

Análise de acidentes rodoviários em rotundas

Projeto realizado no âmbito da UC Projeto Aplicado a Ciência de Dados II do 3º ano da Licenciatura em Ciência de Dados

Allan Kardec Rodrigues, 103380
aksrs@iscte-iul.pt

André Plancha, 105289
Andre_Plancha@iscte-iul.pt

Diogo Freitas, 104841
daafs@iscte-iul.pt

João Francisco Botas, 104782
Joao_Botas@iscte-iul.pt

Marco Esperança, 110451
mdeao@iscte-iul.pt

9 de dezembro 2023
Versão 1.0.0

Índice

1. Introdução e <i>Business Understanding</i>	1 / 25
2. <i>Data Understanding</i>	2 / 25
2.1. Rotunda Manhosa	4 / 25
2.2. Praça Carlos Lopes	5 / 25
2.3. Rotunda Paulo VI	6 / 25
2.4. Praça da República	6 / 25
2.5. Rotunda João Paulo II	7 / 25
2.6. Comparação evolutiva anual dos acidentes nas rotundas selecionadas	7 / 25
3. <i>Data Preparation</i>	8 / 25
3.1. Transformação e Seleção dos Dados	9 / 25
3.2. Conversão do tempo	10 / 25
4. Análise dos resultados do <i>clustering</i>	12 / 25
4.1. Análise no concelho de Viseu	12 / 25
4.1.1. <i>Cluster 1</i>	13 / 25
4.1.2. <i>Cluster 2</i>	14 / 25
4.1.3. <i>Cluster 3</i>	15 / 25
4.1.4. <i>Cluster 4</i>	17 / 25
4.1.5. Acidentes com latitude e longitude de perfil	18 / 25
4.2. Análise em Portugal inteiro e comparação com o cenário anterior	19 / 25
4.2.1. <i>Cluster 1</i>	20 / 25
4.2.2. <i>Cluster 2</i>	20 / 25
4.2.3. <i>Cluster 3</i>	21 / 25
4.2.4. <i>Cluster 4</i>	22 / 25
5. Conclusão	24 / 25
6. Anexos	26 / 25
6.1. Anexo A - Possível caminho da vítima mortal na rotunda Manhosa	26 / 25
6.2. Anexo B - Número de acidentes nas rotundas de Viseu por mês	26 / 25
6.3. Anexo C - Número de acidentes nas rotundas de Viseu por mês	26 / 25
6.4. Anexo D - Método de Silhueta	27 / 25

1. Introdução e Business Understanding

Entre 2012 e 2019, observou-se um aumento significativo no número de acidentes de viação com vítimas em Portugal Continental. Durante esse período, o total de acidentes passou de 29.867 para 35.704¹ e, falando em termos relativos, enquanto em 2012 o número de desastres com feridos ou mortos correspondia a 3‰ por mil habitantes, em 2020 este valor atingiu 3.6‰², isto só em Portugal Continental. Este valor só decresceu em 2020 devido ao Covid-19. Infelizmente, o número de acidentes tem estado continuadamente a aumentar para os níveis pré-covid, aumentando 0.6 pontos permilares em apenas 3 anos.

As rotundas têm um papel fundamental na circulação de viaturas, sendo uma interseção (giratória)³ muito complexa devido ao seu excesso de regras que intensificam a segurança dos condutores na circulação desta. Um exemplo dessas medidas, é a necessária redução de velocidades⁴. Portugal possui 4851 rotundas, sendo o segundo país do mundo com maior número de rotundas *per capita*⁵. Esta curiosidade inspirou-nos a realizar uma análise detalhada sobre as rotundas de Portugal, com especial atenção às suas relações com acidentes. Para resultados mais interessantes, optou-se por dar um maior foco à cidade de Viseu, cidade conhecida como “Cidade das Rotundas”, sendo considerada como uma referência europeia relativamente ao planeamento urbano e à construção de infraestruturas, de acordo com o Departamento de Engenharia Civil (DEC)⁶. O objetivo aqui é encontrar padrões entre as rotundas e visualizar potenciais características não visualizadas anteriormente sobre os acidentes. Para isso, nós:

1. Examinamos acidentes em algumas rotundas de Viseu anedoticamente, de forma a investigar potenciais problemas que elas possam ter para a segurança dos condutores, passageiros e peões;
2. Usamos técnicas de aprendizagem não supervisionada de agrupamento de dados, de forma a explorar padrões consistentes e regras de associação entre os vários acidentes rodoviários em rotundas de Viseu, e analisamos os resultados perante eles próprios e o resto de Portugal (Continental).

