

EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ATUAÇÃO ENOS SOBRE ELEMENTOS CLIMÁTICOS NO NORTE DO ESTADO DO PARANÁ E A INFLUÊNCIA SOBRE EVENTO EXTREMO NA BACIA DO RIBEIRÃO CAFEZAL EM JANEIRO DE 2016

Maurício Moreira dos Santos¹

Maria José Sartor²

Ângela Cristina Alves de Melo³

1 Introdução

As interferências naturais tais como eventos climáticos e meteorológicos extremos, podem ocorrer de diversas formas, como secas prolongadas, ondas de calor, tufões e enchentes, sendo que sua intensidade e frequência podem ser influenciadas de acordo com as mudanças climáticas e impactar diferentes escalas de análise. Entre os desastres hidrológicos mais comuns estão as enxurradas, alagamentos e inundações, que podem causar impactos sociais, econômicos e ambientais significativos (MARENGO, 2015). Em escala local, as mudanças climáticas têm sua origem a partir das alterações no uso e ocupação do solo afetando, além dos desastres mencionados, o ciclo hidrológico de uma bacia, a qualidade da água e sua disponibilidade.

Marques (2015) destaca que o aumento da escala de intervenção humana no meio ambiente tem resultado no surgimento de inúmeros problemas ambientais em escala global, e não o contrário. Como exemplo, o desmatamento contribui para a redução da capacidade natural de retenção da umidade do solo e diminuição da taxa de infiltração da água, acelerando assim a erosão hídrica, perdas do solo, o assoreamento dos cursos de drenagem e a ocorrência de cheias e inundações (GARCIA *et al.*, 2018). Nessa condição destaca-se a influência antrópica negativa sobre as diferentes fases do ciclo hidrológico no contexto das bacias hidrográficas.

Os desastres ambientais quando afetam determinada região expõe a população a riscos distintos, prejudicando principalmente as zonas de maior vulnerabilidade socioambiental. A vulnerabilidade socioambiental está relacionada à fragilidade de um determinado ambiente e a probabilidade de o indivíduo ou grupo ser afetado ou contaminado por um evento, ou ainda a suscetibilidade, por parte do ser humano, a um perigo ou dano, englobando elementos de ordem socioeconômicos e/ou físico-naturais (BRAGA; OLIVEIRA; GIVIZIEZ, 2006).

Segundo Guerra e Cunha (1996), mudanças significativas nas bacias hidrográficas, causadas por condições naturais e/ou atividades humanas, podem gerar alterações e impactos à jusante e nos fluxos energéticos de saída. De acordo com Souza, Souza e Cardoso (2017), é importante conhecer a dinâmica do ciclo hidrológico de cada bacia para uma melhor gestão e manejo dos recursos hídricos e ambientais de uma região.

¹ Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR Campus Londrina) Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental. E-mail: mmsantos@utfpr.edu.br.

² Gestora Ambiental da Universidade Estadual de Londrina (UEL). E-mail: mjsartor@uel.br.

³ Docente do Centro Universitário Filadélfia (UniFil). Departamento de Engenharia Civil. E-mail: angela.melo@unifil.br.

No norte do estado do Paraná, após a região sofrer com altos índices pluviométricos acumulativos durante o mês de dezembro de 2015 e com registro de um evento extremo natural de precipitação no dia 11 de janeiro de 2016, superando em um único dia a média esperada para todo o mês de janeiro, foram registrados diversos casos de alagamentos, inundações e de movimentos gravitacionais de massa, resultando em prejuízos socioeconômicos e impactos ambientais, por desastre natural, significativos para a região levando municípios a decretarem estado de emergência (CALDANA *et al.*, 2019).

Dessa forma, estudos que contemplem o balanço hídrico e a bacia hidrográfica relativos à variabilidade climática, frequência e intensidade de ocorrência de eventos extremos são de suma importância para compreensão dos desastres que afetam o meio ambiente e a população de maior vulnerabilidade socioespacial considerando a perspectiva temporal histórica e futura.

Além disso, segundo Santos e Ferreira (2014) em prazos mais ou menos longos, as vazões máximas e mínimas das drenagens superficiais podem apresentar tendências de incrementos ou de redução e essas são importantes para identificar possíveis interferências causadas pelas mudanças de uso e ocupação do solo.

Para além do impacto socioeconômico e ambiental a que são submetidos a bacia hidrográfica por ação dos eventos naturais extremos, compreender a ação das anomalias climáticas pertencentes a circulação atmosférica global e suas interações com distribuição da precipitação se torna fundamental, até mesmo em recortes espaciais de escala local e episódicos.

Nesse sentido, o El Niño e a La Niña são partes de um mesmo fenômeno que possui dois componentes, um oceânico e outro atmosférico e que ocorre no oceano Pacífico Equatorial e adjacências, denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média climatológica normal histórica, produzindo assim efeitos globais na temperatura e precipitação.

Para o presente estudo foi selecionada a bacia hidrográfica do ribeirão Cafezal que possui 41 Km de extensão, um dos mais importantes mananciais de abastecimento das cidades de Rolândia-PR, Cambé-PR e Londrina-PR e integram a Região Metropolitana de Londrina (RML) localizada no norte do estado do Paraná. Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar o comportamento fluviométrico de uma série histórica de 13 anos desta bacia, apresentando um comparativo evolutivo com o balanço hídrico regional e possíveis tendências futuras de aumento da frequência de eventos extremos associados a precipitação pluviométrica e a anomalia climática ENOS.

2 Material e Métodos

2.1 Localização da Área de Estudo

O ribeirão Cafezal nasce no município de Rolândia-PR, passando pelo município de Cambé-PR e Londrina-PR com foz no ribeirão Três Bocas, importante afluente rio Tibagi (Figura 1). Segundo Silva (2006), a bacia do ribeirão Cafezal apresenta uma área de 20.621,7 hectares aproximadamente, composto por 23 afluentes diretos e 10 afluentes indiretos, distribuídos ao longo dos 41 Km de extensão, passando por uma paisagem que intercala áreas rurais e urbanas.

Além disso, o ribeirão Cafezal é um dos principais mananciais responsáveis para suprir a demanda por recursos hídricos destes municípios, com destaque para a área urbana de Londrina-PR (principal município da região norte do estado do Paraná), representando 36% da água captada (ANA, 2019).

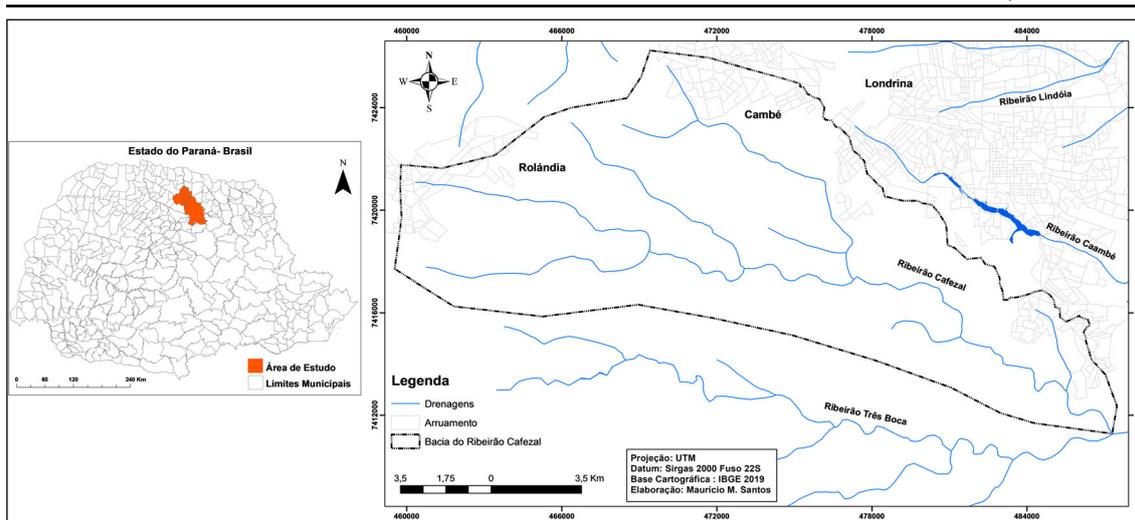


Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Cafezal.

