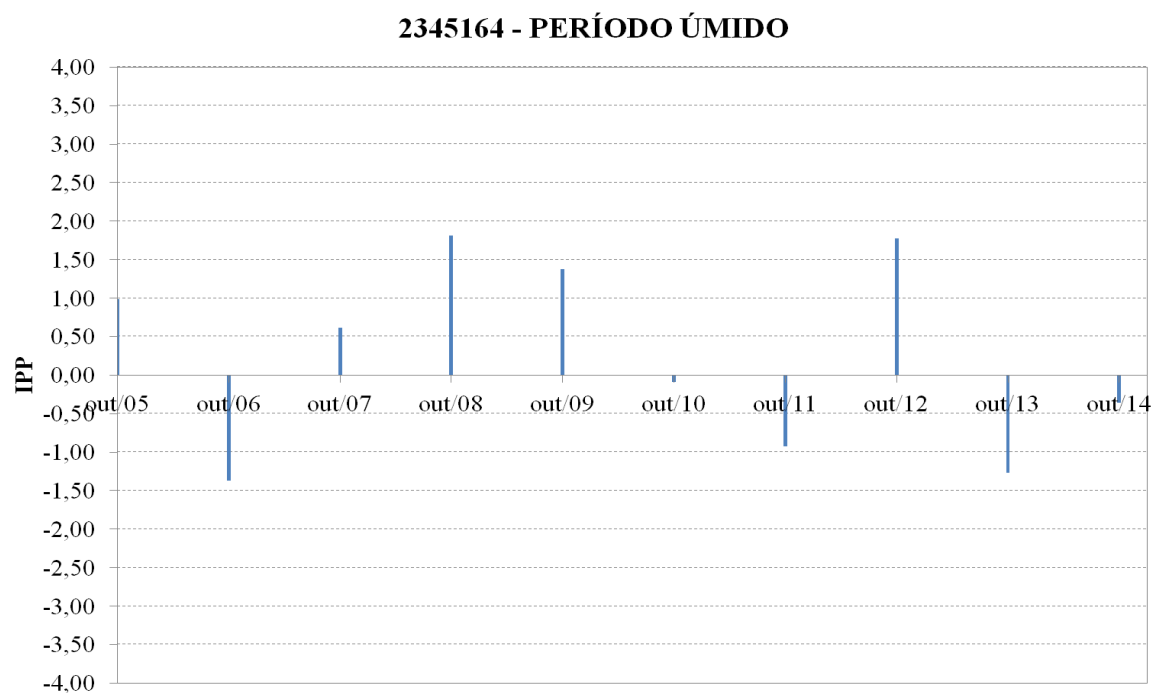
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 142 – IPPs de primavera e verão, estação 2345164



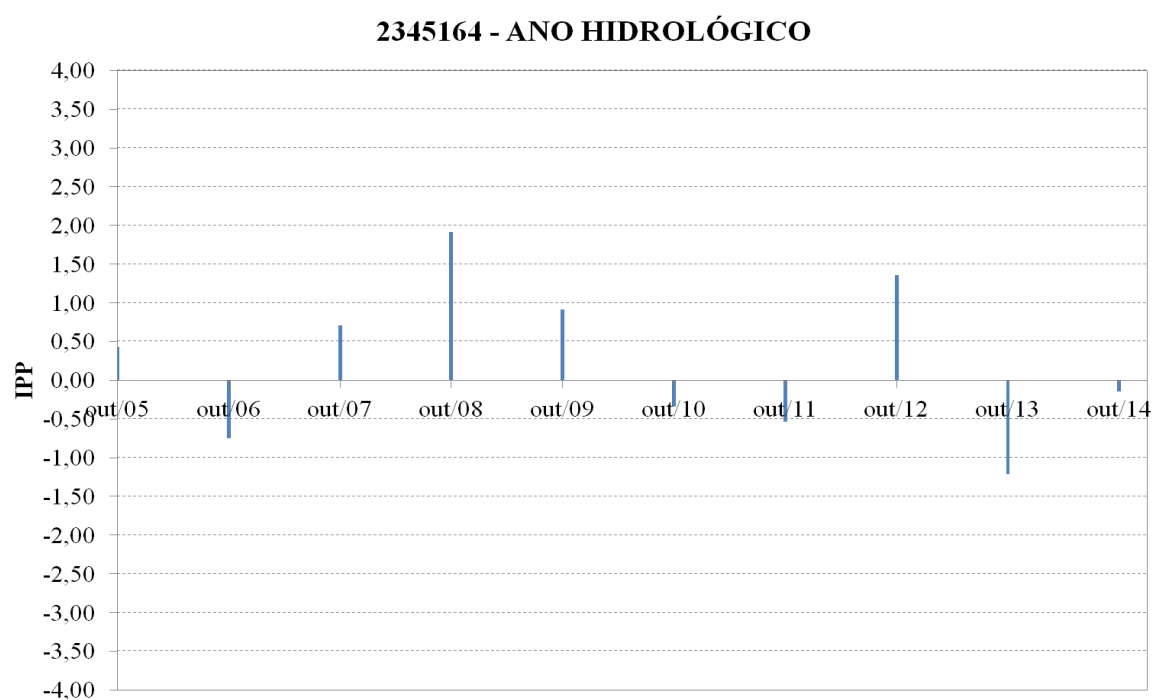
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 143 – IPPs de período úmido, estação 2345164



