

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

FLAVYA FERNANDA FRANÇA VILELA

**PADRÃO DAS CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL
DO CÓRREGO DO GLÓRIA, EM UBERLÂNDIA/MG**

Uberlândia

2023

FLAVYA FERNANDA FRANÇA VILELA

PADRÃO DAS CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL
DO CÓRREGO DO GLÓRIA, EM UBERLÂNDIA/MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho.

Uberlândia

2023

FLAVYA FERNANDA FRANÇA VILELA

PADRÃO DAS CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL
DO CÓRREGO DO GLÓRIA, EM UBERLÂNDIA/MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Uberlândia, 02 de fevereiro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho – Docente ICIAG/UFU

Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira – Docente FECIV/UFU

Prof. Dr. Roberto Terumi Atarassi – Docente ICIAG/UFU

Dedico este trabalho à minha mãe, minha maior incentivadora, pela educação que me deu e pelo amor que me dedicou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida, por possibilitar a mim evoluir e buscar livremente aquilo em que acredito.

Agradeço aos meus pais Fernanda e Júnior, por todo o apoio e carinho, essa conquista é de vocês também. Ao meu esposo Caetano, pelo companheirismo, pela cumplicidade e pelo apoio em todos os momentos delicados dessa minha jornada.

Ao professor Hudson de Paula Carvalho, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com competência e dedicação.

Aos membros dos laboratórios: de Climatologia e Meteorologia Ambiental (CliMA), de Hidrologia (HIDRO), de Saneamento (LABSAN), e de Tecnologia Ambiental (LATEC) por todo suporte e incentivo.

Às minhas irmãs e aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas (Fapemig) pelos recursos, pela bolsa e pelo apoio que sempre me ofereceu durante meu percurso, possibilitando minha dedicação ao projeto.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma, para a realização deste trabalho.

“Procurem deixar este mundo um pouco melhor
do que o encontraram.”

(BADEN-POWELL, 1975, p. 368)

RESUMO

A compreensão dos principais padrões da distribuição temporal da precipitação viabiliza a execução de estudos e obras na engenharia e na agropecuária. A variação da intensidade durante a chuva é uma dessas importantes características. Entretanto, pouco se sabe sobre os padrões de chuva ocorrentes no Brasil, devido a falta de dados pluviométricos com pequenos intervalos no tempo. Este trabalho teve como objetivos determinar os padrões das chuvas convectivas verificadas na Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória (BHEGL), em três padrões propostos. Dados pluviométricos com intervalo de 5 minutos foram cedidos por quatro pontos de controle dentro da BHEGL, sendo eles: a Estação Hidrométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (HGL), a Estação Meteorológica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (MGL), a Estação Pluviométrica 1 da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (PGL1) e a Estação Pluviométrica 2 da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (PGL2), compreendendo o período de 2016 a 2022. As chuvas foram classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, de acordo com a posição do pico de máxima intensidade. Das 637 chuvas convectivas individuais analisadas na HGL, 1.074 na MGL, 646 na PGL1 e 859 na PGL2, os padrões, intermediário, adiantado e atrasado, corresponderam em média a 58,85; 24,55 e 16,35% do total de chuvas, consecutivamente. Isso caracteriza o padrão intermediário como o padrão de chuvas mais frequente na BHEGL.

Palavras-chave: séries temporais; chuvas convectivas; perfil de precipitação.

ABSTRACT

Understanding the main patterns of temporal distribution of precipitation makes it possible to execute studies and works in engineering and agriculture. The variation of intensity during the rain is one of these important characteristics. However, little information is known about rainfall patterns in Brazil, due to the lack of rainfall data with small intervals in time. This work aimed to determine the convective rain patterns observed in the Experimental Watershed of Gloria Stream (BHEGL), in three proposed patterns. Rainfall data with a 5-minute interval were provided by four control points within the BHEGL, namely: the Gloria Stream Hydrographic Station (HGL), the Gloria Stream Watershed Meteorological Station (MGL), the Rainfall Station 1 of the Gloria Stream Watershed (PGL1) and the Glória Stream River Basin (PGL2) Rainfall Station 2, covering the period from 2016 to 2022. The rains were classified in advanced, intermediate and late pattern, according to the position of the peak of maximum intensity. Of the 637 individual convective rains analyzed in HGL, 1074 in MGL, 646 in PGL1 and 859 in PGL2, the patterns intermediate, advanced and late, corresponded an average of 58.85; 24.55 and 16.35% of the total rainfall, consecutively. This characterizes the intermediate pattern as the most frequent rainfall pattern in BHEGL.

Keywords: temporal series; convective rains; precipitation profile.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Ilustração de chuva convectiva.....	04
Figura 2 -	Representação gráfica dos padrões de chuva adiantada (AV), intermediária (IN) e atrasada (AT).....	05
Figura 3 -	Representação gráfica do padrão adiantado.....	06
Figura 4 -	Representação gráfica do padrão intermediário.....	07
Figura 5 -	Representação gráfica do padrão constante.....	07
Figura 6 -	Representação gráfica de chuva com picos iguais em diferentes pontos.....	08
Figura 7 -	Representação gráfica do padrão atrasado.....	08
Figura 8 -	Mapa da Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória....	10
Figura 9 -	Esquema representativo do pluviômetro de balança.....	12
Figura 10 -	Fluxograma do processo de análise de dados.....	13
Figura 11 -	Exemplo de um <i>dataframe</i> da PGL2.....	14
Figura 12 -	Parte do código produzido em linguagem <i>Python</i> ®.....	15
Figura 13 -	Número de ocorrência de chuva x duração.....	19
Figura 14 -	Número de ocorrência de chuvas convectivas por mês.....	20
Figura 15 -	Volume de chuva em mm (eixo y) por tempo em % (eixo x).....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Localização das estações de estudo.....	11
Tabela 2 -	Detalhamento das estações de estudo.....	12
Tabela 3 -	Exemplo de padrões de chuva.....	14
Tabela 4 -	Exemplo de classificação de chuva.....	17
Tabela 5 -	Dados chuvas convectivas (CC).....	18
Tabela 6 -	Porcentual de chuva nos pontos monitorados.....	20
Tabela 7 -	Porcentual anual dos padrões nos pontos monitorados.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Padrão de chuva atrasada
AV	Padrão de chuva adiantada
BHEGL	Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória
CC	Chuva convectiva
CliMA	Laboratório de Climatologia e Meteorologia Ambiental
HGL	Estação Hidrométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória
HIDRO	Laboratório de Hidrologia
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IN	Padrão de chuva intermediária
MGL	Estação Meteorológica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória
PGL1	Estação Pluviométrica 1 da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória
PGL2	Estação Pluviométrica 2 da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Justificativa	1
1.2.	Objetivo	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1.	Chuva convectivas	3
2.2.	Distribuição temporal da chuva	4
2.2.1.	Relação entre precipitação e erosividade.....	4
2.2.2.	Classificação das precipitações.....	5
2.2.3.	Estudos sobre padrões de chuvas.....	9
3	METODOLOGIA.....	10
3.1.	Local de estudo.....	10
3.2.	Processamento de dados.....	13
3.3.	Método	16
4	RESULTADOS	18
5	DISCUSSÕES.....	22
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24

1 INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A precipitação pluvial é o principal componente do ciclo hidrológico, representando a maior porcentagem da recarga de água de uma bacia hidrográfica, tornando-a uma variável reguladora da produtividade primária e secundária (MELLO *et al.*, 2013). O estudo do regime de chuvas de uma região é comumente realizado a partir de dados de estações pluviométricas, obtidos por meio de um pluviômetro ou pluviógrafo. Sua medição é feita com a altura de água ou lâmina que seria acumulada em superfície plana se nenhuma perda ocorresse.

Frente à importância da água, a compreensão dos principais padrões da distribuição espacial e temporal da precipitação, bem como a previsão do seu comportamento é essencial ao planejamento e gestão de recursos hídricos e para tomada de decisões relacionadas a atividades socioambientais e desenvolvimento do agronegócio (SOARES *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2021). Ademais, a compreensão da distribuição espacial e temporal da precipitação pode, também, minimizar a vulnerabilidade humana por meio da gestão ambiental sustentável (MAIER *et al.*, 2016).

A caracterização física da chuva se torna necessária em estudos que buscam identificar tendências da precipitação em determinada região, quanto à duração e intensidade, bem como a ocorrência de chuvas convectivas e frontais. Nunes *et al.* (2021) relata a importância da caracterização física da chuva no planejamento e gestão urbana, em controle de inundações e em projetos de infraestrutura hídrica.

Eventos de precipitação extrema e inundações, indicando mudanças climáticas globais, estão relatados no Capítulo 11 do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2021). O aumento projetado na intensidade de precipitação extrema representa maior frequência e magnitude de inundações pluviais devido à elevação da intensidade de precipitação que excede a capacidade de sistemas de drenagem.