2.2 Caracterização da Área de Estudo

As condições médias da atmosfera que identificam o clima de uma dada região são definidas, principalmente, segundo sua situação geográfica. Assim, situado no hemisfério sul e cortado pelo Trópico de Capricórnio, o estado do Paraná sofre influências de alguns fatores macroclimáticos que lhe garantem o predomínio do clima subtropical. Porém, a conformação topográfica paranaense atribui algumas diferenciações em relação aos subtipos climáticos, destacando-se o Cfa (Subtropical Úmido Mesotérmico), Cfb (Subtropical Super-Úmido Mesotérmico) e Af (Clima tropical super úmido) (Nimer, 1989).

O clima regional é do tipo subtropical úmido ou Cfa, conforme a classificação de Köppen, embora tenha estação seca bem evidenciada no inverno, esse tipo climático caracteriza-se por precipitação em todas as estações do ano. A temperatura média do mês mais quente é superior a 25,5 °C e a do mês mais frio, inferior a 16,4 °C, tendo umidade relativa do ar média de 69%. Além disso, dados do IAPAR (2019) demonstram que a precipitação anual total para o município de Londrina-PR tem valores históricos que variam de 1600 a 1800 mm ao ano.

De acordo com Silva, Caramori e Faria (2012), Londrina-PR por estar em zona de transição climática possui grande variabilidade climática quando comparado a região sul e norte paranaense.

A rede hidrográfica da região de Londrina-PR localizadas na porção centro-sul apresenta padrão dendrítico, enquanto as da região norte possuem canais fluviais predominantemente retilíneo, isto é, caracterizado por margens fluviais com poucos meandros. De acordo com Barros (2011) as bacias hidrográficas dos ribeirões Jacutinga, Cambé, Lindóia, Limoeiro, Três Bocas e Cafezal compõem os principais afluentes do rio Tibagi na área de estudo, sendo esse último afluente do rio Paranapanema, que por sua vez, é um dos principais afluentes da bacia do rio Paraná.

A hidrografia da área de estudo, inclusive a bacia do ribeirão Cafezal, é caracterizada por leitos fluviais na forma de vales côncavos, corpos hídricos perenes e com orientação predominante NW, obedecendo ao sentido de fluxo magmático de origem fissural que deram origem a Formação Serra Geral. A rede de drenagem possui um regime hidrográfico fluvial caracterizado por uma grande quantidade de afluentes e subafluentes, sendo assim considerada numerosa e bem distribuída.

A Formação Serra Geral, de maneira generalizada, é composta principalmente por rochas vulcânicas básicas, toleíticas e andesitos basálticos subordinadas a ocorrência riodacitos e riolitos de textura afanítica, coloração cinza e negra. Os topos dos derrames é geralmente amigdaloidal, apresentando grande desenvolvimento de juntas verticais

e horizontais com intrusões alcalinas e de pequenas lentes de arenito, com manto de intemperismo pouco espesso em algumas localidades e de até 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente. (MILANI, 1997; MINEROPAR, 2001).

Essa formação possui descontinuidades estruturais, como falhas (de menor incidência) e fraturas que permitem o armazenamento e a circulação de água subterrânea, constituindo então uma importante unidade hidrogeológica denominada Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

A bacia do ribeirão Cafezal possui evolução geomorfológica sobre a bacia sedimentar do Paraná, inserida no Terceiro Planalto Paranaense, onde se desenvolve a estrutura das Cuestas Areníticas Basálticas caracterizada pela sucessão de camadas sedimentares e basálticas de desigual resistência, trabalhadas pela erosão.

Maack (1981) descreve que os vales dos rios Tibagi, Ivaí, Piquiri e Iguazu dividem o Terceiro Planalto em regiões geográficas naturais, sendo a porção norte, no denominado Planalto de Apucarana, a escarpa declina a partir da Serra do Cadeado numa extensão de 150 Km, cuja superfície apresenta, ao lado de pequenos espigões, apenas suaves colinas e platôs com vales mais profundos em direção ao rio Ivaí. A porção nordeste está no planalto de Araiporanga, prolonga-se dos rios Tibagi e Itararé, sendo baixa e cortada em platôs isolados e mesetas pelos rios Cinza, Laranjinha e Congonhas. O planalto de Campo Mourão, inserido na porção noroeste, inclina-se da Serra da Boa Esperança a uma altitude de 1150 metros acima do nível do mar, à 225 m nas margens do rio Paraná.

Na área de estudo, nos topos e altas vertentes predomina o Latossolo Vermelho, de textura argilosa. A partir daí, em direção à jusante, nas médias e baixas vertentes aparece o Nitossolo Vermelho (NAKASHIMA; NÓBREGA, 2003).

2.3 Características do Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão Cafezal

De acordo com Silva (2006) a bacia do ribeirão Cafezal é muito utilizada na horticultura e criação de animais e seu entorno vem sofrendo alterações nos últimos anos, devido à expansão urbana, tanto na região da nascente, como no trecho final, margeado por bairros e condomínios de alto padrão e de chácaras da região sul.

Conforme dados da Tabela 1, em 1980, apenas 5,6% da área da bacia estavam urbanizadas, passando a 12,7% em 2004, sendo que o percentual de área de loteamentos também dobrou neste período. As culturas perenes e pastagens sofreram reduções significativas, com um leve aumento de culturas temporárias.

Tabela 1. Uso do solo na bacia do ribeirão Cafezal, 1980 e 2004.

Classificação Área	Ocupação da Bacia (ha)			
	1980		2004	
Área urbanizada	1152,6	5,6%	2618,9	12,7%
Loteamentos	542,3	2,6%	1010,5	4,9%
Cultura temporária	7894,9	38,3	8475,5	41,1%
Cultura perene	3464,2	16,8%	2268,4	11,01%
Pastagem ou solo nú	6070,1	29,4%	3959,4	19,2%
Vegetação	1120,2	5,5%	1773,5	8,6%
Várzea	377,4	1,8%	82,5	0,4%
Área não imageada (nuvens)	-	-	433,0	2,1%
Total				20.621,7

Fonte: Adaptado de Silva (2006).

A região norte da bacia do ribeirão Cafezal, onde estão estabelecidas as áreas metropolitanas das cidades de Rolândia-PR, Cambé-PR e região sul de Londrina-PR, é a mais densamente povoada e com maior cobertura de solo impermeabilizado (MORAIS, 2015). Segundo esta autora, o valor relativamente menor da cobertura com solo impermeabilizado, a intensa ocupação urbana da região norte da bacia pode indicar que a mesma esteja em significativo processo de ocupação, ou seja, evoluindo de um perfil rural para urbano.