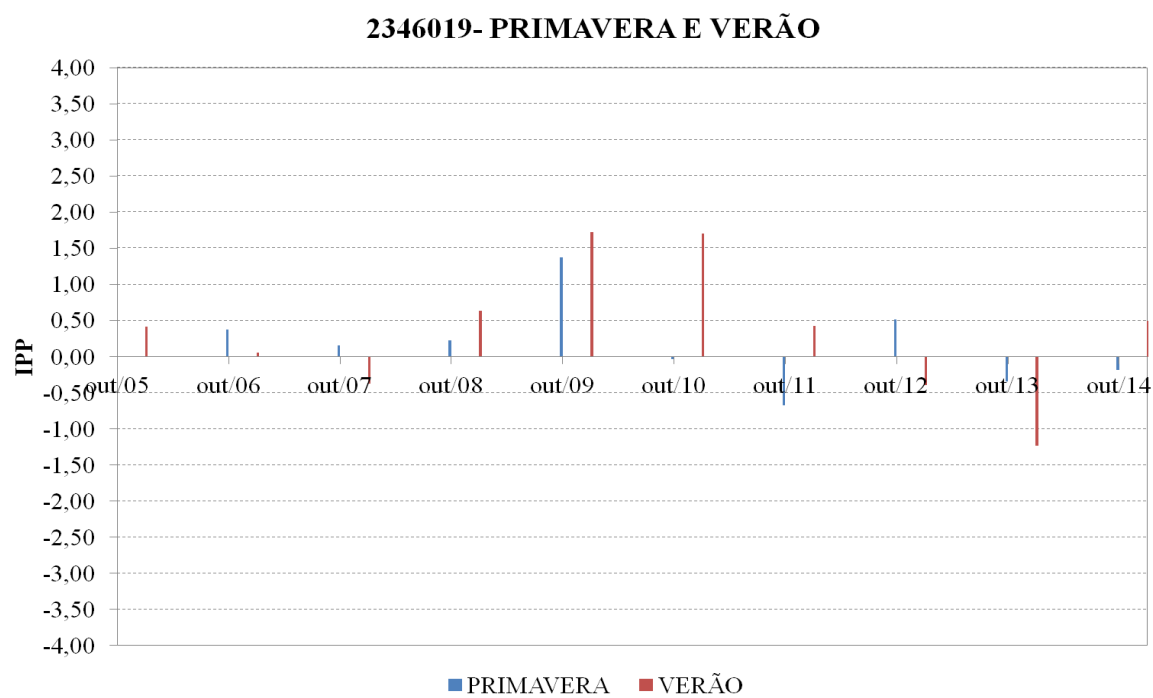
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 144 – IPPs de ano hidrológico, estação 2345164