Analisar os efeitos das chuvas intensas em termos de erosão do solo e transporte de sedimentos e identificar áreas de risco para atividades humanas é essencial para a sociedade. O escoamento superficial e a degradação das partículas do solo causadas por chuvas intensas tornam a análise da precipitação um dos produtos mais importantes da engenharia de conservação do solo e da água (BESKOW *et al.*, 2009). O conhecimento das características das chuvas aumenta a segurança no planejamento de estruturas de conservação do solo, como: obras hidráulicas para controle de cheias, barragens e canais de drenagem urbana, e auxilia no

mapeamento de áreas com maior potencial para ocorrência de erosão do solo, entre outras aplicações. Contudo, torna-se necessário estimar a chuva intensa associada a uma determinada frequência de ocorrência, requerendo o conhecimento da relação entre sua intensidade, duração e frequência (BACK *et al.*, 2011).

Segundo Mehl *et al.* (2001), em razão da intensidade das chuvas, classificamo-las em: padrão adiantado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT), quando a localização dos picos de maior intensidade está no início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente. O conhecimento desses padrões é de grande importância na determinação de histogramas de projeto e estudos de perdas de solo e água em bacias hidrográficas.

1.2. Objetivo

O objetivo geral do presente trabalho foi caracterizar o padrão da chuva na Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória (BHEGL), em Uberlândia - MG. Primeiramente, foram determinadas as chuvas convectivas utilizando dados pluviométricos de quatro pontos de controle, sendo eles: uma estação meteorológica, uma estação hidrométrica e duas estações pluviométricas. Na segunda etapa o objetivo foi, a partir desse banco de dados pluviométrico, obter histogramas das precipitações (gráfico da precipitação durante um determinado período de tempo em um dado local) e caracterizar as ocorrências de cada padrão de chuva (adiantada, intermediária e atrasada). Por fim, comparar os resultados obtidos na BHEGL com de outros estudos, visando, com isso, avaliar a variação dos padrões de chuva em diferentes regiões no Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

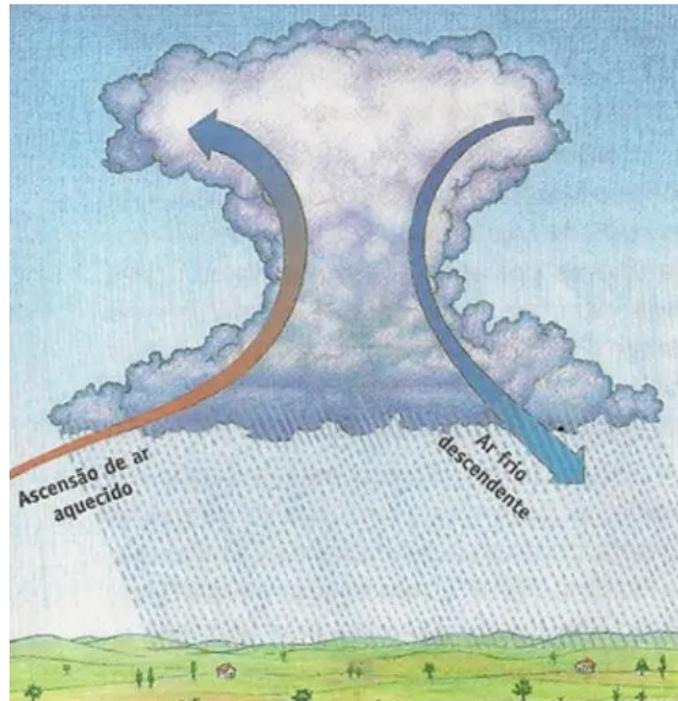
2.1. Chuva convectivas

O vapor de água contido na atmosfera constitui um reservatório potencial de água que, ao condensar-se, possibilita a ocorrência de precipitações. Com base nos mecanismos de formação das precipitações, estas podem ser classificadas em: chuvas convectivas, orográficas e frontais ou ciclônicas. De acordo com Mello *et al.* (2013), o regime pluvial do Estado de Minas Gerais é afetado pela ocorrência de chuvas frontais, chuvas convectivas e chuvas geradas pela influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As chuvas frontais ocorrem ao longo de todo ano, sendo elas de longa duração e intensidades de baixa a média magnitude, predominando no sul de Minas Gerais; são responsáveis por inundações em grandes bacias hidrográficas. A ZCAS consiste de um canal de umidade com origem na região Amazônica, que atinge o Sudeste do Brasil; podem ser de grande magnitude, com grandes volumes de chuva durante vários dias, com alto potencial erosivo, bem como inundações.

Já as chuvas convectivas, são características das regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, podendo ocorrer nas regiões temperadas por ocasião do verão (TUCCI, 1997). Sendo, geralmente, chuvas de grande intensidade, de pequena duração e responsáveis por inundações em pequenas bacias hidrográficas. Para este estudo, quanto maior a duração da precipitação, menos uniforme é a sua distribuição temporal. Segundo Fisch *et al.* (2007), esse processo é tipicamente local (escala de variação inferior a 1 km) e de curta duração (tempo menor que 1 hora).

O aquecimento díspar da superfície terrestre provoca o aparecimento de camadas de ar com diferentes densidades, o que gera uma estratificação térmica da atmosfera em equilíbrio instável. Se esse equilíbrio for quebrado, decorrentes a ventania ou superaquecimento, ocorrerá uma ascensão brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir grandes altitudes (VILLELA *et al.*, 1975). Na Figura 1 está representado este processo de formação das chuvas convectivas.

Figura 1 – Ilustração de chuva convectiva.



Fonte: Jean-François Beaux. *L'environnement repères pratiques*. Paris, Nathan, 1998.

2.2. Distribuição temporal da chuva

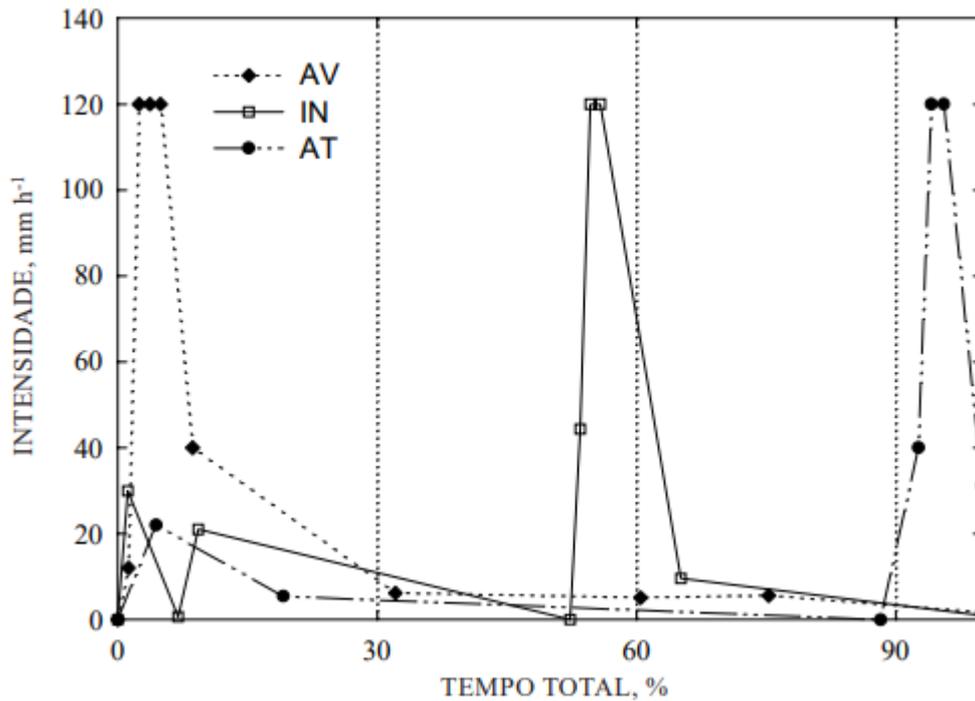
2.2.1. Relação entre precipitação e erosividade

Perdas do solo podem variar para chuvas com a mesma erosividade, dependendo da umidade antecedente à chuva e da variação da intensidade durante a chuva pela ocorrência de picos de alta intensidade. Segundo estudo de Eltz *et al.* (2001), grande parte das pesquisas em conservação do solo utilizam o mesmo padrão de chuva dos Estados Unidos, sem saber se esse padrão é semelhante ao padrão de chuva mais frequente no local de estudo. Esse padrão utiliza uma chuva de 60 mm h^{-1} , durante 60 min, e, 24 h após, outra chuva de 60 mm h^{-1} , durante 30 min. Trinta minutos após o término da segunda chuva, é aplicada uma terceira chuva, com 120 mm h^{-1} , durante 18 min. O estudo complementa que o efeito destas chuvas nas perdas de solo é semelhante ao efeito das chuvas de padrão atrasado, quando o pico de maior intensidade cai sobre o solo já umedecido. Com isso, a variação da intensidade durante a ocorrência das chuvas naturais é negligenciada.