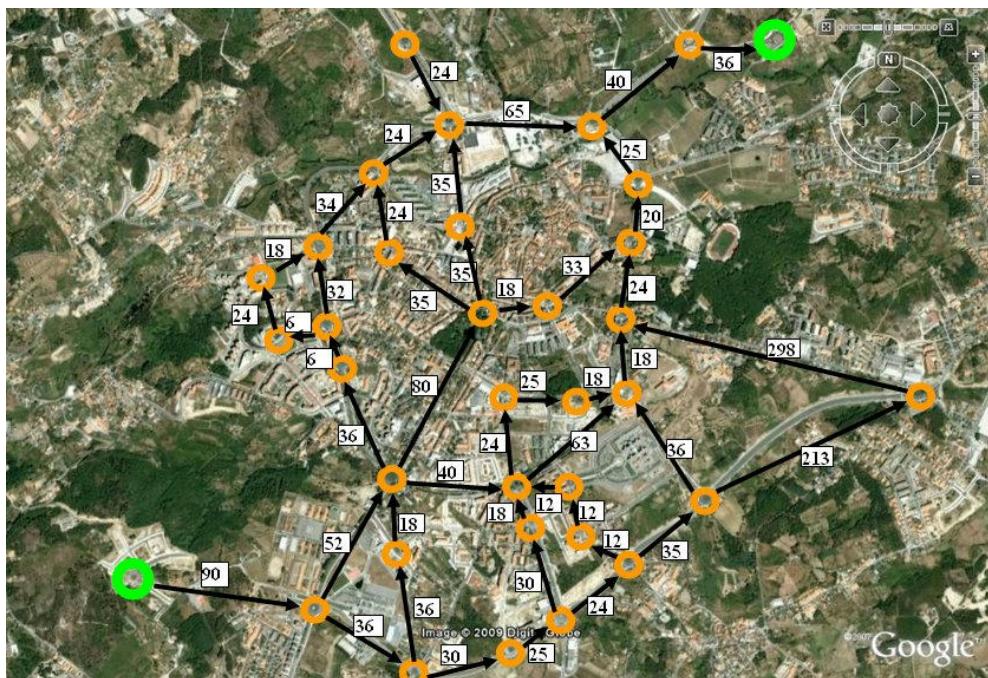


Figura 1: As Rotundas do concelho de Viseu

¹<https://www.pordata.pt/portugal/acidentes+de+viacao+com+victimas+total+e+por+tipo+de+acidente+++continente-3093>

²<https://www.pordata.pt/portugal/acidentes+de+viacao+com+victimas+por+mil+habitantes+++continente-1990>

³https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/DocumentsdeReferencia/Planeamento-Acessibilidades-Gestao-Viaria/Documents/06Rotundas_AF.pdf

⁴<https://doi.org/10.21307/tp-2020-013>

⁵<https://www.publico.pt/2023/11/02/local/noticia/portugal-nao-arrebata-titulo-capital-rotundas-perto-2068796>

⁶<https://dep.estgv.ipv.pt/departamentos/dcivil/viseu/>

2. Data Understanding

Antes de prosseguir para a manipulação e tratamento dos dados, é necessário compreender como os dados se encontram organizados. Estes foram fornecidos pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), que forneceu todos os acidentes de viaturas que foram reportados às entidades fiscalizadoras (PSP e GNR) em Portugal Continental entre 2010 e 2019.

Esses dados foram fornecidos em formato .xlsx, totalizando 10 ficheiros diferentes (acidentes do ano 2010 até 2019). É importante referir que estes possuem uma peculiaridade, isto é, cada um dos ficheiros possui 4 *sheets*, representando uma perspetiva diferente dos acidentes. Estes 4 *sheets* são os seguintes: 30 Dias_Cond_Veic, 30 Dias_Passagm, 30 Dias_Accidentes, 30 Dias_Peões. Apesar dos nomes já serem autoexplicativos, é notório que todos possuem 30 Dias referido no nome e isso faz com que seja necessário ter cuidado com a interpretação destes, pois é importante ter em conta que um acidente pode ocorrer num determinado dia, mas só é sinalizado e registado 10 dias depois.⁷

Comecemos por visualizar os acidentes das rotundas em cada um dos distritos. A Figura 2 apresenta o número de acidentes absoluto e relativo a outro tipo de intersecções, por distrito.

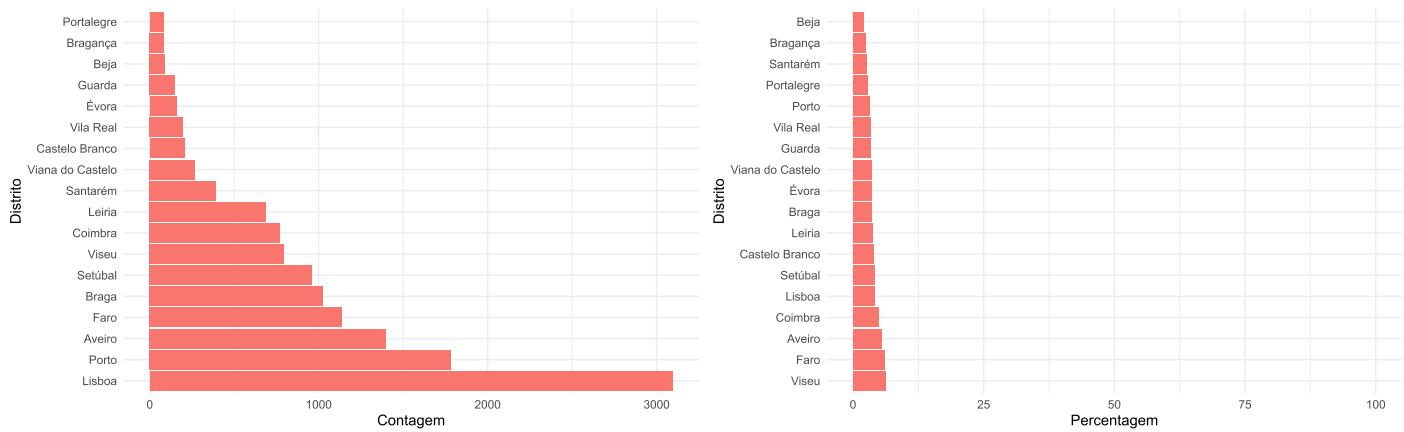


Figura 2: Número de acidentes de rotundas, absoluto e relativo a outras intersecções

De acordo com o gráfico à esquerda, Lisboa tem o maior número de acidentes registados, seguido do Porto. Podemos assumir que isto acontece por estes tratarem-se de distritos com um elevado número de residentes comparado com o resto dos distritos. De acordo com o gráfico da direita, Viseu contém o maior número relativo de acidentes de rotundas, ainda que grande parte de acidentes não sejam em rotundas, com um máximo apenas de $\approx 8\%$. Podemos notar que Lisboa, mesmo que tenha o maior número de acidentes de rotundas, estas são uma minoria no distrito.

Na Figura 3 podemos visualizar um *heatmap* com todos os acidentes entre 2010 e 2019 do concelho de Viseu, com algumas rotundas circuladas. Podemos observar a grande densidade de rotundas no concelho, em conjunto de uma grande densidade de acidentes nelas.