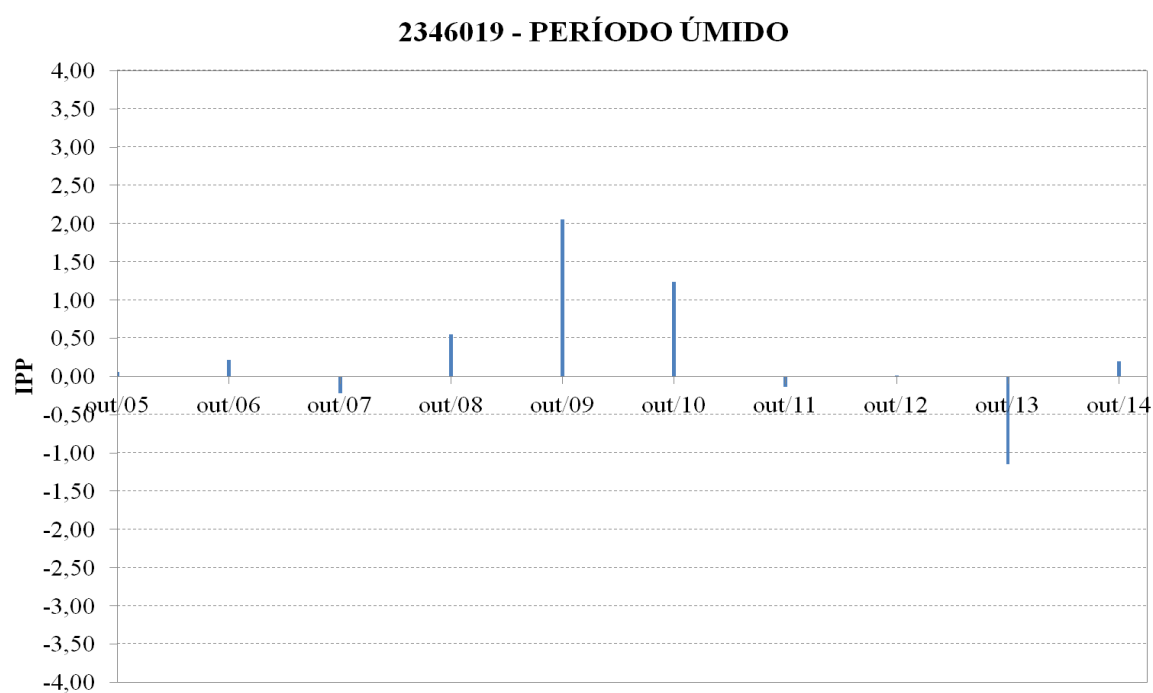
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 145 – IPPs de primavera e verão, estação 2346019



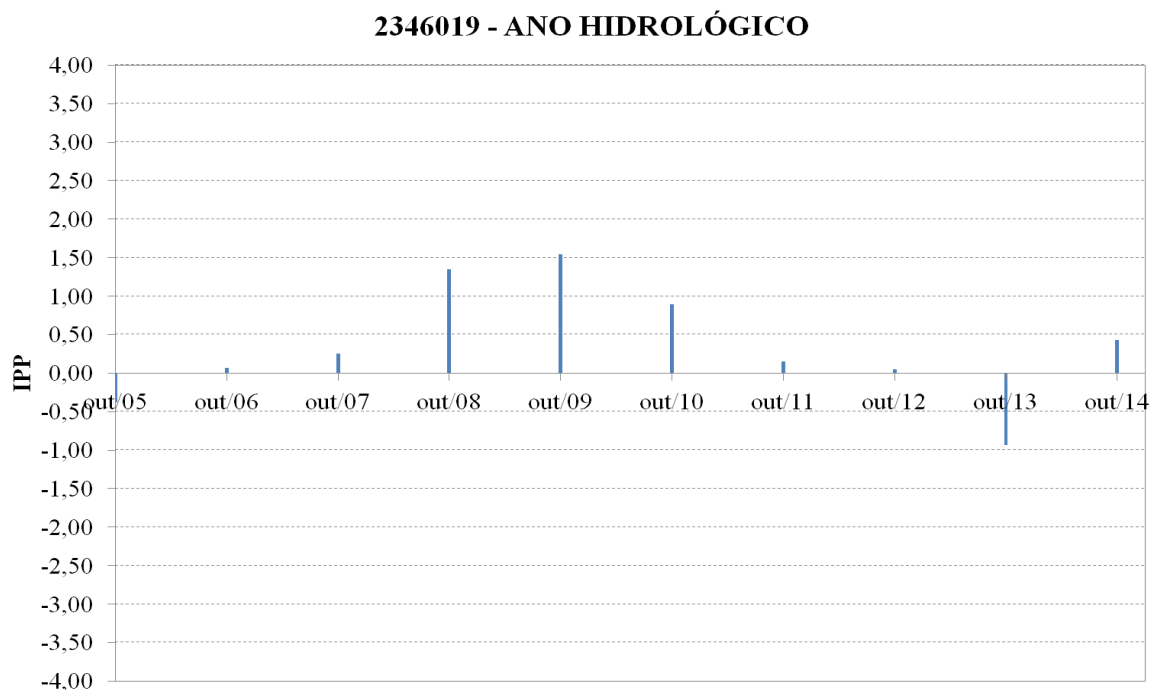
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 146 – IPPs de período úmido, estação 2346019