Segundo Morais (2015), o processo de urbanização tende a criar áreas com superfícies impermeáveis, que elevam o escoamento superficial das águas pluviais nas cidades, alterando as estruturas e dinâmicas das bacias. Porém, de acordo com dados da Tabela 2, a maior parte da bacia continua sendo explorada pela agricultura (50,85%), seguida pela área com solo nu (25,66%).

Tabela 2. Uso e ocupação do solo na Bacia do Ribeirão Cafezal, 2015.

Classificação	Área (ha)	Ocupação da Bacia (%)
Impermeabilizada (urbanizada)	28.148,3	13,70
Agricultura	104.517,7	50,85
Solo nu	52.739,1	25,66
Vegetação	18.912,9	9,20
Espelho d'água	1.212,2	0,59
Área Total	205.530,2	100,00

Fonte: Adaptado de Morais (2015).

Dessa forma, a caracterização geral do uso e ocupação do solo demonstra, mesmo com a evolução urbana, principalmente da cidade de Londrina-PR, que a bacia do ribeirão Cafezal caracteriza-se por predominância de uso do solo em meio rural.

2.4 Fluviometria e Balanço hídrico

Para o estudo foram utilizados dados de série histórica disponibilizados pelo Instituto Água e Terra (INSTITUTO ÁGUA E TERRA, 2019) órgão gestor do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Paraná, relativos à vazão do ribeirão Cafezal, no período de 1994 a 2017, coletados na estação pluviométrica Cafezal, localizada às margens da Rodovia Mábio Gonçalves Palhano (Figura 2).

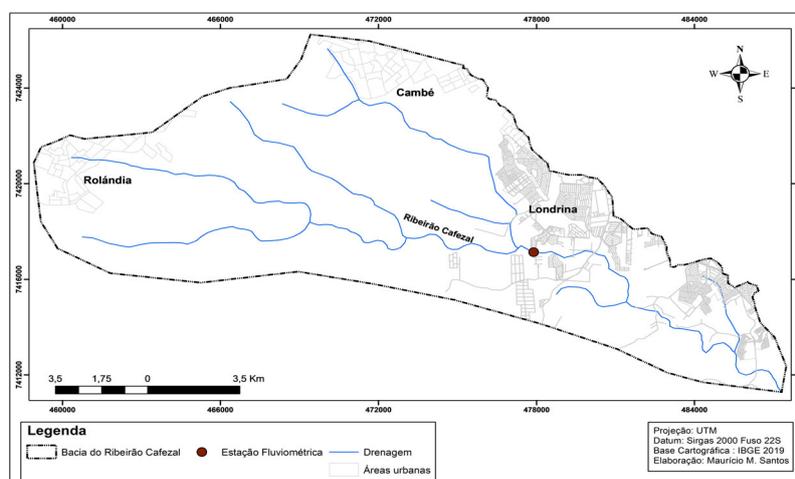


Figura 2. Localização da estação fluviométrica do ribeirão Cafezal.

Ainda foram utilizados dados meteorológicos da estação agrometeorológica fornecidos pelo Setor de Agrometeorologia do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2019) relativos à série histórica de temperatura e precipitação da região de Londrina-PR, no período de 1988 a 2018 que contribuíram para o cálculo e estimativas do balanço hídrico regional. Para essa avaliação optou-se por 30 anos de medições para melhor análise sobre as relações fluviométricas, precipitação e os intervalos de ocorrências ENOS.

Para a organização dos dados foi utilizado planilha eletrônica, onde foram calculadas médias históricas anuais e mensais da temperatura, precipitação e vazão, posteriormente estes dados foram organizados em gráficos, para uma melhor análise e compreensão.

Para o cálculo e estimativas relacionados ao balanço hídrico regional, adotou-se a metodologia empregada por Thornthwaite e Mather (1955), utilizando-se aplicativo desenvolvido sob uma planilha eletrônica do *software* livre *BHnorm* v5.

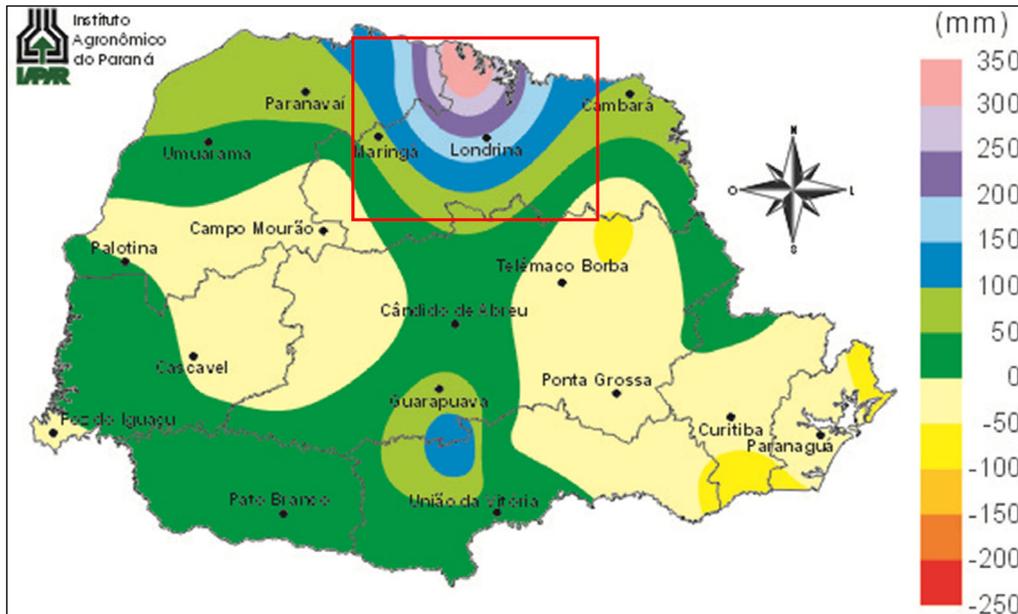
Segundo Damião *et al* (2006), no balanço hídrico é contabilizada toda a água que cai no solo e a estimativa da que sai pelo processo de evapotranspiração. Dessa forma a finalidade desse método é fornecer subsídios para avaliação dos ganhos e perdas constantes no ciclo hidrológico, pois as chuvas influenciam diretamente o comportamento da variação da vazão dos corpos hídricos, assim como a contribuição do fluxo de base em relação ao volume de água que infiltra na bacia como recarga das águas subterrâneas.

O método utilizado para cálculo e estimativas do balanço hídrico regional se baseia em dois elementos climáticos principais, ou seja, a precipitação pluviométrica e a temperatura. Deste modo, a metodologia utilizada neste trabalho foram calculadas a soma das médias mensais de precipitação e temperatura da série histórica selecionada para o estudo (1988 a 2017) obtendo-se assim os seguintes fatores: o armazenamento máximo de água no solo em cada período, ou seja, a Capacidade de Água Disponível (CAD), a Precipitação total (P) e também a estimativa da Evapotranspiração Potencial (ETP), a partir disso é estimado: a Evapotranspiração real (ETR), a Deficiência hídrica (DEF), o Excedente hídrico (EXC) e o total de água retida no solo em cada período (ARM).