Ter um único padrão pode não ser o mais representativo para todas as regiões, pois as características das chuvas mudam de região para região. Para a avaliação deste estudo foram

caracterizadas precipitações em três padrões: adiantado, intermediário e atrasado, representados na Figura 2 e detalhados nos tópicos a seguir.

Figura 2 – Representação gráfica dos padrões de chuva adiantada (AV), intermediária (IN) e atrasada (AT).

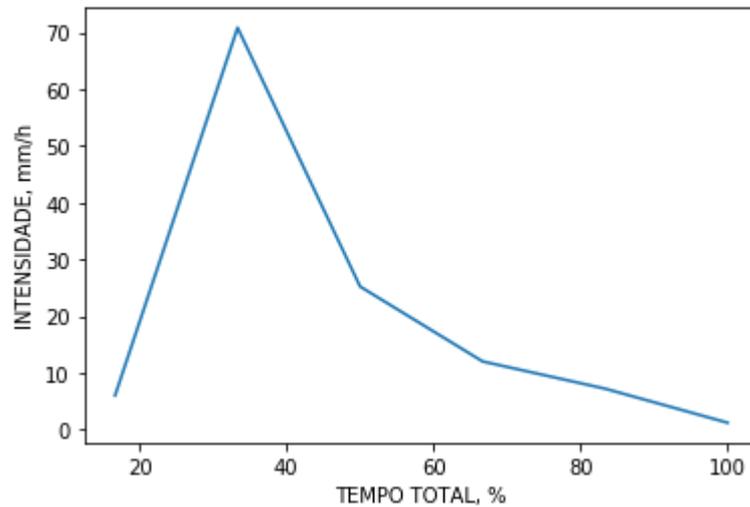


Fonte: ELTZ et. al. (2001).

2.2.2. Classificação das precipitações

A chuva é classificada como padrão adiantado, quando a maior intensidade ocorre em um período de tempo menor do que um terço, adotado como 33,34%, a partir do momento inicial da chuva, em relação ao tempo de duração total da chuva (Figura 3).

Figura 3 – Representação gráfica do padrão adiantado.

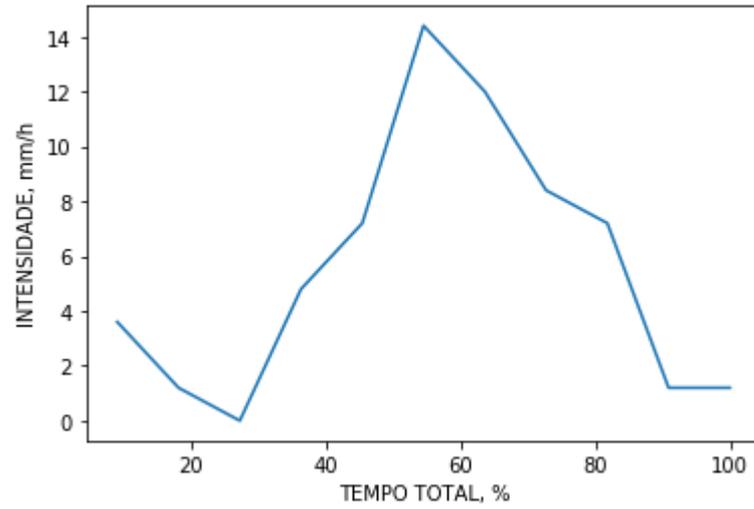


Fonte: Autoral (2022).

No padrão intermediário, quando a maior intensidade ocorre em um período de tempo entre um e dois terços, de 33,34 a 66,67% do tempo total da chuva (Figura 4). As chuvas de padrão constante (Figura 5), ou seja, intensidade constante ao longo do tempo, e as chuvas de intensidade iguais em terços diferentes (Figura 6), foram desconsideradas neste estudo por apresentar um padrão ambíguo.

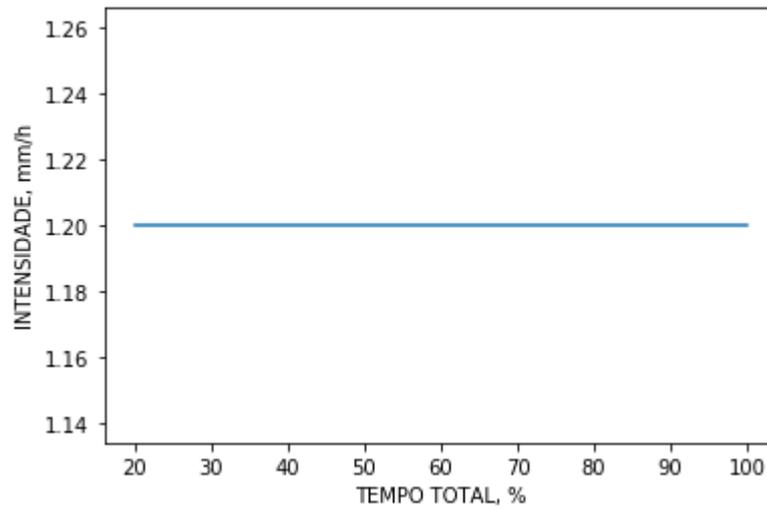
Todavia, as precipitações reais não seguem uma forma constante, apresentando diversos picos de intensidade no decorrer de sua duração total (BEMFICA, 1999). O padrão constante levantado no estudo ocorre pelo fato das precipitações estarem acumuladas em intervalos de cinco minutos, podendo existir somatório dos intervalos iguais ao longo do tempo. Ademais, os pluviômetros das estações avaliadas neste estudo, realizam o registro das chuvas a cada 0,2 mm, com precisão de 0,1 mm. Com isso, os dados pluviométricos ao longo do tempo são registrados sendo valores múltiplos de 0,2 mm, o qual proporciona chuvas de padrão constante.

Figura 4 – Representação gráfica do padrão intermediário.



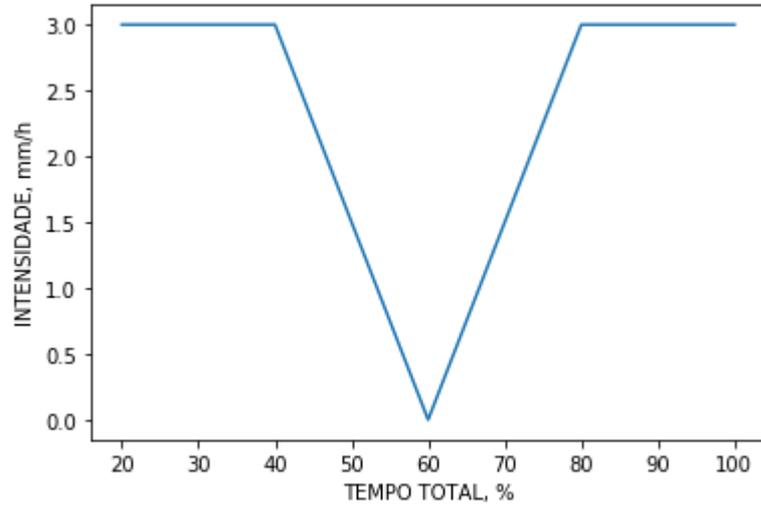
Fonte: Autoral (2022).

Figura 5 – Representação gráfica do padrão constante.



Fonte: Autoral (2022).

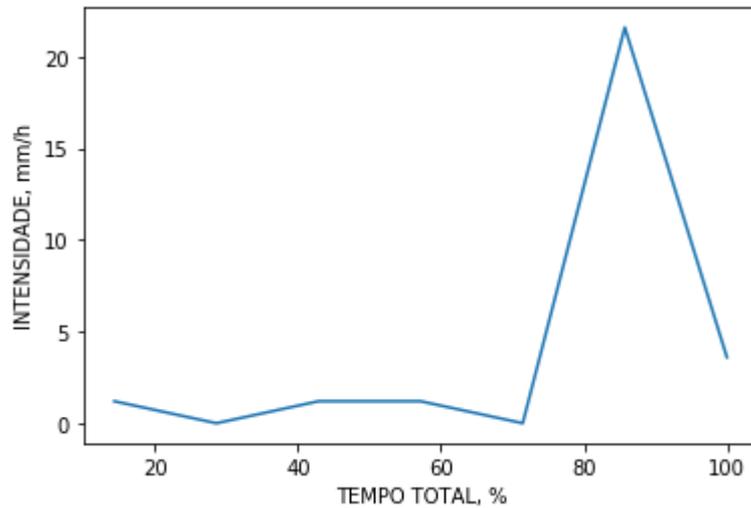
Figura 6 – Representação gráfica de chuva com picos iguais em diferentes pontos.



Fonte: Autoral (2022).

A Figura 7 representa o padrão atrasado, quando a maior intensidade ocorre passados mais de dois terços, adotado 66,67%, do tempo total de duração da chuva.

Figura 7 – Representação gráfica do padrão atrasado.



Fonte: Autoral (2022).