⁷Para melhor entendimento das variáveis originais, preenchidas no relatório <http://www.ansr.pt/Estatisticas/BEAV/Documents/MANUAL%20PREENCHIMENTO%20BEAV.pdf>

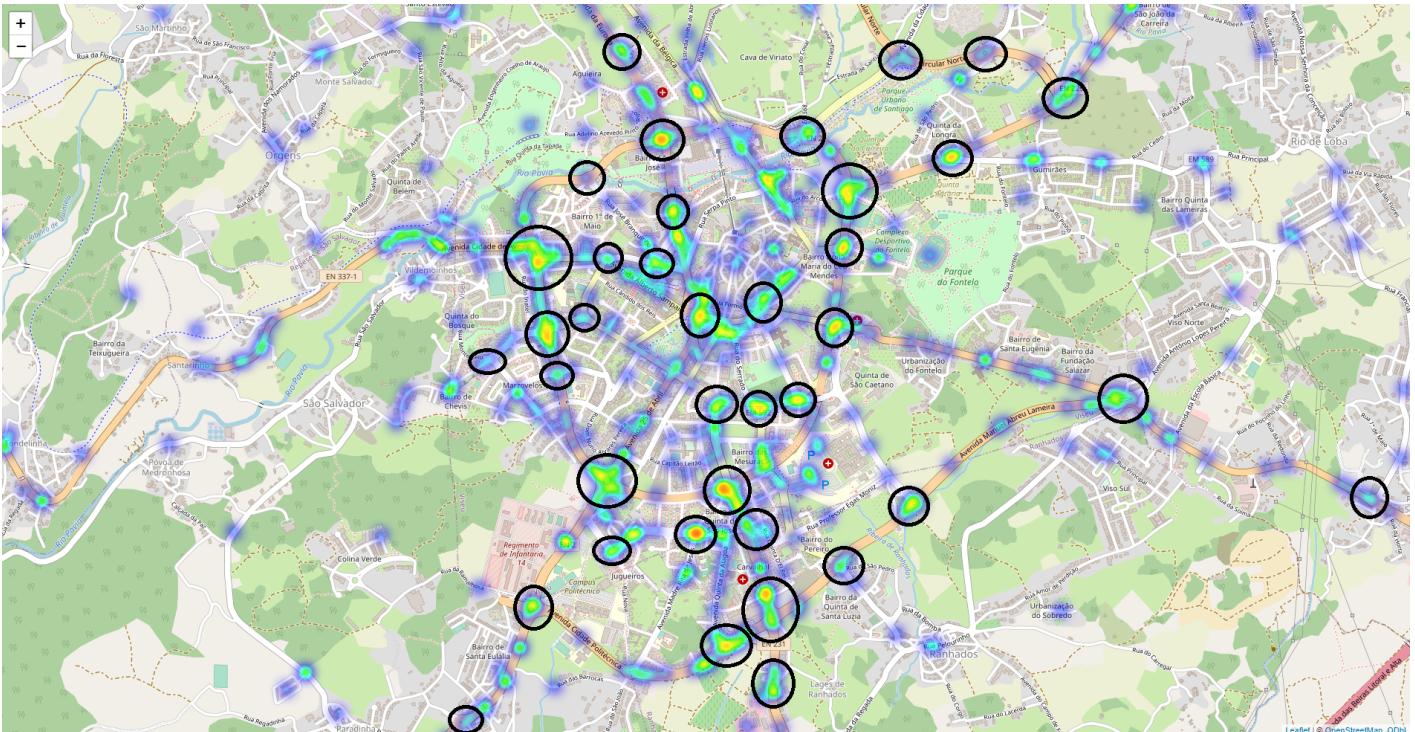


Figura 3: Heatmap com Acidentes em Viseu com rotundas assinaladas

Com este conhecimento, sentimo-nos confortáveis avançar com o nosso primeiro objetivo de investigar algumas rotundas de Viseu e as suas características. Optámos por analisar rotundas com alto número de feridos Graves ou mortos, ou baseado na sua localização geográfica, ou por alguma outra característica. As rotundas escolhidas estão notadas nas Figuras 4 e 5, e as razões de análise serão ditadas nos seus respetivos capítulos.

A Figura 4 apresenta a quantidade de feridos que houve em cada uma das rotundas escolhidas durante os anos que temos acesso. Na Figura 5 estão destacadas a natureza de cada um dos acidentes, com a respetiva quantidade.