3 Resultados e Discussão

3.1 Distribuição histórica de dados meteorológicos e evento extremo

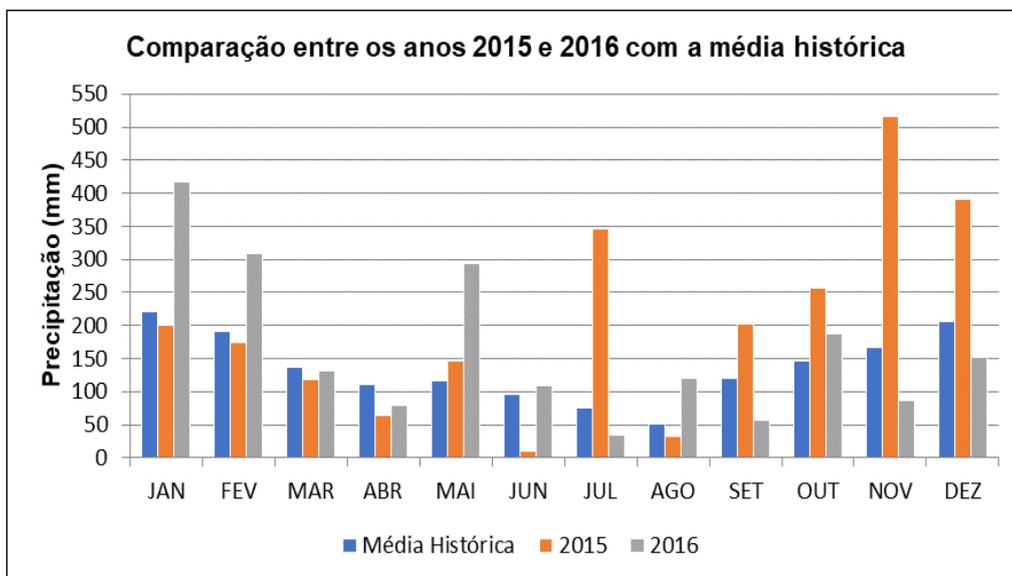
Entre os últimos dias do mês de dezembro do ano de 2015 e os primeiros dias de janeiro de 2016, a região norte do estado do Paraná sofreu impacto de um volume acumulado de precipitação acima das normais climatológicas, com destaque para o dia 11 de janeiro de 2016 que, segundo dados do IAPAR (2019) (Figura 3), registrou o maior índice pluviométrico durante todo o período mencionado com um acumulado de aproximadamente 274 mm no intervalo de 24 horas, considerado desse modo, como evento extremo, pois além do grande volume de chuvas, a atuação das grandes massas de umidade sobre a região estavam associadas ao ápice do fenômeno climático El Niño (DIONISIO, 2017; INPE, 2019).



Fonte: IAPAR, 2020.

Figura 3. Desvio da precipitação em janeiro de 2016 em relação à média histórica (1976 a 2016) com destaque para a região do norte do estado do Paraná.

A magnitude do evento quanto a ocorrência do grande volume precipitado na área de estudo pode ser visualizada na Figura 4. Quando se compara a média histórica entre os anos de 1976 a 2016, observa-se que entre julho de 2015 e fevereiro de 2016 todos os dados mensais de precipitação foram superiores à média histórica, alcançando volume máximo acumulado mensal acima de 500 mm, quando a média histórica é representada por valor máximo em torno de 220 mm.



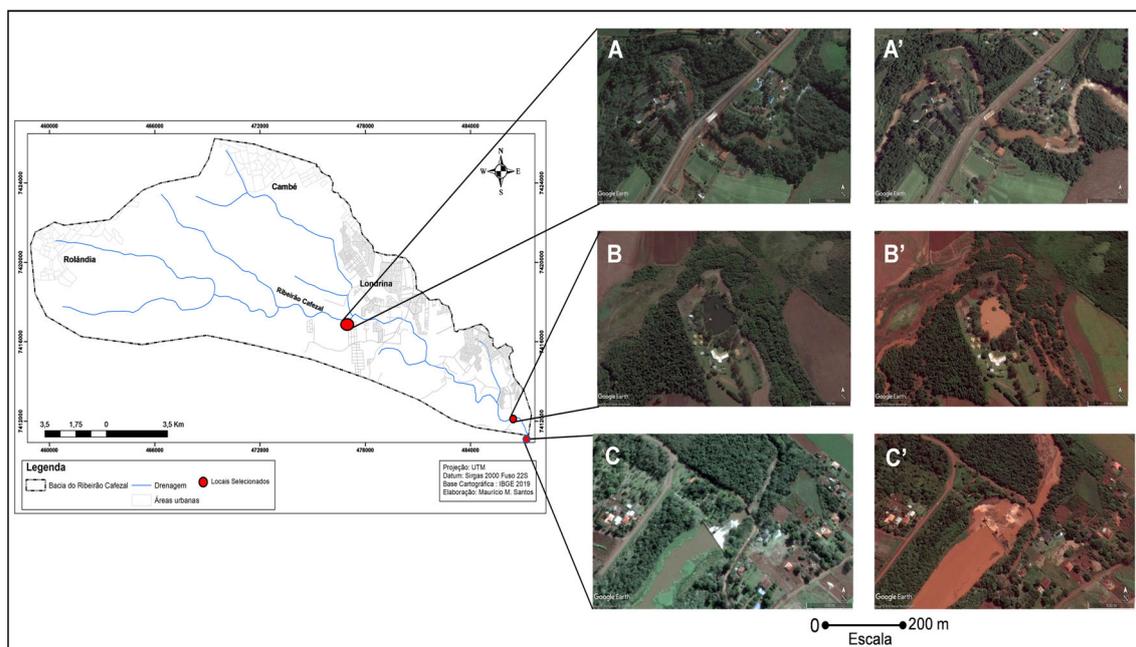
Elaboração: Dionísio (2017). Fonte de dados: IAPAR (2020).

Figura 4. Dados de precipitação dos anos 2015 e 2016 em comparação com a média histórica.

Como resultado desse evento, alguns municípios que integram a RML, tiveram estado de calamidade pública reconhecido pelo Governo Federal em função de prejuízos socioeconômicos e impactos ambientais provocados por movimentos de

massa, enxurradas, processos erosivos inundações e alagamentos que atingiram a região e suas bacias hidrográficas.

Análise de imagens de satélite de alta resolução capturadas no Google Earth exibidas na Figura 5 mostram algumas localidades selecionadas ao longo das margens do ribeirão Cafezal e, por último, na confluência do ribeirão Três Bocas (Figura 5C e C') atingidas pelo evento extremo do dia 11 de janeiro de 2016, com classificação de datas de antes (A, B e C) e depois da ocorrência do evento (A', B' e C').



Fonte: Google Earth (2020).

Figura 5. Imagens de satélite evidenciando localidades na bacia do ribeirão Cafezal e adjacência, apresentando impactos por evento extremo em 11 de janeiro de 2016. Imagem (A) de 27/07/2015 em destaque: ponte de travessia da rodovia Mábio Gonçalves Palhano, importante ligação a zona sul do município de Londrina-PR. Imagem (A') de 11/03/2016, pós evento. Impactos principais: destruição parcial da ponte, processo erosivo marginal e perda de mata ciliar. Imagem (B) de 27/07/2015 em destaque: área de lazer particular, provável pesqueiro do tipo pesque e pague. Imagem (B') de 02/02/2016, pós evento. Impactos principais: inundações e assoreamentos das zonas marginais e do lago pertencente ao pesqueiro. Imagem (C) de 27/07/2015 em destaque: Parque Ecológico Dr. Daisaku Ikeda. Imagem (C') de 09/02/2016, pós evento. Impactos principais: movimento de massa, erosão fluvial e perda severa de mata ciliar.