2.2.3. Estudos sobre padrões de chuvas

Mehl *et al.* (2001) realizou o mesmo estudo de caracterizações de padrões de chuvas no Estado de Santa Catarina, utilizando dados pluviométricos de 1963 a 1989, no qual obteve-se um maior padrão de chuvas atrasadas, adiantadas e intermediárias respectivamente. Para maior entendimento dessas características físicas, o autor também realizou o levantamento das precipitações e intensidades máximas das chuvas em cada padrão, avaliando o tempo de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos para as chuvas de duração de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 480 minutos. Sendo que, a maioria das chuvas intensas ocorreu no padrão avançado e os menores períodos de retorno foram estimados para o padrão avançado, seguido pelo padrão intermediário e atrasado.

Há uma grande variabilidade das precipitações entre regiões do Brasil, o que reforça a importância da obtenção de dados locais subsidiando estudos e obras de engenharia agrícola e civil. Ressalta-se que a indisponibilidade de dados pluviométricos em pequenos intervalos de tempo, ou seja, inferiores a uma hora, consiste no principal problema em estudos que envolvem a caracterização dos padrões de chuva local (MOREIRA *et al.*, 2008).

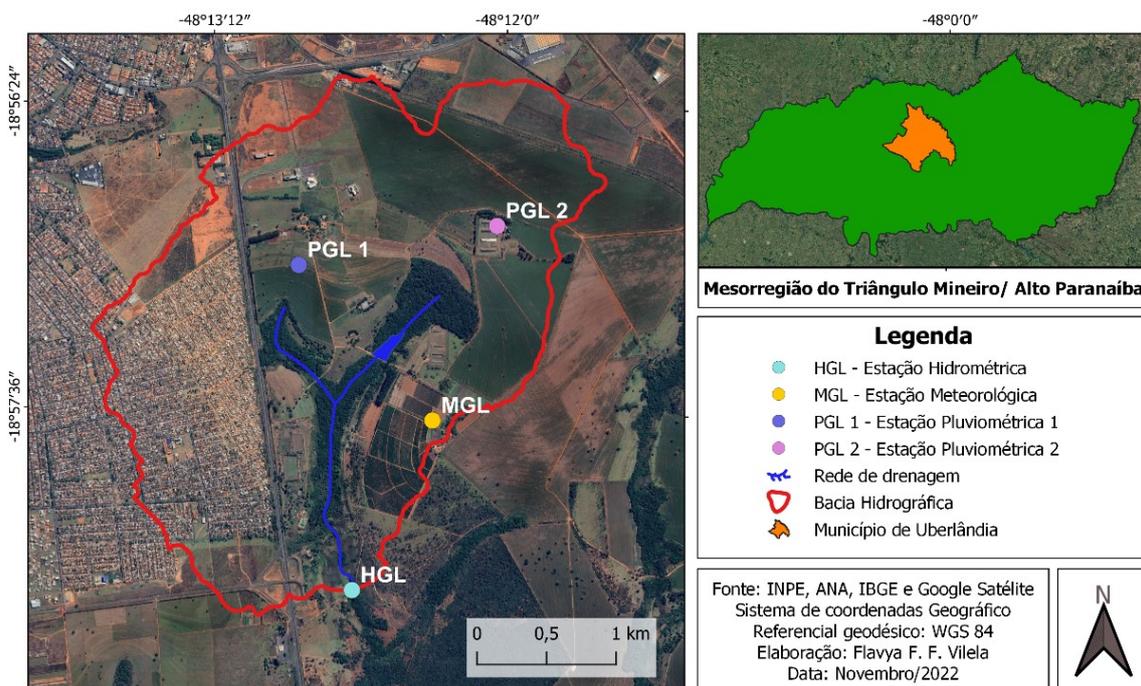
Há outros métodos de estimar a distribuição temporal da chuva em uma região, como por exemplo a utilização das curvas IDF (intensidade-duração-frequência). Pinheiro *et al.* (1997) desenvolveram curvas de variação temporal pelo método de Huff modificado, para avaliar os padrões de chuvas na região metropolitana de Belo Horizonte, onde os eventos chuvosos foram divididos de acordo com as suas durações totais e identificando as chuvas convectivas e suas distribuições temporais. Concluíram que a principal vantagem do método de Huff sobre outros procedimentos de avaliação da distribuição temporal da precipitação é a possibilidade de estabelecimento de hietogramas regionais, desde que se tenha definido previamente a homogeneidade regional. Entretanto, o que sucessivamente ocorre é a aplicação direta, sem nenhuma avaliação das características das tormentas locais, o qual não pode ser considerado como uma regionalização dos gráficos, mas apenas como uma forte simplificação (BEMFICA, 1999).

3 METODOLOGIA

3.1. Local de estudo

A Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória (BHEGL) está localizada na zona urbana do município de Uberlândia - MG, apresenta área aproximada de 8,82 km² e seu exultório é determinado pelo ponto de controle da Estação Hidrométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (HGL), como é mostrado na Figura 1. Pelo sistema de coordenadas geográficas, a BHEGL encontra-se entorno da latitude 18°58'18"S e longitude 48°12'36"O. Trata-se de uma bacia parcialmente urbanizada com o *Campus Glória* da UFU em seu interior. O Córrego do Glória é um dos afluentes do Rio Uberabinha pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. O regime pluvial do município de Uberlândia - MG é caracterizado por inverno seco e verão chuvoso onde se observa a prevalência de sistemas de chuvas frontais e chuvas convectivas.

Figura 8 – Mapa da Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória.



Fonte: Autoral, produzido no QGIS® (2022).

Na área de estudo localiza-se, além da HGL, outras três estações (Tabela 1), sendo elas a Estação Meteorológica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (MGL), a Estação Pluviométrica 1 da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (PGL1) e Estação Pluviométrica 2 da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória (PGL2). As mesmas são monitoradas desde 2015 com dados de intervalos de 5 minutos pelo Laboratório de Hidrologia (HIDRO) e pelo Laboratório de Climatologia e Meteorologia Ambiental (CliMA), ambos do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da UFU. Para o monitoramento das precipitações na BHEGL, as estações estão equipadas com pluviômetros de balsa automática com registrador de dados (*data logger*), com precisão de 0,1 mm e frequência de registro de 5 minutos.

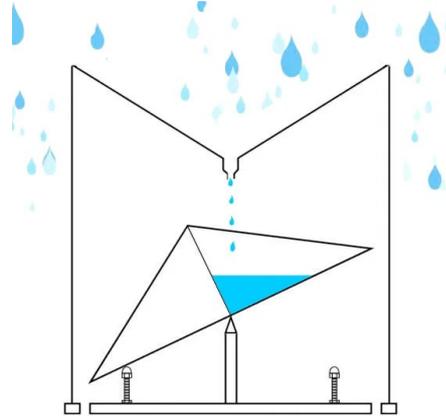
Tabela 1 – Localização das estações de estudo.

Estações	Código	Responsável	Latitude	Longitude
Hidrométrica	HGL	HIDRO	18°58'17,98"S	48°12'36,07"O
Meteorológica	MGL	CliMA	18°57'37,75"S	48°12'16,93"O
Pluviométrica 1	PGL1	HIDRO	18°57'1,60"S	48°12'50,40"O
Pluviométrica 2	PGL2	HIDRO	18°56'51,70"S	48°12'1,80"O

Fonte: Autoral (2022).

O pluviômetro de balsa é composto por uma caçamba dividida em dois compartimentos (Figura 9), de forma que quando um dos compartimentos é preenchido pela água da chuva, a caçamba balsa é esvaziada, marcando o nível pluviométrico no registro eletrônico em sistemas de monitoramento *data logger*, e deixando a outra metade em posição de enchimento para o próximo registro. As estações meteorológica, hidrométrica e pluviométricas são automáticas, necessitando de liberação da memória, no intervalo de 17 dias, 50 dias e 100 dias, respectivamente. A coleta é realizada pela Técnica responsável pelos laboratórios CliMA e HIDRO.

Tabela 9 – Esquema representativo do pluviômetro de báscula.



Fonte: VIKACONTRONS. Disponível em: <https://www.vikacontrols.com.br/produto/pluviometros/>.

No levantamento de dados disponíveis das referidas estações foram anotados os períodos que apresentaram falhas devido à contratempos técnicos, operacionais e oramentrios. A porcentagem de dados ausentes nas estações selecionadas é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Detalhamento das estações de estudo.