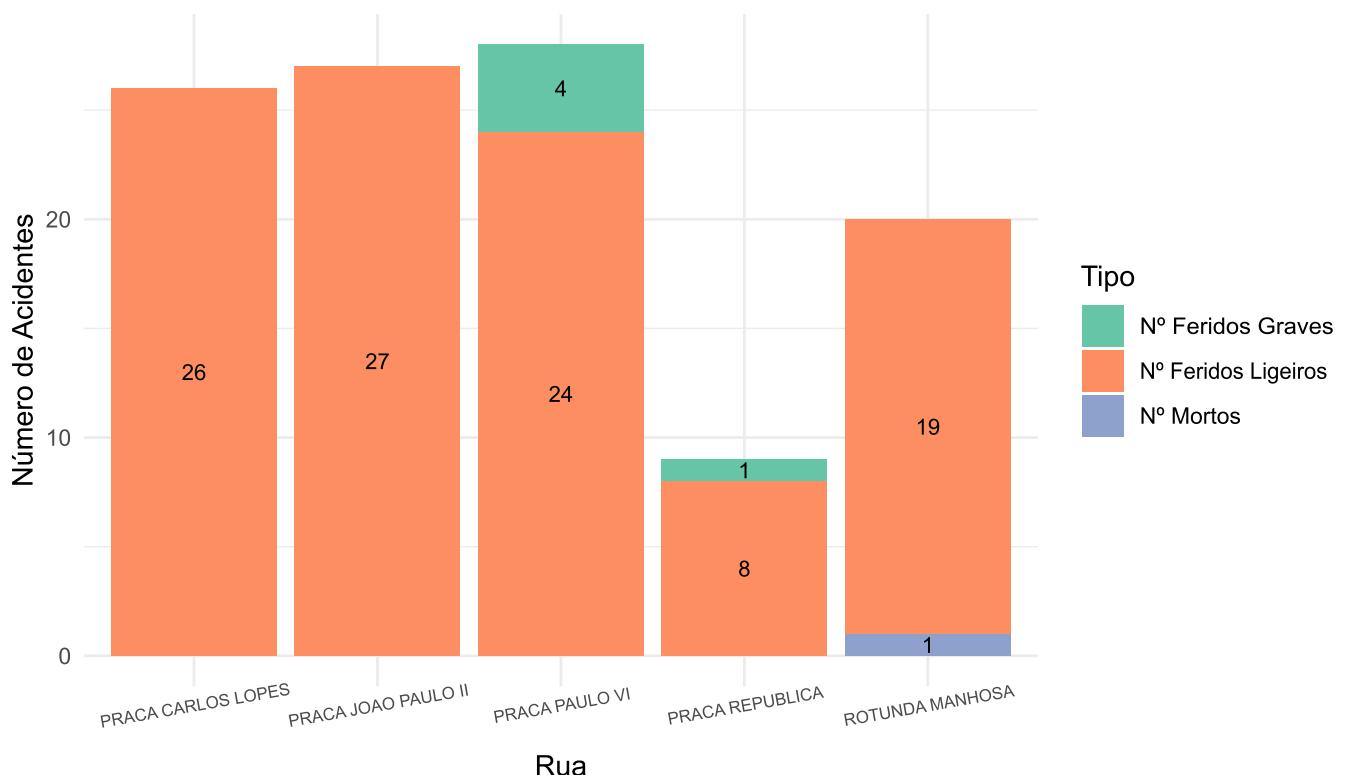


Figura 4: Barras empilhadas com o número de acidentes em cada rotunda, organizados pela gravidade

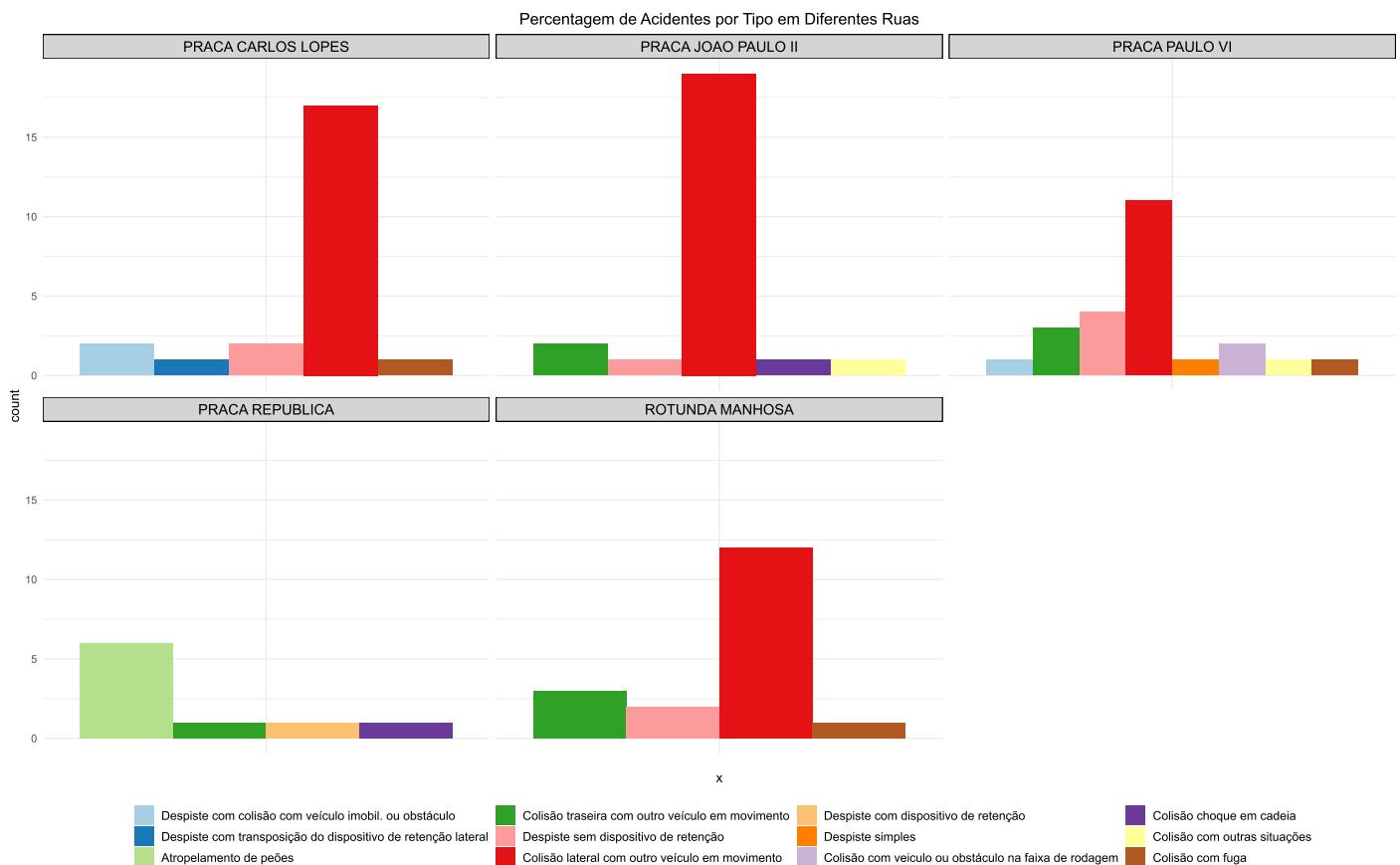


Figura 5: A natureza de cada um dos acidentes que ocorreram nas rotundas

Podemos observar que a maioria das rotundas escolhidas têm um alto número de feridos, e que a rotunda Manhosa é das únicas que tem mortos. Podemos observar também que a Praça da República é a única entre as escolhidas que tem atropelamento de peões. Nos seguintes capítulos serão comentadas as características que distinguem estas rotundas das não escolhidas, como também serão mostradas imagens via satélite das mesmas para um reconhecimento e análise mais profundo das rotundas. Estando marcadas as localizações exatas dos acidentes fornecidas pela ANSR, é importante notar que nem todos os acidentes possuem as localizações certas na base de dados, especialmente para acidentes antes de 2013, onde uma grande parte de acidentes fiscalizados pela PSP não têm registo da sua localização exata. Portanto, nas imagens abaixo, o número de acidentes representados poderá não corresponder com os números referidos nas figuras anteriores.