Todas as localidades mostradas na Figura 5 ao longo de trechos da bacia do ribeirão Cafezal e adjacência (Figura 5C e C') representam apenas alguns exemplos dos impactos produzidos pelo evento extremo natural de janeiro de 2016 que atingiu o norte do estado do Paraná, embora os tipos de impactos se diferenciem, apresentam como condição comum, graves prejuízos econômicos e ambientais (assoreamento, movimento de massa, erosão marginal fluvial, etc.) para a sociedade.

3.2 ENOS e evento extremo

Com relação ao fenômeno ENOS, a Tabela 3 apresenta os anos de ocorrência de El Niño bem como sua classificação com relação a intensidade de ocorrência.

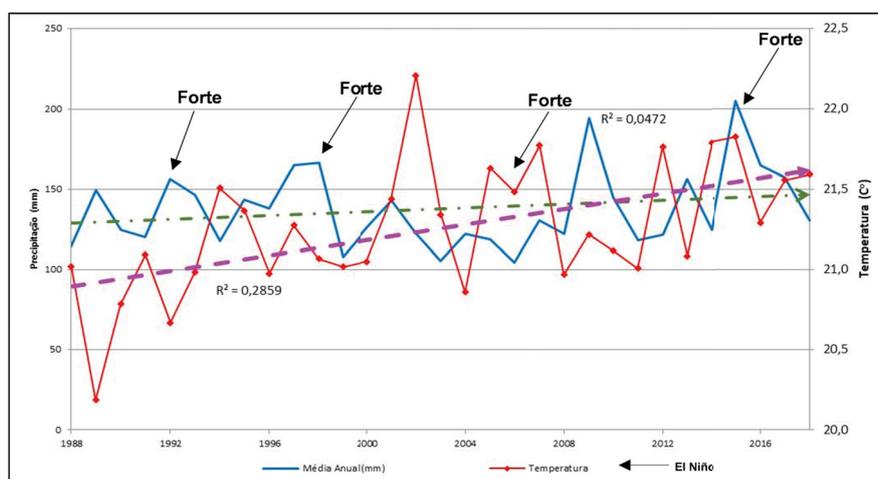
Tabela 3. Anos de ocorrência de El Niño e classificação.

Anos	El Niño (Classificação)
1986-1988	Intensidade moderada
1990-1993	Forte intensidade
1994-1995	Intensidade moderada
1997-1998	Forte intensidade
2002-2003	Intensidade moderada
2004-2005	Fraca intensidade
2006-2007	Forte intensidade
2009-2010	Intensidade moderada
2015-2016	Forte intensidade
2018-2019	Fraca intensidade

Fonte: CPTEC/INPE, 2020.

A Tabela 3 mostra a ocorrência de dois El Niño de forte intensidade no intervalo de tempo de 10 anos, embora esse fenômeno atue normalmente na intensificação de precipitação e aumento de temperaturas durante a primavera e verão na região Sul do Brasil, a classificação destacada aumenta a probabilidade de ocorrência de eventos extremos (ARAÚJO et al., 2013; GRIMM, 2015; MINUZZI, 2010).

A Figura 6 mostra as médias anuais da temperatura, precipitação, linhas de tendências obtida a partir da média histórica ao longo dos anos de 1988 e 2018 e marcações que representam o intervalo de ocorrência de El Niño de forte intensidade para a mesma série.



Fonte: Elaborado a partir de dados do IAPAR (2019).

Figura 6. Médias históricas, linhas de tendência da temperatura, precipitação e vetor destacando intervalo de anos com forte El Niño entre 1988 e 2018.

Pode se observar alguns picos de elevação e diminuição da temperatura ao longo da evolução da série histórica analisada, embora o coeficiente R^2 apresente baixa correlação entre a série histórica e a elevação dos índices e temperatura (29%) e menor ainda para precipitação (5%), as linhas de tendência com emprego de função regressão linear apontam para uma contínua elevação.

Em relação à precipitação, as médias mensais anuais (Tabela 4) tem se mantido com certa constância com um discreto aumento na última década, saindo de 120 mm entre 1999 e 2008 para 151 mm entre 2009 e 2018.

Contudo, os índices de precipitação em anos de ocorrência de El Niño de intensidade forte (Tabela 3 e Figura 6) têm se elevado constantemente para os últimos 30 anos. Uma exceção foi para os anos de 2007/2008 quando se registrou pico máximo mensal anual de 130 mm (abaixo da média), com precipitação acima da média histórica atingida entre 2009/2010 para El Niño de intensidade moderada com pico de 194 mm (Tabela 5).

Tabela 4. Distribuição estatística da média mensal anual de precipitação entre 1988 e 2018.

Ano	Estatística	Precipitação (mm)
1988/2018	Média	137,5
	Mediana	130,5
	Desvio Padrão	24,6
2006	Mínimo	104,5
2015	Máximo	205,0

Fonte: Próprio autor, 2020.

Tabela 5. Picos de acúmulo de precipitação médio mensal anual em anos de El Niño entre 1988 e 2018.

Ano	Precipitação (mm)	El Niño (Classificação)
1992	156	Forte intensidade
1998	167	Forte intensidade
2009	194	Média intensidade
2015	205	Forte intensidade

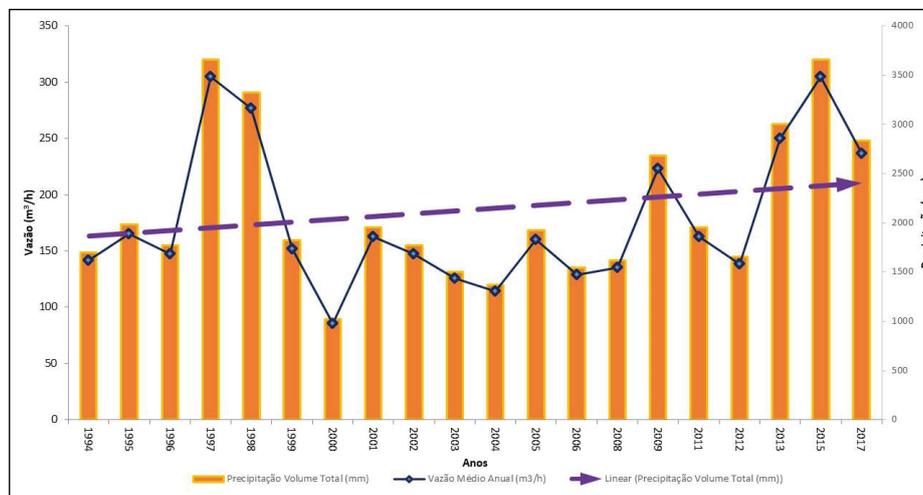
Fonte: Próprio autor, 2020.