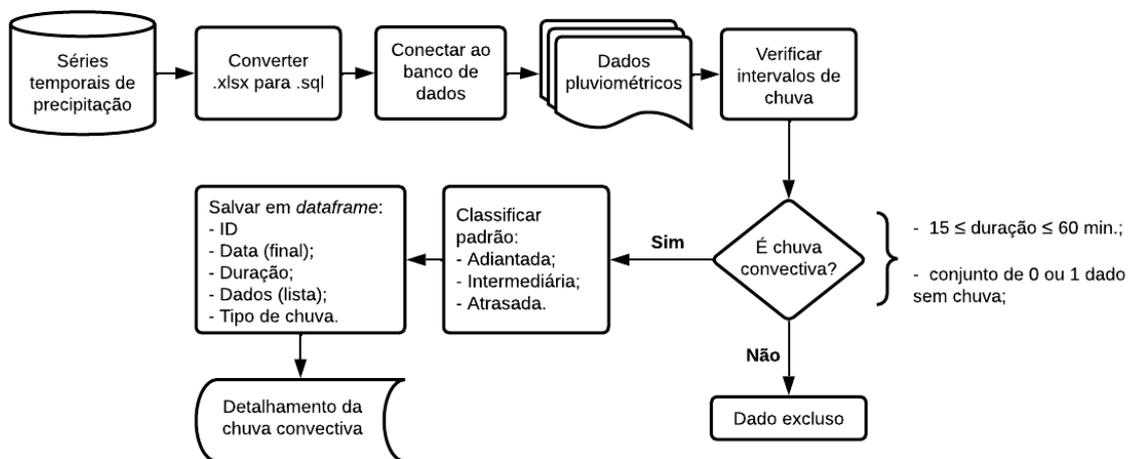
Estações	Período de estudo	Período de falhas	Falhas
HGL	11:30 11/12/2016 a 15:10 20/04/2022	13:20 12/05/2017 a 17:00 05/06/2017	21,9%
		03:05 14/06/2018 a 11:35 15/10/2018	
		15:55 15/10/2018 a 11:15 17/10/2018	
		14:00 16/03/2020 a 19:05 22/04/2020	
		11:20 17/09/2020 a 21:25 15/01/2021	
		18:25 13/03/2021 a 19:50 29/03/2021	
		16:50 25/05/2021 a 21:35 24/06/2021	
		18:35 20/08/2021 a 18:20 07/10/2021	
MGL	16:00 23/10/2015 a 10:55 07/04/2022	15:40 03/12/2021 a 12:50 30/12/2021	1,1%
		00:00 02/10/2020 a 23:55 27/10/2020	
PGL1	16:35 28/01/2017 a 13:25 20/04/2022	14:15 11/09/2020 a 23:00 19/11/2020	3,6%
PGL2	14:20 02/12/2016 a 14:52 20/04/2022	13:50 11/09/2020 a 23:10 19/11/2020	3,5%

Fonte: Autoral (2022).

3.2. Processamento de dados

Para o tratamento e análise dos dados, o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) escolhido foi o MySQL com auxílio da linguagem de programação *Python*®, utilizando a IDE (*Integrated Development Environment*) *Visual Studio Code*®. A Figura 10 apresenta o fluxograma de todo o processo percorrido, iniciando na transformação dos dados, originalmente em forma .xlsx (arquivo Excel®), para banco de dados .sql (arquivos SQL).

Figura 10 – Fluxograma do processo de análise de dados.



Fonte: Autoral (2022).

A segunda etapa do estudo consistiu em identificar as chuvas convectivas que, por apresentarem curta permanência, foram definidas como sendo chuvas com duração máxima de sessenta minutos. O valor máximo de uma hora de duração para chuvas convectivas é referente ao levantamento realizado por Fisch *et al.* (2007) no estudo de variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia.

A Tabela 3 demonstra como foram avaliados os dados de chuva convectivas, sendo cada coluna um exemplo de conjunto de dados extraídos, e cada item da coluna representa existência ou ausência de chuva no período de 5 minutos, onde “x” representa que choveu e “0” representa que não choveu. As colunas A e B representam dados que não foram considerados neste estudo, por se tratar de chuvas com duração menor a quinze minutos. Já os dados das colunas C e D foram considerados por se tratar de chuvas com duração maior ou igual a quinze minutos e menor ou igual a 60 minutos, podendo ter pausas na ocorrência da precipitação de 5 minutos.

Tabela 3 – Exemplo de padrões de chuva.

A	B	C	D
0	0	0	0
0	0	0	0
0	x	x	x
x	x	x	0
0	0	x	x
0	0	0	x
0	0	0	0
...

Fonte: Autoral (2022).

O conjunto de informações de chuvas convectivas foi armazenado em um *dataframe* (estrutura de dados bidimensional em forma de tabelas do pacote Pandas em *Python*®), da seguinte forma (Figura 11): ID (identificação da chuva); Data (dia e hora que terminou a chuva); Duração (em minutos); Dados (conjunto de dados de intensidade da chuva, em mm/h, no formato de listas, para análise visual e construção de gráficos); Tipo de chuva (adiantada, intermediária ou atrasada).

Figura 11 – Exemplo de um *dataframe* da PGL2.

Out[5]:

	Id_chuva	Dia	Duração	Tipo	Dados	Ano	Mês
0	1	2016-12-03 17:45:02	15	intermediaria	[[1.2, 1.2, 0.0], [33.333333333333336, 66.6666...	2016	12
1	2	2016-12-04 22:30:03	30	adiantada	[[6.0, 70.800000000000001, 25.200000000000003, ...	2016	12
2	3	2016-12-05 03:00:04	30	intermediaria	[[1.2, 1.2, 1.2, 3.5999999999999996, 1.2, 3.59...	2016	12
3	4	2016-12-05 04:25:04	15	intermediaria	[[1.2, 1.2, 1.2], [33.333333333333336, 66.6666...	2016	12
4	5	2016-12-06 14:35:06	20	intermediaria	[[6.0, 22.8, 3.5999999999999996, 1.2], [25.0, ...	2016	12
...
854	855	2022-03-28 17:31:37	60	adiantada	[[4.8, 13.200000000000001, 7.199999999999999, ...	2022	3
855	856	2022-04-01 10:51:42	30	adiantada	[[2.4, 2.4, 2.4, 1.2, 1.2, 1.2], [16.666666666...	2022	4
856	857	2022-04-10 18:21:55	20	adiantada	[[39.599999999999994, 31.200000000000003, 8.39...	2022	4
857	858	2022-04-12 06:06:58	30	intermediaria	[[1.2, 2.4, 2.4, 1.2, 1.2, 0.0], [16.666666666...	2022	4
858	859	2022-04-12 07:11:58	60	intermediaria	[[1.2, 1.2, 1.2, 1.2, 2.4, 3.5999999999999996, ...	2022	4

859 rows x 7 columns

Fonte: Autoral (2022).

Nos processos de classificação dos dados, foi utilizado o método de análise sequência da *loop* ‘For’ da linguagem *Python*®, o qual percorreu as tabelas de cada estação seguindo os padrões pré-determinados. As tabelas com os dados originais forneciam data (minuto, hora, dia, mês e ano) e a precipitação acumulada, com intervalos de 5 minutos.

A Figura 12 apresenta parte do código elaborado para o tratamento dos dados de precipitação. Todo o código produzido encontra-se no Apêndice A. As “#” são comentários indicativos para mostrar a função de cada estrutura. Exemplo disso é a indicação do passo “# Segue o processo se a chuva for entre 15 a 60 minutos”, que apresenta dois *if* (no português ‘SE’), onde o primeiro classifica as precipitações existentes (conforme o item B e C da Tabela 3) e o segundo seleciona somente as chuvas convectivas de duração entre quinze a sessenta minutos.

Figura 12 – Parte do código produzido em linguagem *Python*®.

```

py_dados_chuva.py 9+ x
C: > Users > flavy > Desktop > py_dados_chuva.py > ...
35
36 # Lê a tabela de cada estação do banco de dados
37 for i in range(0, (cursor.rowcount-2)):
38     post = table[(i+2)][1]
39     # Segue o processo se a chuva for entre 15 a 60 minutos
40     if table[i][1] == 0 and (ant == 0 or post == 0):
41         if temp_max >= len(list_prec) > temp_min:
42             # Salva as informações da chuva de entrada
43             dic_result['Id_chuva'].append(id_chuva + 1)
44             dic_result['Dia'].append(table[i][0])
45             dic_result['Duração'].append(len(list_prec)*5)
46             id_chuva += 1
47             list_porcet = []
48             list_intenc = []
49             # Calcula o intervalos de intensidade da chuva
50             for d in range(0, len(list_prec)):
51                 list_intenc.append((list_prec[d]/5)*60)
52                 d += 1
53             # Aplica o método de porcentagem
54             for j in range(1, len(list_prec)+1):
55                 list_porcet.append((j*100)/len(list_prec))
56                 j += 1
57             dic_result['Dados'].append([list_intenc, list_porcet])
58             sum_adiantada = 0
59             sum_intermediaria = 0
60             sum_atrasada = 0
61             # Classifica o padrão de cada chuva
62             for x in range(0, len(list_intenc)-1):
63                 if list_porcet[x] < 33.34:
64                     sum_adiantada += list_intenc[x]
65                 elif list_porcet[x] > 66.67:
66                     sum_atrasada += list_intenc[x]

```

Fonte: Autoral, produzida no *Visual Studio Code*® (2022).