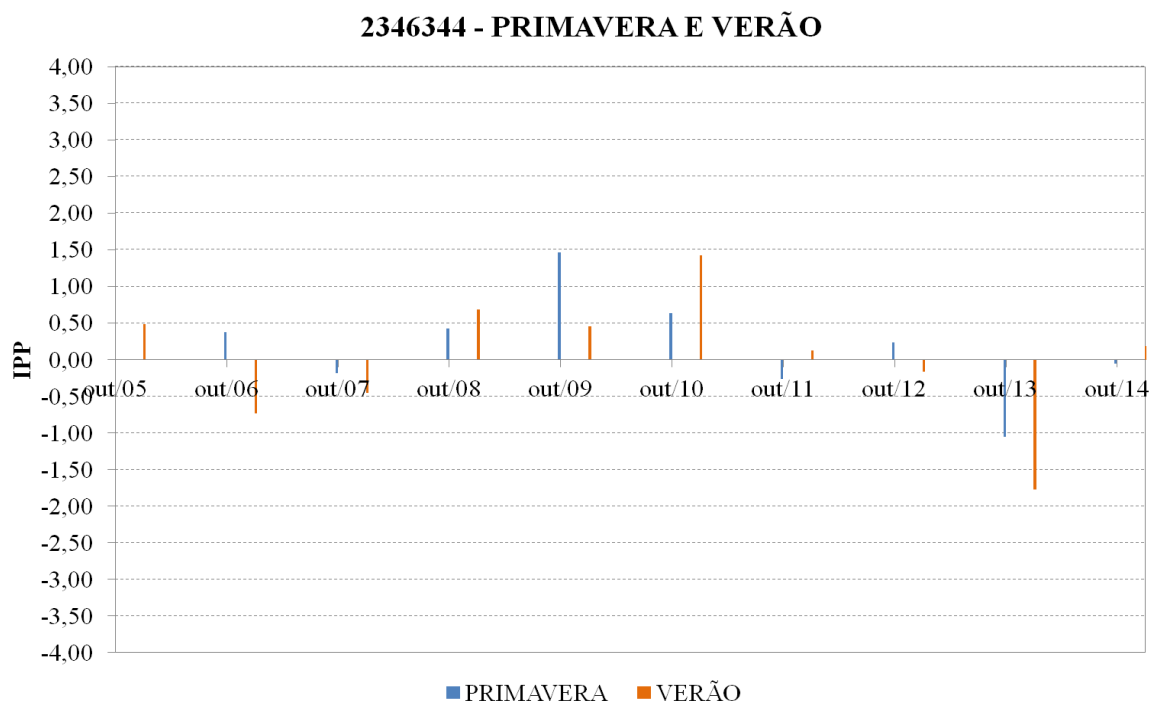
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 147 – IPPs de ano hidrológico, estação 2346019