2.1. Rotunda Manhosa

A ideia de estudar esta rotunda surgiu do facto de esta registar bastantes acidentes e de ser situada num local de alta passagem de veículos, mas também porque teve um morto registado.



Figura 6: Rotunda Manhosa

Esta rotunda possui 2 vias e 4 saídas. Ao lado encontra-se o Palácio de Gelo, um centro comercial, e portanto podemos pressupor que existe um elevado tráfego nesta rotunda.

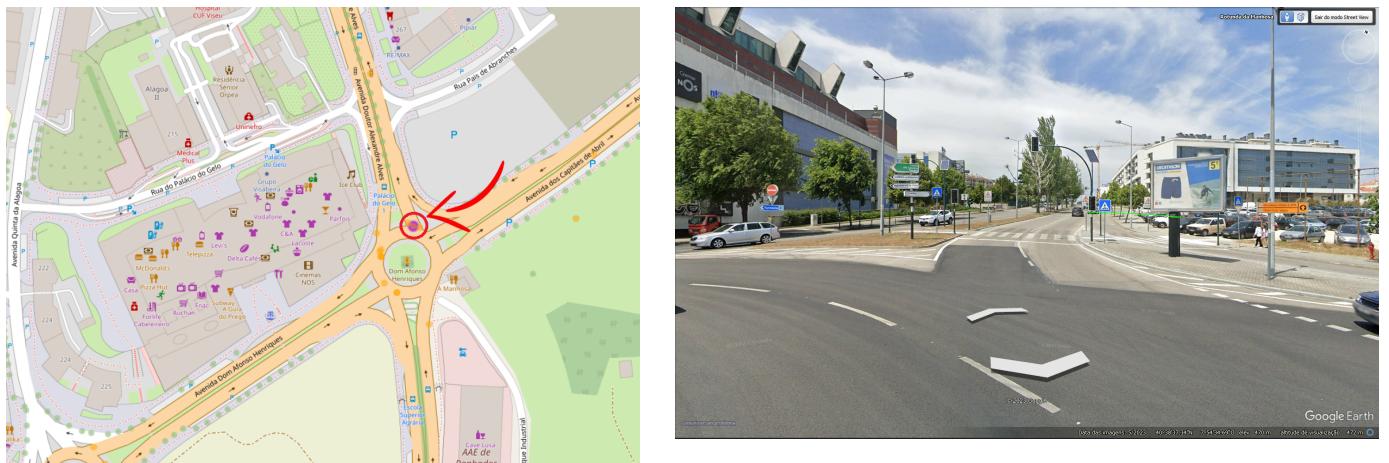


Figura 7: Rotunda Manhosa

Esta é a única rotunda do concelho de Viseu, da base de dados, que apresenta um acidente onde houve uma vítima mortal.

Após uma breve pesquisa, conseguimos descobrir que esta morte foi em 2011 de um jovem de 19 anos, de acordo com o Correio Da Manhã⁸. Estaríamos a ser de certa forma injustos se disséssemos que esta rotunda é conhecida por causar a perda de uma vida, dado que foi apenas uma rara exceção entre 10 anos. No entanto, apesar deste caso específico, é importante salientar que os acidentes em rotundas raramente estão associados a grandes velocidades quer pela velocidade permitida pela lei, quer pela geografia usual destes locais⁹.

2.2. Praça Carlos Lopes

Esta rotunda fica situada na região Noroeste da cidade de Viseu e é registada como uma das rotundas mais perigosas dado o seu comprimento e o elevado número de saídas e vias. Esta rotunda tem o seu nome dedicado ao atleta Carlos Lopes¹⁰.



Figura 8: Praça Carlos Lopes

Pela imagem acima, é notório que a rotunda pode ser complicada para novos condutores, devido às características referidas anteriormente; mesmo assim, ela não possui nenhum acidente grave, nem originou uma vítima mortal nesta base de dados. A rotunda continua a ter acidentes com inúmeros feridos ainda em 2023¹¹, potencialmente demonstrando que medidas ainda não foram tomadas nesta rotunda. Atualmente, continuam a haver inúmeros acidentes nesta rotunda, sendo alguns exemplos deles: [Exemplo1](#), [Exemplo2](#). Também é importante referir que nela existe uma bomba de abastecimento

⁸<https://www.cmjornal.pt/portugal/detalhe/morre-a-levar-pizza-pedida-pelo-irmao>

⁹

¹⁰<https://neotopografia.projectopatrimonio.com/obra/o-maratonista/>

¹¹Exemplo: <https://www.diarioviseu.pt/noticia/107281>

de combustível e é possível observar que houve um despiste à saída dela. Conseguimos visualizar também que a maioria dos acidentes foram colisões laterais nas saídas à rotunda. Tendo em conta a imperfeição dos dados, podemos concluir que a forma da rotunda, em conjunto com a bomba com saída direta para a rotunda, contribui para uma maior probabilidade de vítimas na rotunda.

2.3. Rotunda Paulo VI

A rotunda Paulo VI é a que apresenta maior número de feridos totais e de feridos graves na nossa base de dados.