3.3. Método

Na verificação do tipo de chuva usou-se o método percentual (Equação 1), separando o tempo total de duração das chuvas em três partes iguais. Esse método de classificação dos padrões da chuva, foi proposto por Horner *et al.* (1941); Mehl *et al.* (2001); Eltz *et al.* (2001), com intuito de se ter o acúmulo das intensidades (mm.h^{-1}) em cada terço de duração.

$$\%T_{(n,D)} = \frac{t_{(n)} * 100}{d_{(D)}} \quad (1)$$

Onde,

$\%T_{(n,D)}$: porcentagem do tempo no intervalo (n), ao longo da duração total (D);

n: intervalos da chuva;

$t_{(n)}$: tempo no intervalo n (minutos);

$d_{(D)}$: duração total da chuva (minutos).

Após realizada a identificação da porcentagem de cada intervalo de tempo ao longo da chuva, é calculada a intensidade em cada intervalo de precipitação com uso da equação demonstrada (Equação 2).

$$I_{(n)} = \frac{P_{(n)} * M}{m} \quad (2)$$

Onde,

$I_{(n)}$: intensidade da chuva no intervalo n (mm.h^{-1});

$t_{(n)}$: precipitação no intervalo n (mm);

m: intervalo da chuva (5 minutos);

M: conversão para chuva de 24 horas (60 minutos).

Soma-se as intensidades em cada terço, e então é feita a identificação da maior concentração de chuva em cada padrão: se 0 a 33,34% chuva adiantada (AV); se 33,35 a 66,67% chuva intermediária (IN); e se maior que 66,67% chuva atrasada.

Tabela 4 – Exemplo de classificação de chuva.

Tempo (min.)	% do Tempo	Chuva (mm)	Intensidade (mm.h ⁻¹)	Soma das intensidades de cada terço	Padrão de chuva
5	8,33%	0,2	2,4	19,2	AV
10	16,67%	0,4	4,8		
15	25,00%	0,4	4,8		
20	33,33%	0,6	7,2		
25	41,67%	0,4	4,8	50,4	IN
30	50,00%	0,4	4,8		
35	58,33%	1,4	16,8		
40	66,67%	1,2	14,4		
45	75,00%	0,8	9,6	7,2	AT
50	83,33%	0,2	2,4		
55	91,67%	0,2	2,4		
60	100,00%	0,2	2,4		

Fonte: Autoral (2022).

A Tabela 4 representa o processo de classificação dos padrões em uma chuva convectiva, de duração de sessenta minutos, o qual apresentou maior concentração de precipitação entre 33,34% e 66,67% da duração total, classificando-a como uma chuva intermediária.

4 RESULTADOS

Na classificação de chuvas convectivas, neste trabalho também denominada CC, com máximo de sessenta minutos de duração, foram identificados 637 intervalos de chuva referentes à HGL, 1074 na MGL, 646 na PGL1 e 859 na PGL2 (Tabela 5). Analisou-se também a porcentagem das CC sobre as chuvas totais, maiores que sessenta minutos, observando a maior ocorrência das CC na região.

Tabela 5 – Dados chuvas convectivas (CC).

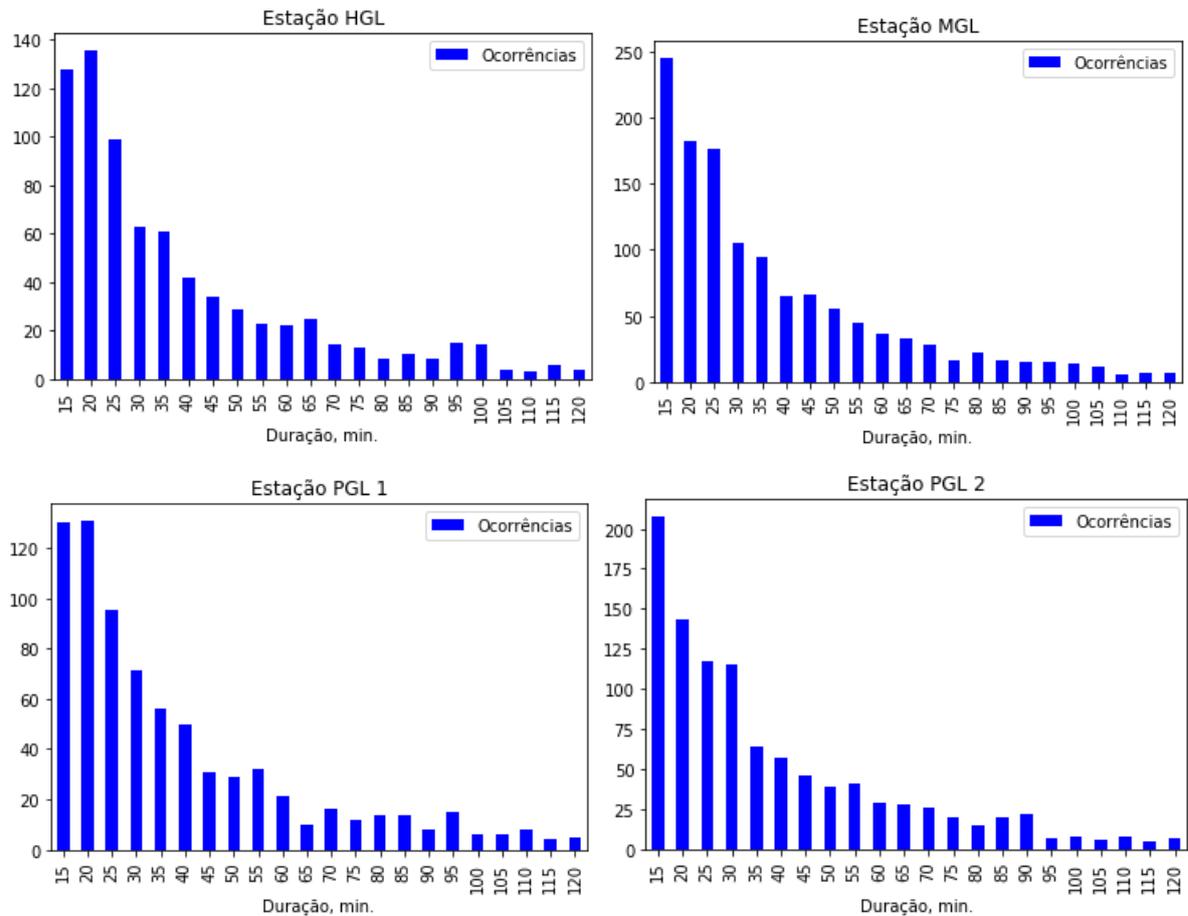
Estações	Nº chuvas totais	% CC
HGL	803	79,3
MGL	1336	80,4
PGL1	818	79,0
PGL2	1134	75,7

Fonte: Autoral (2022).

Chuvas convectivas são caracterizadas por pequenas durações e grandes intensidades durante o verão. Weisman *et al.* (1986); Fisch *et al.* (2007); Mourão *et al.* (2010) distinguiram chuvas de origem convectivas com duração até uma hora, já Pinheiro *et al.* (1997) as diferenciaram, classificando-as em chuvas com duração de uma a quatro horas.

A Figura 13 apresenta a ocorrência das chuvas de até duas horas nos postos de monitoramento, tendendo ao gráfico de regressão exponencial, onde chuvas de maior duração ocorrem com menor frequência. Entretanto, não foram analisadas como ocorrem as chuvas convectivas e suas interrelações espaço-temporais. Estas relações são importantes para se extrapolar medidas pontuais para representar uma determinada área em posteriores aplicações hidrológicas, tais como estimativa do volume de água precipitado sobre uma bacia hidrográfica durante uma chuva intensa.