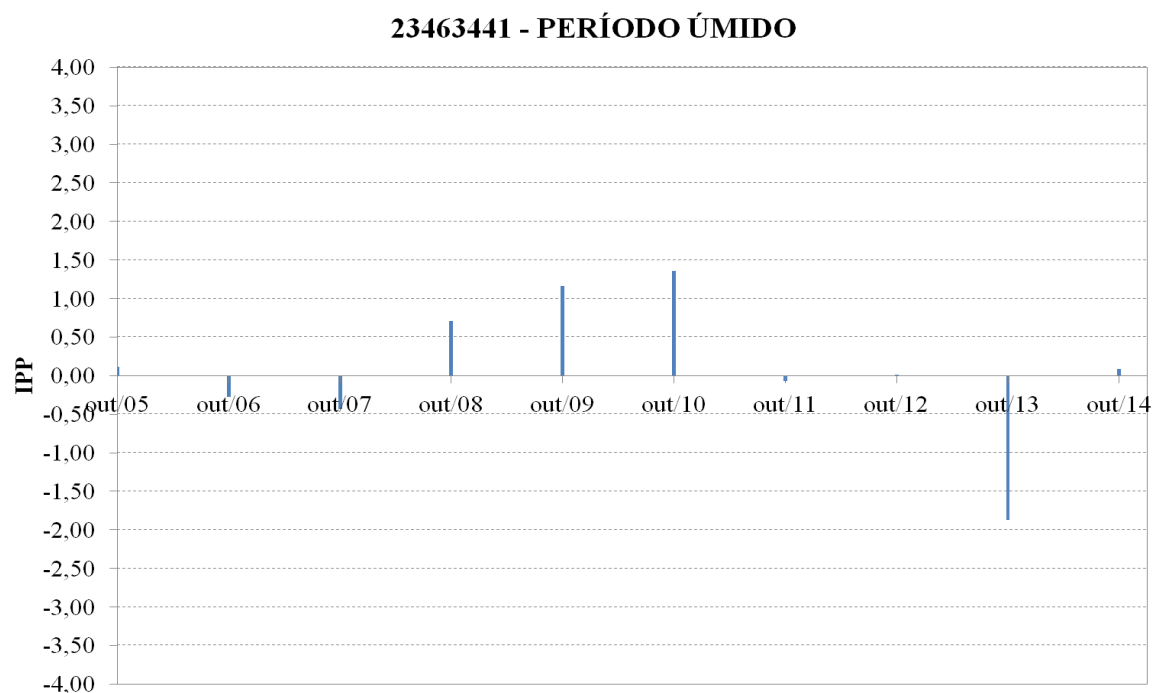
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 148 – IPPs de primavera e verão, estação 2346344



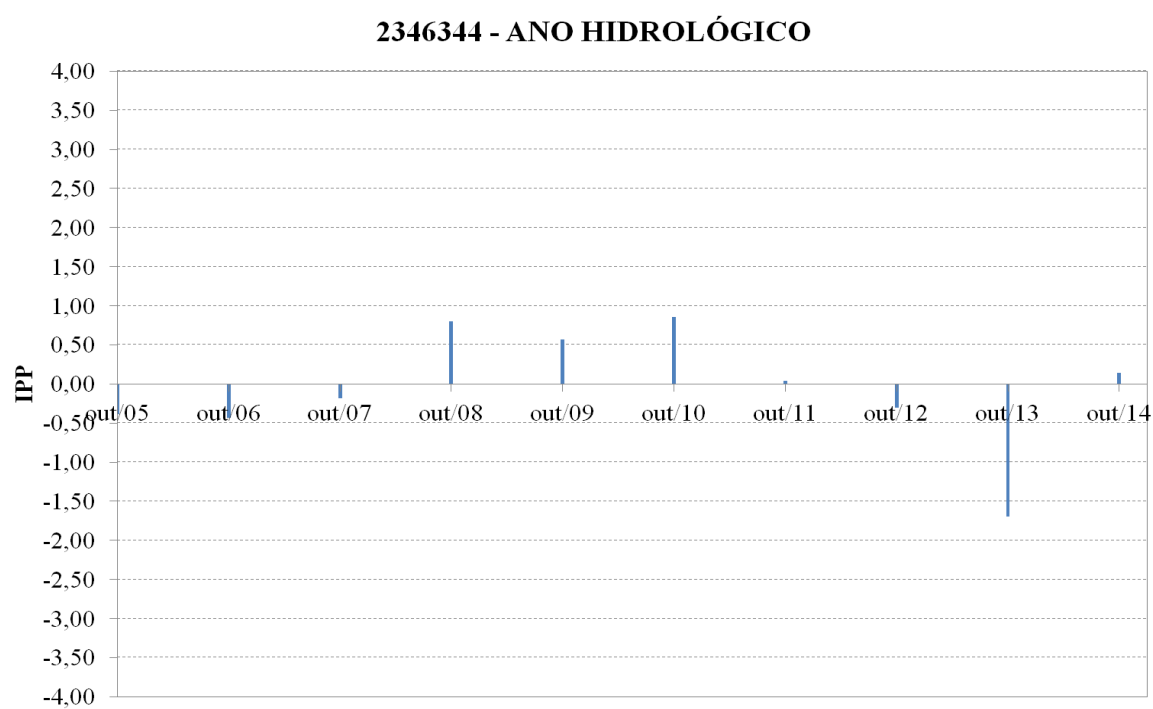
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 149 – IPPs de período úmido, estação 2346344



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 150 – IPPs de ano hidrológico, estação 2346344



Fonte: Produção do próprio autor.