Figura 9: Rotunda Paulo VI

Podemos notar a partir da Figura 9 que a rotunda é desproporcionalmente maior do que a maioria das rotundas no distrito. Ao lado da rotunda encontra-se um McDonald's e o Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT) de Viseu, o que pode indicar um número de peões acima do normal e justificar o número de feridos. Podemos notar também um caso de 3 feridos graves em um acidente apenas, algo extremamente raro na nossa base de dados.

2.4. Praça da República

A Praça da República é uma rotunda localizada no centro de Viseu, com um número de atropelamentos acima da média de outros locais da cidade.

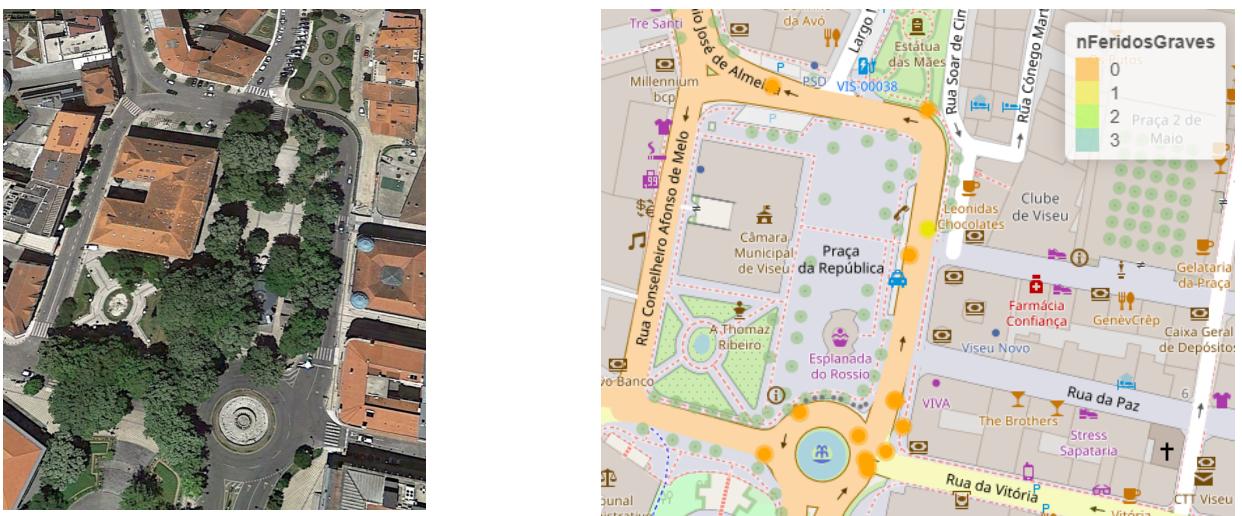


Figura 10: Praça da Repúblca

A Figura 10 demonstra a proximidade entre a rotunda e a respetiva praça que lhe dá o nome. Esta proximidade faz com que os acidentes ocorridos ao redor da rotunda sejam mais diversificados em comparação com outras áreas, como se pode observar na Figura 11. Dada a sua localização central na cidade, próxima a edifícios e frequentada por pedestres, é comum que ocorram mais atropelamentos de peões, tendo em conta a sua área geográfica.



Figura 11: Tipos de acidentes na Praça da República

2.5. Rotunda João Paulo II

Esta rotunda demonstra o maior índice de acidentes ligeiros, mas também uma grande dimensão com 3 vias de circulação na mesma. Talvez a razão seja por se situar numa zona de indústria perto de lojas em que as pessoas normalmente vão de carro.