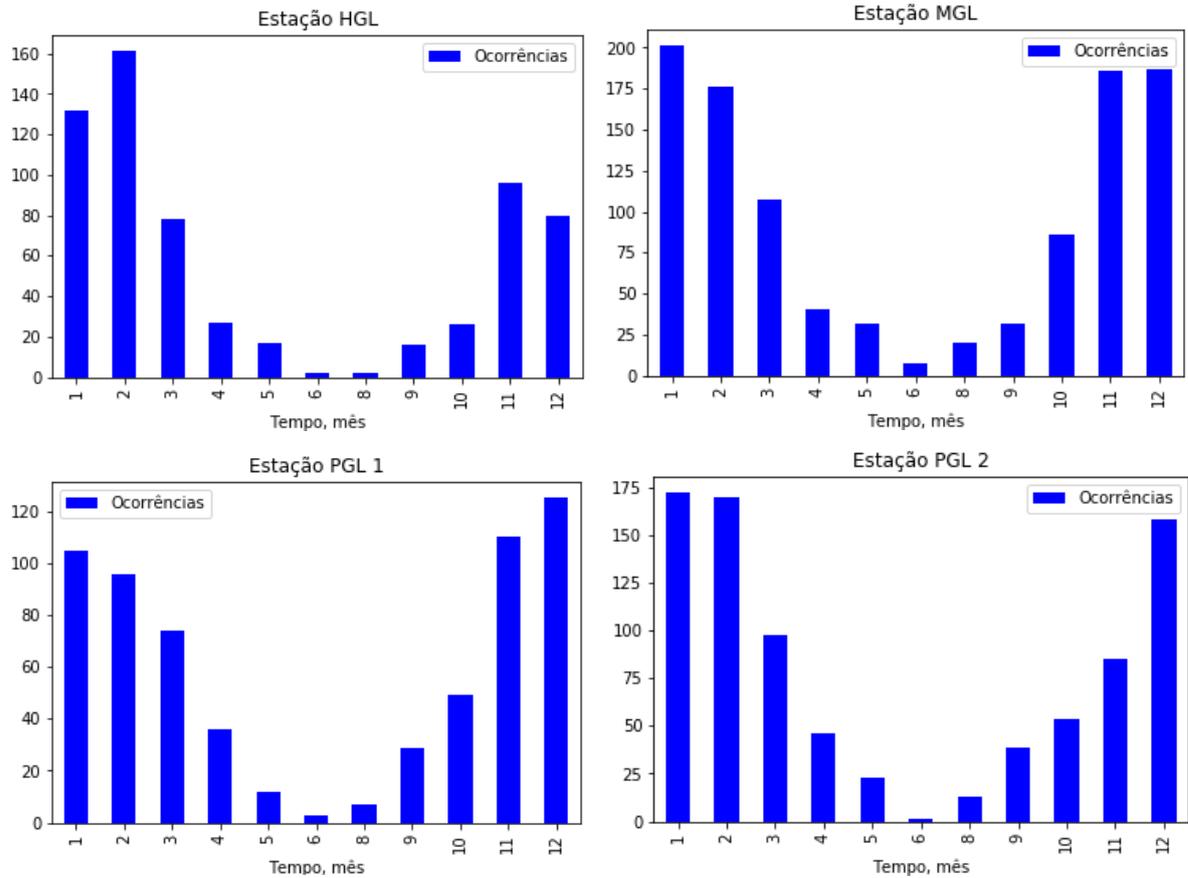
Figura 13 – Número de ocorrência de chuva x duração.



Fonte: Autoral (2022).

Mello *et al.* (2013) apontaram que há maior ocorrência das CC no verão, incentivando o levantamento de ocorrências de chuvas convectivas mensais realizado neste trabalho (Figura 14). Foi verificado que maiores ocorrências de chuvas convectivas se deram no período de outubro a março, período de verão chuvoso na região.

Figura 14 – Número de ocorrência de chuvas convectivas por mês.



Fonte: Autoral (2022).

As Tabelas 6 e 7 apresentam o levantamento dos tipos de chuva nas estações de estudo, havendo uma predominância das chuvas do tipo intermediárias, com média de 58,85% de ocorrência.

Tabela 6 – Porcentagem dos padrões de chuva nas estações.

Estação	Adiantada	Intermediária	Atrasada
HGL	24,3%	59,1%	16,6%
MGL	27,0%	57,0%	15,0%
PGL1	21,9%	59,4%	18,7%
PGL2	25,0%	59,9%	15,1%
Média	24,55%	58,85	16,35%

Fonte: Autoral (2022).

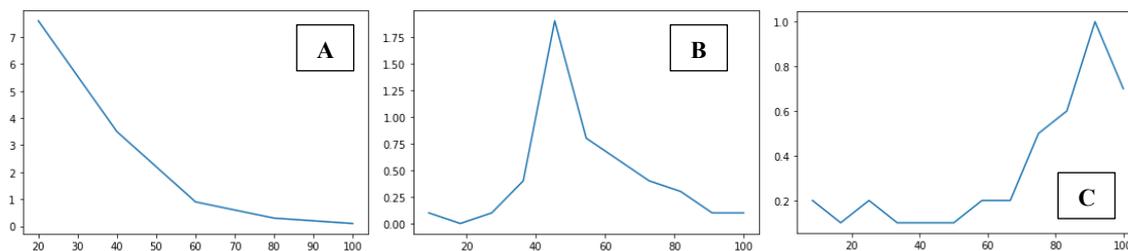
Tabela 7 – Porcentagem anual dos padrões de chuva nas estações.

Tipo	Estação	2017	2018	2019	2020	2021
Adiantada	HGL	16,0%	24,6%	26,7%	30,4%	25,6%
	MGL	23,5%	28,6%	24,8%	28,1%	21,2%
	PGL1	19,8%	22,1%	24,3%	19,2%	19,8%
	PGL2	24,6%	26,9%	32,1%	22,8%	19,6%
Intermediária	HGL	67,9%	57,3%	58,3%	57,0%	48,8%
	MGL	57,6%	56,5%	66,7%	58,8%	55,1%
	PGL1	65,9%	68,2%	53,2%	44,2%	53,8%
	PGL2	60,0%	57,7%	54,0%	60,4%	60,1%
Atrasada	HGL	16,1%	18,1%	15,0%	12,6%	26,6%
	MGL	18,9%	14,9%	8,5%	13,1%	23,7%
	PGL1	14,3%	9,7%	22,5%	36,5%	26,4%
	PGL2	15,4%	15,4%	13,9%	16,8%	20,3%

Fonte: Autoral (2022).

A Figura 15 apresenta, por meio de análise gráfica, o comportamento desses três tipos de chuvas, sendo A as chuvas adiantadas com maior intensidade no início, B as chuvas intermediárias que tendem à uma distribuição simétrica, e C as chuvas atrasadas com maior intensidade no final.

Figura 15 – Volume de chuva em mm (eixo y) por tempo em % (eixo x).



Fonte: Autoral (2022).

5 DISCUSSÕES

Nos estudos de perdas de solo e água por erosão, vem sendo utilizada a aplicação de chuvas simuladas de intensidade constante, negligenciando a variação da intensidade durante a ocorrência das chuvas naturais (ELTZ *et al.*, 2001). As características das chuvas mudam de região para região e, assim, um único padrão pode não ser o mais representativo para todas as regiões. Neste trabalho, avaliando os resultados obtidos para a BHEGL, o padrão de chuva intermediária foi o mais frequente encontrado no período de 2017 a 2021. Ela ocorre de forma bem distribuída ao longo do tempo, encontrando seus picos na metade da duração. Já em estudos na cidade de Santa Maria/RS, o padrão de chuva de maior ocorrência na região foi o padrão adiantado, seguido do padrão atrasado e intermediário (METL *et al.*, 2001).

Em geral, no Brasil e em vários outros países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, as pequenas e médias bacias urbanas e rurais não contam com séries temporais de dados hidrometeorológicos que permitam a avaliação de chuvas de projeto para cada local específico (ABREU *et al.*, 2017). Com isso, é comum a aplicação de equações de chuvas intensas com base em relações intensidade-duração-frequência (IDF), que fornecem o valor da intensidade máxima da precipitação ao longo de sua duração e período de retorno de uma região. Diversas metodologias para a obtenção de chuvas de projeto têm sido desenvolvidas e, em sua grande maioria, não visam à reprodução de eventos reais, mas sim de situações com efeitos críticos ao escoamento. Tais procedimentos são obtidos a partir da análise de dados observados de precipitação da região de estudo e devem ser aplicados em projetos dessa mesma região. Um dos métodos mais utilizados é o método de Huff, entretanto esse método foi construído utilizando resultados de observações pluviométricas sob condições hidroclimatológicas totalmente diferentes das regiões tropicais (BEMFICA, 1999).

Também devem ser levadas em consideração, que uma grande desvantagem dessas metodologias é a associação implícita entre os tempos de retorno da chuva e da vazão, baseada na suposição da linearidade do sistema. A bacia hidrográfica é, contrariamente a essa suposição, um sistema não-linear (BEMFICA, 1999). Desbordes *et al.* (1982) salientou ainda que, nos casos das chuvas de projeto derivadas de curvas IDF, há uma superestimação das vazões de pico e dos volumes escoados, pois todos os elementos do hietograma têm individualmente a probabilidade da curva de onde foram retirados.

Atualmente, é possível utilizar modelos computacionais, pois são capazes de simulações contínuas de escoamento, a partir de longas séries de registros de precipitação, o que dispensaria o uso de simplificações, como as chuvas de projeto. Entretanto, as chuvas de projeto ainda têm

considerável popularidade, devido à sua simplicidade, à pequena quantidade de informação necessária para a sua obtenção e ao alto custo e tempo envolvidos na simulação contínua de escoamento.

Existem poucos estudos realizados sobre a distribuição temporal das precipitações em municípios brasileiros, que por falta de opções, acabam utilizando metodologias obtidas em outros países e que podem não ser adequadas às características das chuvas locais (ABREU *et al.*, 2017). A aplicação de uma chuva de projeto obtida por procedimentos que se adaptem às características climáticas da região, ou mesmo desenvolvida especificamente para essa área, certamente otimizaria os projetos locais de drenagem urbana, possibilitando inclusive uma redução de custos dos mesmos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho pretendeu trazer dados importantes sobre a chuva na região do Município de Uberlândia, especificamente para a Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória, afluente do Rio Uberabinha, caracterizando-a fisicamente e propiciando estudo inicial de série temporal ainda pequena para pesquisas hidrológicas, mas importante para continuidade e comparativos futuros.