Em relação as tabelas 4 e 5, nota-se que todos os picos de acúmulo de precipitação mensal anual para a série climatológica estudada estão acima do valor médio (137,5 mm), destaca-se os anos de 2009 e 2015, com índice superior à soma média do desvio padrão (162,1 mm). Além disso, 2015 é o ano quando se atinge o valor máximo em 30 anos de medições (205 mm).

A anomalia de precipitação registrada entre 2009 e 2010, pode ser explicada por um fenômeno incomum, mas cada vez mais frequente, representado pelo aquecimento anômalo e forte das águas do Pacífico central durante os anos de El Niño e que marcou o recorde de temperatura quente da superfície do mar (TSM) no Pacífico central no período mencionado (KIM *et al.*, 2011). Tal anomalia pode ter contribuído para o acúmulo de umidade na atmosfera em ascensão desde 2007 sobre influência do El Niño de intensidade forte no pacífico Sul e a interação com a circulação atmosféricas antes do seu declínio rápido para o fenômeno La Niña pode ter levado a maior precipitação na região Sul do Brasil, incluído o norte do estado do Paraná.

3.3 Evolução Fluviométrica e Balanço Hídrico Regional

Para avaliação da evolução fluviométrica, a Figura 7 mostra relação entre o volume total anual da vazão e a média anual da precipitação para o período de 1994 a 2017.

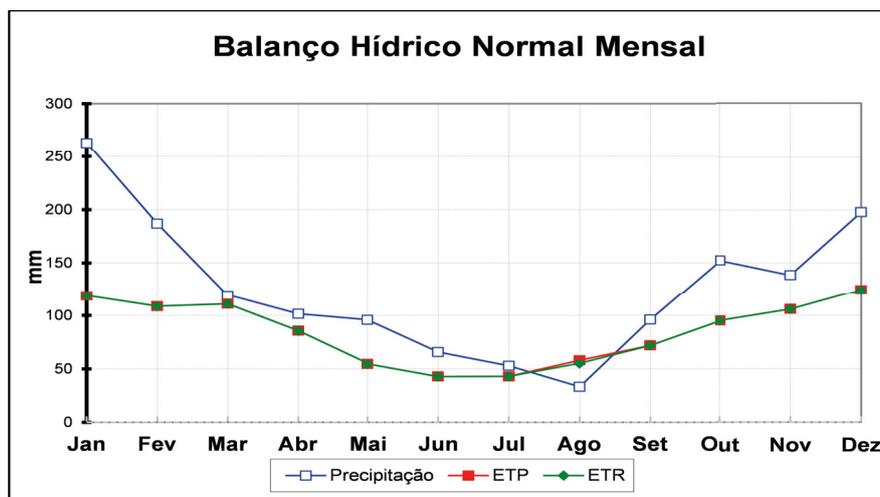


Fonte: Elaborado a partir de dados do IAPAR (2019) e INSTITUTO ÁGUA E TERRA (2019).

Figura 7. Média histórica de fluviometria e volume total anual de precipitação entre os anos de 1994 e 2017.

A partir da Figura 7 é possível verificar que o comportamento médio dos valores de vazão tem uma relação direta com a precipitação, além disso, a linha de tendência de função linear aponta para ascensão: tanto para a precipitação, quanto para a vazão, o que indica uma condição preocupante quanto o aumento da frequência de eventos extremos no futuro. Visto que em 2015 o índice de vazão se aproximou da máxima histórica de 22 anos de levantamentos, com valor de 304,9 m³/h.

Para melhor compreensão da evolução da precipitação e fluviometria na bacia estudada, foi realizado o cálculo do balanço hídrico regional no período de 1988 a 2018, mostrando primeiro a variação do comportamento médio dos valores mensais de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) (Figura 8).

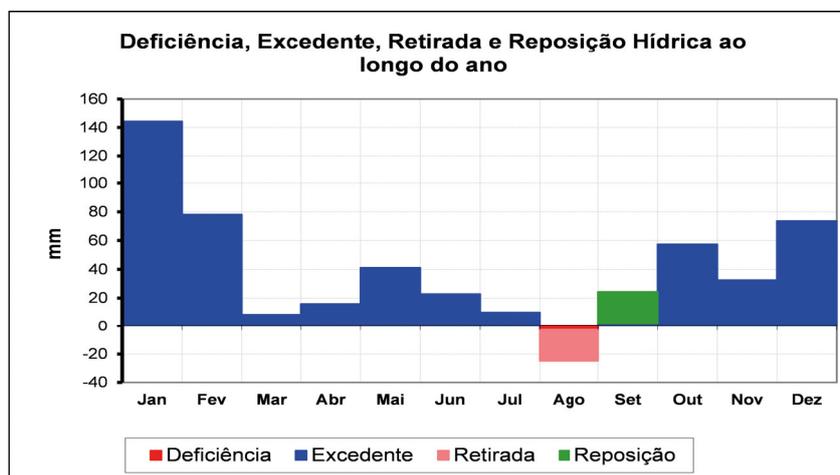


Fonte: Elaborado a partir de dados do IAPAR (2019).

Figura 8. Variação dos dados mensais médios de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) entre 1988 e 2018.

A variação dos dados mensais médios meteorológicos para a bacia do ribeirão Cafezal (Figura 8) evidencia que os meses de janeiro, fevereiro e, outubro a dezembro (verão no hemisfério sul) são os mais chuvosos, com índice em janeiro acima de 250 mm, sendo que os meses de maio a agosto apresentam os menores índices históricos de precipitação (inverno no hemisfério sul), com valor mínimo 50 mm médio em agosto.

A Figura 9 apresenta o comportamento do balanço hídrico da bacia estudada ao longo das médias anuais da série histórica selecionada.



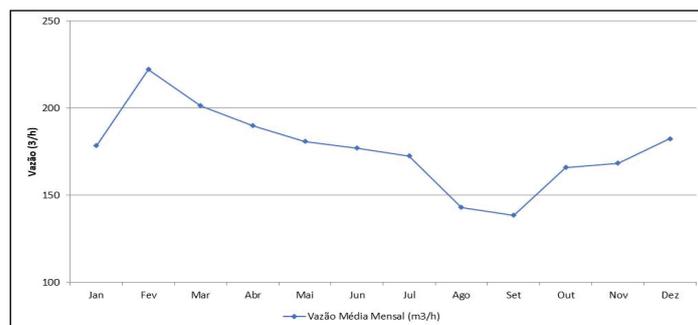
Fonte: Elaborado a partir de dados do IAPAR (2019).

Figura 9. Extrato do balanço hídrico mensal médio de 1988 a 2018.

É possível observar (Figura 9) que de janeiro a julho, os valores médios do extrato do balanço da série histórica de 1988 a 2018, apresentou excedente hídrico com índice máximo acima de 140 mm, com declínio em março, pequena recuperação em maio com altura de aproximadamente 40 mm e partir de junho contínua queda do excedente devido a ocorrências de chuvas cada vez menos frequentes (Figura 8), resultando no mês de agosto como o único período mensal médio que apresenta deficiência hídrica e retirada hídrica, com valores negativos de aproximadamente 5 e 25 mm, respectivamente.

A recuperação do déficit hídrico médio é rápida e ocorre durante o mês de setembro com índice médio de reposição hídrica de aproximadamente 30 mm.