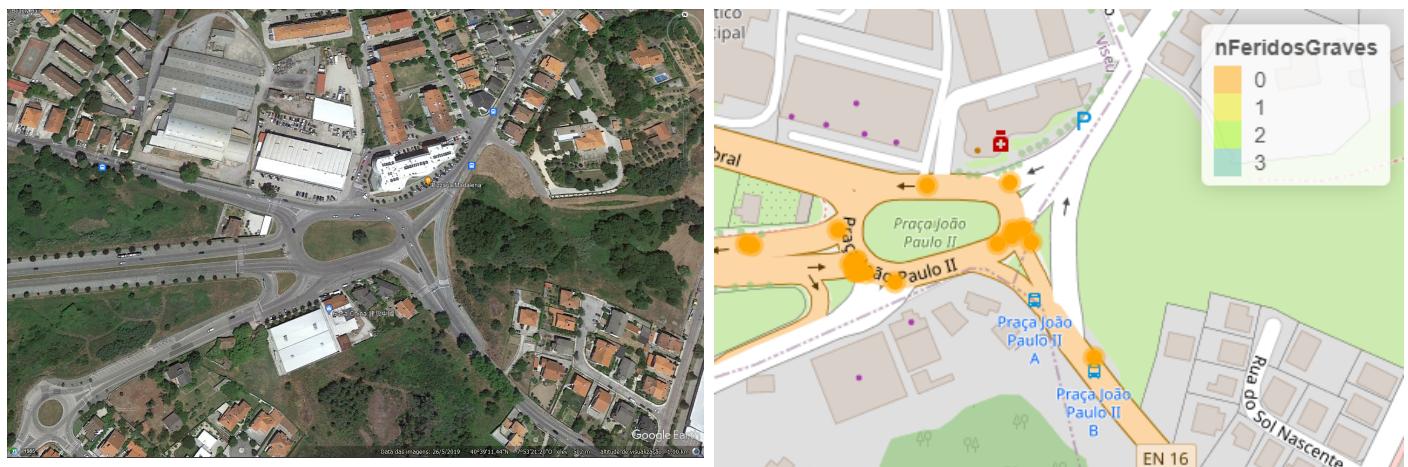


Figura 12: Rotunda João Paulo II

2.6. Comparação evolutiva anual dos acidentes nas rotundas selecionadas

Evolução do Número Cumulativo de Acidentes por Ano para Ruas Selecionadas

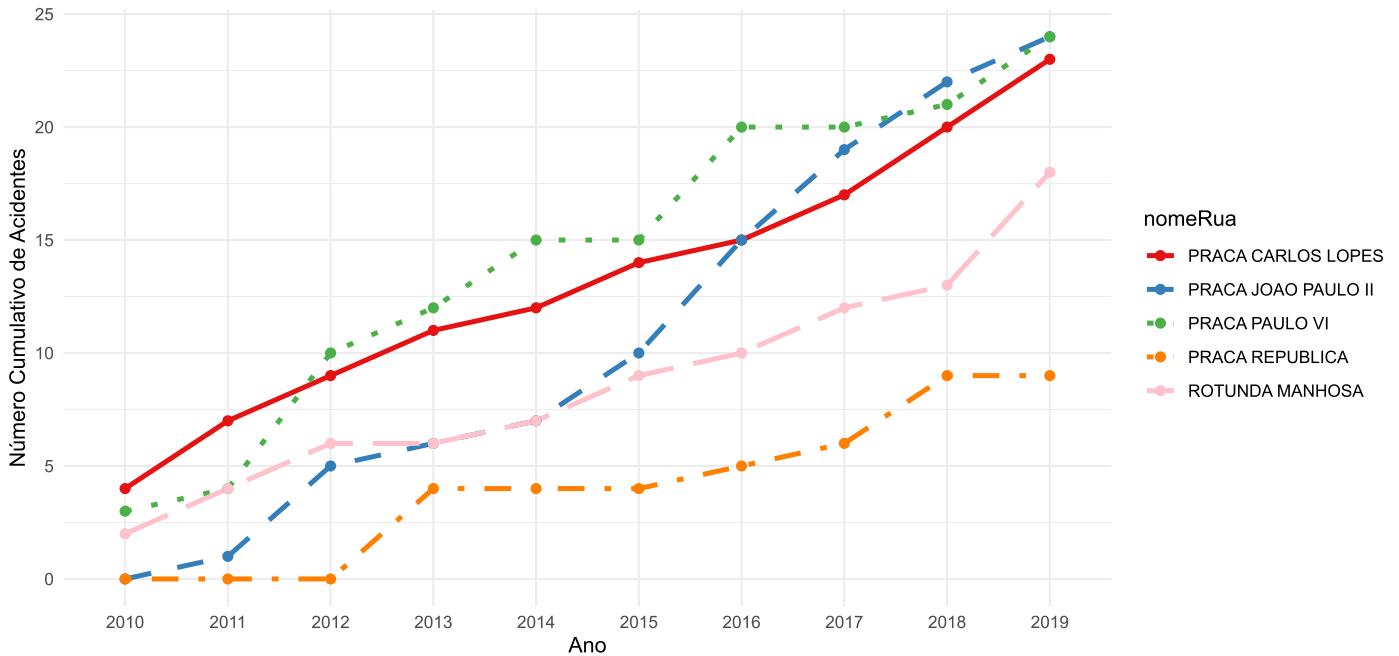


Figura 13: Evolução do número de acidentes acumulativa anualmente

Para concluir a nossa investigação anedótica, na Figura 13 é possível visualizar a evolução de número de acidentes acumulativa anual de cada uma das rotundas selecionadas. As conclusões que podemos tirar desta figura são as seguintes:

- As Praças Paulo VI, João Paulo II e Carlos Lopes apresentam evoluções muito rápidas de acidentes, sendo estas as praças com o maior número de acidentes; a Praça João Paulo II é aquela que apresentou mais acidentes em 2010;
- A Praça da República não apresentou acidentes antes de 2013 e em 2018;
- A rotunda Manhosa sempre apresentou um crescimento lento do número de acidentes, menos em 2019, onde ocorreu um elevado crescimento;
- Em anexo, na Figura 38, é possível visualizar o número de acidentes que ocorreram em cada um dos anos, de forma individual.

3. Data Preparation

O nosso objetivo será fazer agrupamento de acidentes de rotundas de forma a encontrar padrões. Para esse fim, decidimos filtrar para estas rotundas. Usámos como critério se a rotunda contém no nome “rotunda”, ou se for identificada como tal pelas entidades fiscalizadoras, independentemente das latitudes e longitudes marcadas. A Figura 14 mostra dois exemplos destes acidentes.

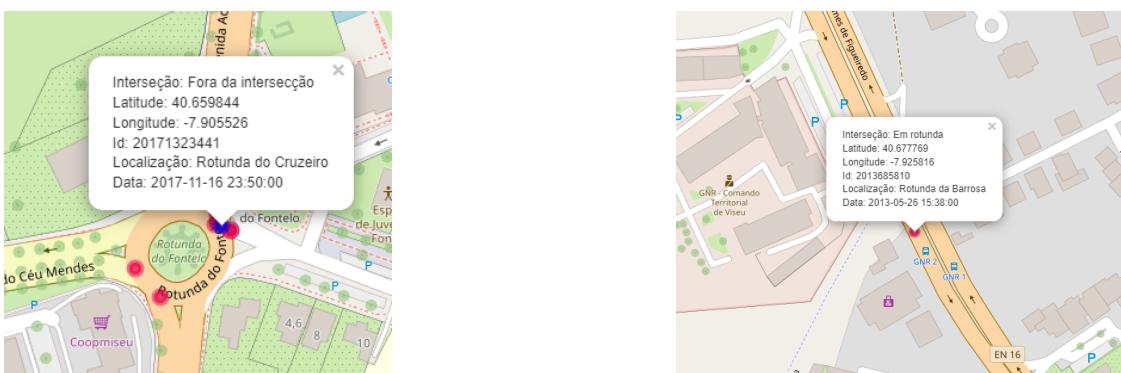


Figura 14: Filtragem dos dados

3.1. Transformação e Seleção dos Dados

A presente secção detalha as transformações e preparações efetuadas nos conjuntos de dados deste projeto, de forma a simplificar interpretabilidade futura, ambos para resultados melhores e para analisá-los facilmente. A Tabela 1 apresenta um resumo das variáveis selecionadas.