Para se atingir a compreensão das características físicas da BHEGL, definiu-se dois objetivos. O primeiro foi realizar o levantamento das chuvas convectivas, nos quais verificou-se, pelos parâmetros de duração de chuva e estação do ano, uma ocorrência significativa desse tipo de chuva na região, com média de 78,6% em relação as chuvas com duração maiores que uma hora. Entretanto, para levantamento mais detalhado das chuvas convectivas deve-se, em trabalhos futuros, realizar um estudo das interrelações espaço-temporais dessas chuvas.

O segundo objetivo foi a classificação dos padrões das chuvas, onde a maior ocorrência na BHEGL se deu pelo padrão intermediário com a média de 58,85%, seguido por 24,55% do padrão adiantado e 16,35% do atrasado. A distribuição temporal e espacial da precipitação e a consequente disponibilidade hídrica podem impactar as atividades socioeconômicas, agrícolas e industriais. Dessa forma, torna-se importante a tipificação das chuvas naturais de cada região, para posterior utilização em pesquisa de perdas de solo e de inundações em bacias hidrográficas.

Como citado ao longo do estudo, quando não se conhece a distribuição temporal, é comum adotar-se distribuições empíricas que procuram representar as condições mais críticas possíveis (TUCCI, 1997). Assim, em pesquisas futuras pode-se investigar os efeitos de se utilizar métodos como o de Huff (BEMFICA, 1999) ou dos Blocos Alternados (TUCCI, 1997) na BHEGL, comparando-os com dados das chuvas naturais apresentadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, G. F.; SOBRINHA, L. A.; BRANDÃO, J. L. B. **Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos**. Eng Sanit Ambient, v.22, n.2, 239-250, 2017.
- BADEN-POWELL, Of Giwell, Lord. **Escotismo para Rapazes**. Edição da Fraternidade Mundial. Porto Alegre: Ed Escoteira, 1975.
- BACK, A.J.; HENN, A. & OLIVEIRA, J.L.R. **Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil**. R. Bras. Ci. Solo, 35:2127-2134, 2011.
- BEMFICA, C. D. **Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 135. 1999.
- BESKOW, S.; MELLO, C.R.; COELHO, G.; SILVA, A.M. & VIOLA, M.R. **Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 33:169-178, 2009.
- CAMPOS, J. O.; CHAVES, H. M. L. **Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010**. Revista Brasileira de Meteorologia, 35(1), 157-169, 2020.
- DESBORDES, M. **Modelisation en Hydrologie Urbaine: Recherches et Applications**. Laboratoire d'Hydrologie Mathématique - Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 1982.
- ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. **Perdas de solo e água em entressulcos em um argissolo vermelho-amarelo submetido a quatro padrões de chuva**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 25:485-493, 2001.
- FERREIRA *et al.* **Pluviometric patterns in the São Francisco River basin in Minas Gerais, Brazil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v26, e27, 2021.
- FISCH, G.; VENDRAME, I. F.; HANAOKA, P. C. M. **Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia**. Acta Amazonica, v37(4): 583 – 590. 2007.
- HORNER, W.W. & JENS, S.W. **Surface runoff determination from rainfall without using coefficients**. Trans. Am. Soc. Civil Eng., 107:1039-1117, 1941.
- IPCC, 2022. **Mudanças Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [H.-O. Pörtner, DC Roberts, M. Tignor, ES Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

MAIER, É. L. B. *et al.* **Precipitação na América do Sul: médias climáticas e padrões da variabilidade no período entre 1979 e 2008.** Revista Brasileira de Geografia Física, v09, n01, 2016.

MEHL, H. U. *et al.* **Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS).** Revista Brasileira de Ciências do Solo. v. 25, p. 475-483, 2001.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. **Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Ciências do Solo. v. 37, p. 37-44, 2013.

MOREIRA, M.C.; PRUSKI, F.F.; OLIVEIRA, C.T.E.; PINTO, F.A.C. & SILVA, D.D. **NetErosividade MG: Erosividade da chuva em Minas Gerais.** R. Bras. Ci. Solo, 32:1349-1353, 2008.

MOURÃO, C. E. F. **Estudo numérico da produção de chuvas intensas na região da Serra do mar Paulista.** Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-16681-TDI/1626, São José dos Campos, 2010.

NUNES, A. A. **Intensity-duration-frequency curves in the municipality of Belo Horizonte from the perspective of non-stationarity.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v26, e29, 2021.

PINHEIRO, M. G.; NAGHETTINI, M. **Hietograma de Precipitações para a Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH.** In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória- ES, volume 2, p. 327/333, 1997.

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. **Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v26, n02, 2016.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Editora da Universidade/ABRH, Porto Alegre, RS, Brasil. 450pp, 1997.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** Editora McGRAW – Hill do Brasil, Ltda, São Paulo, Brasil. 303pp, 1975.

WEISMAN, M.L.; J.B. KLEMP. **Characteristics of isolated convective storms.** In: Ray, P.S., ed. Meso. Meteor. and Forec., Boston, American Meteorology Society. P. 331-358, 1986.

APÊNDICE A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO

```

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# conectar com o banco de dados
import mysql.connector
cnx = mysql.connector.connect(host="127.0.0.1",
                              user="root", password="xxxxxxx",
                              database="db_precip")

# Classificação de chuvas convectivas
# Máximo de 60 minutos
# Lacunas de 5 minutos máximo
# Chuvas maiores de 10 minutos, devido intervalos de 5 minutos

cursor = cnx.cursor()
consulta_sql = "SELECT * FROM tbl_ESTACAO"
cursor.execute(consulta_sql)
table = cursor.fetchall()

dic_result = {'Id_chuva': [], 'Dia': [],
              'Duração': [], 'Tipo': [], 'Dados': []}

temp_min = 2
temp_max = 12
ant = 0

list_prec = []
id_chuva = 0

# Lê a tabela de cada estação do banco de dados
for i in range(0, (cursor.rowcount-2)):
    post = table[(i+2)][1]
    # Segue o processo se a chuva for entre 15 a 60 minutos
    if table[i][1] == 0 and (ant == 0 or post == 0):
        if temp_max >= len(list_prec) > temp_min:
            # Salva as informações da chuva de entrada
            dic_result['Id_chuva'].append(id_chuva + 1)
            dic_result['Dia'].append(table[i][0])
            dic_result['Duração'].append(len(list_prec)*5)
            id_chuva += 1
            list_porcet = []
            list_intenc = []
            # Calcula a intensidade da chuva
            for d in range(0, len(list_prec)):
                list_intenc.append((list_prec[d]/5)*60)
                d += 1

```

```

# Aplica o método de porcentagem
for j in range(1, len(list_prec)+1):
    list_porcet.append((j*100)/len(list_prec))
    j += 1
dic_result['Dados'].append([list_intenc, list_porcet])
sum_adiantada = 0
sum_intermediaria = 0
sum_atrasada = 0
# Classifica o padrão de cada chuva
for x in range(0, len(list_intenc)-1):
    if list_porcet[x] < 33.34:
        sum_adiantada += list_intenc[x]
    elif list_porcet[x] > 66.67:
        sum_atrasada += list_intenc[x]
    else:
        sum_intermediaria += list_intenc[x]
if sum_intermediaria < sum_adiantada > sum_atrasada:
    dic_result['Tipo'].append('adiantada')
elif sum_intermediaria > sum_atrasada:
    dic_result['Tipo'].append('intermediaria')
elif sum_atrasada > sum_intermediaria:
    dic_result['Tipo'].append('atrasada')
else:
    dic_result['Tipo'].append('indefinido')
list_prec = []
list_intenc = []
else:
    list_prec.append(table[i][1])

ant = table[i][1]

# Visualizar Dataframe
df = pd.DataFrame.from_dict(dic_result)
df['Year'] = df['Dia'].dt.year
df['Month'] = df['Dia'].dt.month
df

# Gráfico ocorrência x duração
graf3 = df['Duração'].value_counts()
graf3.sort_index(axis=0, inplace=True)
df3 = graf3.to_frame()
df3['Duração, min.'].index = df3.index
df3.columns = ['Ocorrências', 'Duração, min.'].

plt.figure(figsize=(10, 7))
df3.plot.bar(x='Duração, min.', y='Ocorrências', color='blue')
plt.title("Estação MGL")

# Gráfico ocorrência x mês

```

```
graf4 = df['Month'].value_counts()
graf4.sort_index(axis=0, inplace=True)
df4 = graf4.to_frame()
df4['Tempo, mês'] = df4.index
df4.columns = ['Ocorrências', 'Tempo, mês']

df4.plot.bar(x='Tempo, mês', y='Ocorrências', color='blue')
plt.title("Estação MGL")

# Dataframe padrão de chuva x ano
results = pd.pivot_table(
    df,
    values=['Id_chuva'],
    index=['Tipo'],
    columns = ['Year'],
    aggfunc= 'count'
)
results
```