Essa condição demonstrada está de acordo com as características da classificação climática da área de estudo, como apresentado, do tipo Cfa, com período de seca curto e chuvas bem distribuídas ao longo de todo ano hidrológico. Dessa forma, para melhor compreensão das relações entre balanço hídrico e fluviometria a Figura 10 mostra a média mensal histórica das vazões no ribeirão Cafezal entre os anos de 1994 e 2017.



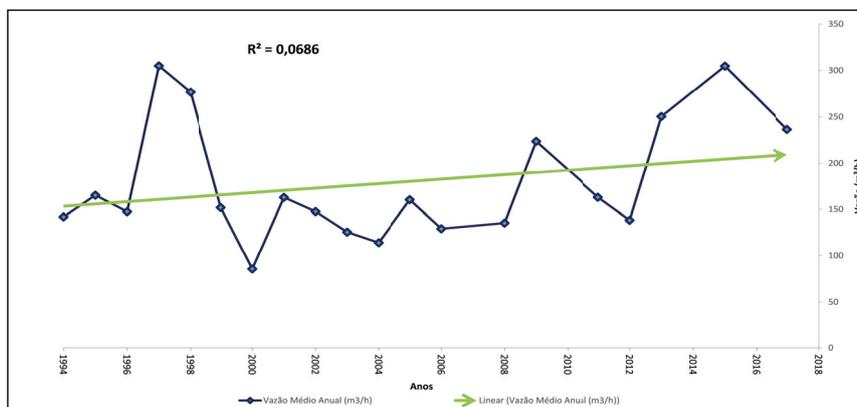
Fonte: Elaborado a partir de dados do IAPAR (2019) e Instituto Água e Terra (2019).

Figura 10. Média mensal histórica fluviométrica entre 1994 e 2017.

O comportamento médio das vazões mensais em 23 anos de levantamentos é condizente com ganhos e perdas hídricas representadas no balanço hídrico médio entre os anos de 1988 e 2018 (Figuras 8 e 9). Por exemplo, o mês de setembro caracteriza-se por ser um mês de recuperação hídrica (Figura 9), assim os reflexos de elevação da vazão média mensal da bacia ocorrem somente a partir do final deste mês, ao mesmo tempo que atinge o menor índice histórico de vazão com valor de 144 m³/h, a partir desse pico mínimo, os índices fluviométricos se tornam ascendente ao longo dos demais meses de verão atingindo a máxima média em meados do mês de fevereiro com 277 m³/h de vazante.

Tal condição ocorre, pois a reposição hídrica indica o momento de início de recuperação da umidade dos solos que, após ser sanada, quando se evidencia os meses de excedente hídrico, inicia-se a infiltração da água para zonas mais profundas que proporcionará a recarga das águas subterrâneas, aumentando assim o volume de água no fluxo de base do ribeirão Cafezal, que, por sua vez, contribuirá para a elevação média da vazão.

Diante desse contexto, a Figura 11 ilustra o comportamento da vazão nos meses identificados pelo balanço hídrico (figuras 8 e 9) como os de menor precipitação média e déficit hídrico, ou seja, julho a setembro e como fenômeno ENOS interfere nessa condição da distribuição fluviométrica ao longo da série histórica anual durante o período seco (predominante inverno).



Fonte: Elaborado a partir de INSTITUTO ÁGUA E TERRA (2019).

Figura 11. Média histórica de fluviometria dos meses de menor média de precipitação (julho a setembro) entre 1994 e 2017.

Com valor médio anual de vazão em torno de 178 m³/h (Tabela 6), a Figura 11 mostra um dos aspectos mais relevantes dos resultados da presente pesquisa para os últimos 23 anos de levantamentos fluviométricos, revelando evolução positiva no aumento das vazões médias para o período seco para os últimos 8 anos da bacia estudada, saltando de valores médios anuais 136,9 m³/h entre 1998 e 2005 para 232,5 m³/h entre 2006 e 2016, ou seja, os anos de ocorrência de invernos com valores médios de vazão cada vez mais elevados.

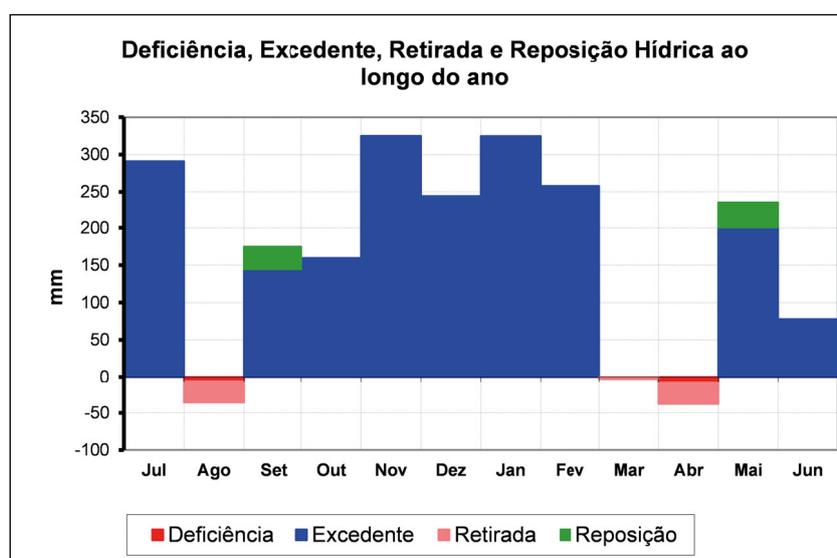
Tabela 4. Distribuição estatística da distribuição média mensal anual de precipitação entre 1988 e 2018.

Média	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
178,2	156,1	64,4	305,1	85,3
Ano de Ocorrência =====>			1997	2000
ENOS e Classificação =====>			El Niño Forte	La Niña

Fonte: Próprio autor, 2020.

O presente trabalho mostra que a distribuição histórica anual média dos fatores climáticos do balanço hídrico, fluviometria e valores de regressão linear, indicam grande variabilidade de distribuição de períodos secos e úmidos ao longo das séries históricas avaliadas, ocorrendo alternâncias significativas entre essas características, influenciados, principalmente pela ação de ENOS e suas intensidades, ao mesmo tempo, os resultados evidenciam tendências de elevação nos valores médios anuais e mensais de precipitação e vazão na bacia, aumentando o temor de eventos extremos cada vez mais frequentes relacionados a chuva.

O ano de 2015 e 2016 foi o último período de ação de El Niño de forte intensidade, e como já mencionado, levando a graves prejuízos econômicos e socioambientais para bacia hidrográfica do ribeirão Cafezal. Diante disso, foi estimado o balanço hídrico regional para esse período (Figura 12).



Fonte: Próprio autor, 2020.

Figura 12. Extrato do balanço hídrico mensal médio entre 2015 e 2016.

Comparando a Figura 12 com o extrato histórico médio mensal entre 1988 e 2018 (Figura 9), a média histórica de 30 anos da série de dados para julho não excede 28 mm, por exemplo, enquanto que para o mês de julho de 2015 o excedente hídrico acumulado era de 291 mm. Além disso, nota-se que o acumulado de excedente entre outubro de 2015 e janeiro de 2016 ultrapassou 1050 mm mensais, enquanto que na série histórica os valores acumulados médios mensais foram de 305,5 mm, ou seja, o excedente hídrico para os meses comparados em 2015/2016 está aproximadamente 300% acima da média histórica para esse período. Dessa forma, a Figura 12 deixa evidente o comportamento anômalo das médias mensais do extrato do balanço hídrico em 2015/2016.

Conclusões

Os estudos aqui desenvolvidos relacionados a evolução da fluviometria e balanço hídrico da bacia do ribeirão Cafezal mostraram que a precipitação e temperaturas médias mensais anuais durante a série histórica estudada, apresenta tendência de crescimento.

Apesar de Londrina estar na zona de transição intertropical, o fenômeno climático ENOS tem afetado a dinâmica de chuvas e fluviometria da região, principalmente os eventos considerados de moderado à forte, quando Londrina-PR tem registrado um grande volume de precipitação, impactando nos níveis fluviométricos da bacia e, inclusive a ocorrência de eventos extremos, como ocorreu entre os anos de 2015 e 2016.

O balanço hídrico mostrou que os meses de menor volumes de precipitação são julho e setembro, sendo agosto o mês médio menos chuvoso e setembro o período de recuperação hídrica e os grandes volumes de precipitação médio ocorrem entre janeiro e fevereiro.

As médias mensais da série histórica analisada de fluviometria apontam a partir da análise das linhas de função linear de tendência, o crescimento contínuo da vazão para a bacia do ribeirão Cafezal, mesmo para os períodos históricos mais secos, influenciados pelo aumento contínuo do total de precipitação e das médias de temperatura, evidenciando assim o temor de aumento de frequência de eventos extremos ligados a fenômenos climáticos como o El Niño, algo que necessitará de estudos mais aprofundados sobre o comportamento climático da Região de Londrina-PR e suas bacias para confirmação ou não desta hipótese.

Em relação ao evento extremo registrado em 11 de janeiro de 2016, o acumulado de excedente hídrico de 1050 mm mensais entre outubro e janeiro sobre influência de El Niño de forte intensidade foi de fundamental importância para a produção de graves impactos econômicos e socioambientais, não apenas para a bacia do ribeirão cafezal, como ficou comprovado, mas também para toda a região do norte do estado do Paraná.

Referências

- ANA (Agência Nacional de Águas). **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos.** Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011.
- ARAÚJO, R. G. et al. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 469–480, 2013.
- BARROS, M. V. F. B.; BARROS, O. N.; POLIDORO, M.; PEREIRA, A. C. F. Atlas Digital da Região Metropolitana de Londrina. **Grupo IMAP&P - Imagens, Paisagens & Personagens.** Universidade Estadual de Londrina. 2011.
- BRAGA, T. M.; OLIVEIRA, E. L.; GIVISIEZ, G. H. N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. **Revista São Paulo em Perspectiva**, São Paulo: Fundação SEADE, v.20, n.1, p.81- 95, jan./mar. 2006.
- CALDANA, N. F. S.; MARTELOCIO, A. C.; RUDKE, A. P.; NITSCHKE, P. R. Eventos Extremos e Variabilidade Pluviométrica em Londrina-PR: Estudo de Caso das Chuvas de 11 de janeiro de 2016. **Geografia em Questão (Online)**, v. 12, p. 9-27, 2019.
- CPTEC/INPE. El Niño. **Evolução dos Últimos El Niño e La Niña**, 2020. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 12 de setembro de 2020.
- DAMIÃO, J. O. et al. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira, Noroeste Paulista. IN: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2010, Uberaba. **Anais Eletrônicos...** Uberaba: CONIRD, 2006. Disponível em: http://falcao.feis.unesp.br/agr/pdf/conird2010_damiao.pdf. Acesso em: 15 jul.2019.
- DIONISIO, V. H. A. **Movimento gravitacional de massa em latossolo vermelho no município de Arapongas no norte do Paraná: causa e efeito.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017, 87 p
- GARCIA, J. R.; MIYAMOTO, B. C. B.; MAIA, A. G. Eventos extremos de precipitação: identificação e análise da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí, São Paulo. **CONFINS (PARIS)**, v. 37, p. 1, 2018.
- GRIMM, A. M. El Niño, novamente! **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 351–352, 2015.
- GOOGLE EARTH. **Imagens de alta resolução: 2015 e 2016.** Disponível em <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/> . acesso em 12 fev. 2020.

GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. da, org. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, 394 p.

IAPAR. **Dados da Temperatura e Precipitação de 1988 a 2018**. Estação Agrometeorológica de Londrina. 2019.

IAPAR, Instituto Agronômico do Estado do Paraná. **Monitoramento Agroclimático do Paraná**. Arquivo eletrônico (on-line). Disponível em http://www.idrparana.pr.gov.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Entenda_Tabela.htm . Acesso em 09/07/2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento do El Niño durante DJF-2019**. CEPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, 2019. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 23 jul. 2019.

INSTITUTO DE ÁGUA E TERRA. **Sistema de Informações Hidrológicas**: Relatório de Vazões Fluviométricas. 2019. Disponível em: <http://aguasparana.pr.gov.br>. Acesso em: 02 mai. 2019.

KIM, W. et al. The unique 2009-2010 El Niño event: A fast phase transition of warm pool El Niño to la Niña. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 15, p. 1–5, 2011.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro/Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981.

MARENGO, José A. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil**. FBDS, 2009. Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf. Acesso em: 25 de jun. 2015.

MARQUES, L. (2015). **Capitalismo e Colapso Ambiental**. 3 ed. Editora da Unicamp, 2018, 376p.

MILANI, E.J. **Evolução Tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 1997. 255 p.

MINEROPAR S.A. **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

MORAIS, M. L. R. **Uso e ocupação do solo e sua relação com as características limnológicas da bacia do Ribeirão Cafezal – Londrina/PR**. Monografia (Curso Superior de Engenharia Ambiental) - Campus Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina 2015.

MINUZZI, R. B. Chuvas em Santa Catarina durante eventos do El Niño oscilação sul. **Geosul**, v. 26, n. 50, 2010.

NAKASHIMA, P. NOBREGA, M. T. (2003). Solos do Terceiro Planalto Paranaense. **Anais...** In: 1º Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense, Maringá.

PREFEITURA DE LONDRINA. **Dados Geográficos**. Disponível em: https://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=58. Acesso em: 13 jul. 2019.

SOUZA, N. S.; SOUZA, W. J.; CARDOSO, M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. V.22, n. 3 . p. 453-462, 2017.

SANTOS, V. O.; FERREIRA, V. O. Efeitos das mudanças do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da sub-bacia hidrográficas representativas da mesoregião Triângulo Mineiro / Alto Paraíba, Estado de Minas Gerais. **Horizonte Científico**. Vol. 8, nº 1 (jul). 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/22531>. Acesso em: 18 mai. 2019.

SILVA, Jerri Augusto da. Tendências do novo rural na bacia do ribeirão Cafezal. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 117p, 2006.

SILVA, G. F., CARAMORI, P. H., FARIA, R. T. Precipitações Pluviais Extremas em Londrina – PR. **Revista Geografar**. Curitiba, v.7, n.2, p153-173, dez./2012. Disponível em: <file:///C:/>

Users/mjsar/Desktop/25938-111278-1-PB.pdf. Acesso em 24 jul. 2019.

SOUZA, K. B. **Influência do Uso e Ocupação do Solo na Vazão da Bacia Uruçuí-Preto, Piauí.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Piauí. Piauí. 2015

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balances. **Drexel Institute of Technology**, v.8, 104 p., 1955.