Tabela 1: Explicação das variáveis selecionadas para o *clustering*

Variável	Significado
oqueaconteceu_geral	Motivo do acidente (colisão / despiste / atropelamento)
condAtmosferica	Condições climatéricas
luminosidade	Período do dia e respetiva luminosidade
n_feridos	Número de feridos total
faixa_etaria_condutores	Faixa etária dos condutores dividida em: < 29, 30-59 e > 60
havia_passageiros	Verifica se havia passageiros no acidente
DiaSemana	Dia da semana do acidente
sin_percentage_year	<i>Sin</i> da conversão da data do ano em segundos para radianos
cos_percentage_year	<i>Cos</i> da conversão da data do ano em segundos para radianos
sin_seconds	<i>Sin</i> da conversão das horas do dia em segundos para radianos
cos_seconds	<i>Cos</i> da conversão das horas do dia em segundos para radianos
condEstradaLumped	Condições do pavimento da estrada
isCapital	Variável para ver se o acidente foi numa capital de distrito

Algumas das variáveis na tabela encontram-se sem transformações, enquanto que outras sofreram de tal. Essas outras são as seguintes:

- **oqueaconteceu_geral**: Dado o registo de vários tipos de acidentes que poderiam pertencer ao mesmo grupo, foram agregados tipos de acidentes de modo a ficar com três classes: Despistes, Colisões e Atropelamentos. Os Atropelamentos, apesar de representarem uma minoria na base de dados (cerca de 4%), foram introduzidos porque são sempre casos possíveis de ocorrer em rotundas;
- **n_feridos**: Representa qual foi a quantidade de feridos que o acidente provocou, num valor inteiro. Se existiu um ferido grave e um leve no mesmo acidente o valor desta variável é 2;
- **faixa_etaria_condutores**: Foram agrupados os condutores por um intervalo de idades, de forma a distingui-los entre pessoas mais jovens e idosas. Para isso, foi feita uma separação conforme demonstrado na Figura 15. Daí foi retirado que o grupo etário fosse separado em 3 grupos, por < 29, 30-59, > 60;
- **havia_passageiros**: Representa se nos carros envolvidos no acidente existiam passageiros, em valor booleano. Ou seja, se hipoteticamente um acidente envolve 2 carros e apenas os condutores estão nos carros, esta variável tem o valor de FALSE;

- `sin_percentage_year/cos_percentage_year/sin_seconds/cos_seconds`: Está explicado mais detalhadamente na Secção 3.2;
- `condEstradaLumped`: Identifica se um acidente ocorreu com boas condições de estrada (Seco e Limpo) ou em Outras circunstâncias, que inclui também más condições destas;
- `isCapital`: Leva em conta o nome da freguesia e do distrito e identifica se o nome da freguesia representa uma capital de distrito. Foi realizada esta transformação para tentar diferenciar acidentes que acontecem em zonas rurais ou urbanas, visto que a área, a quantidade e o tráfico de estradas e rotundas nas capitais de distrito é maior do que em zonas menos povoadas, no restante do distrito. Se o acidente ocorreu na freguesia de Viseu, por exemplo, esta variável tem o valor TRUE.

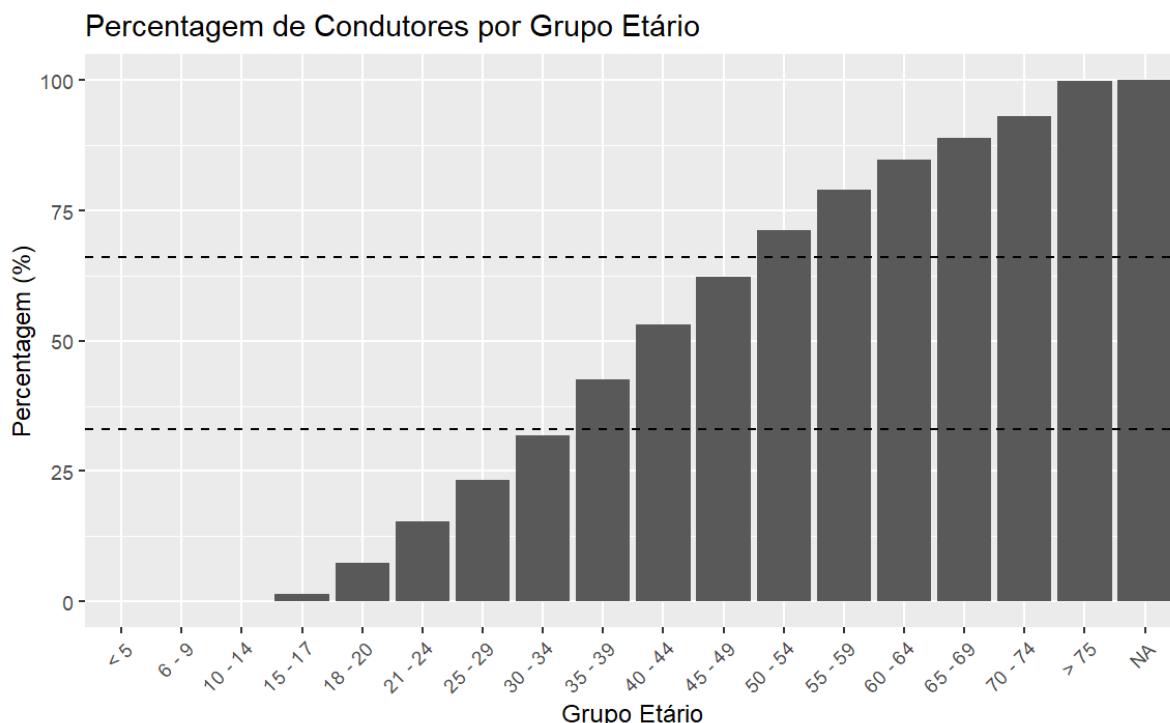


Figura 15: Alteração das Horas

3.2. Conversão do tempo

Na elaboração das nossas transformações e seleção de variáveis, chegamos a um problema sobre de como codificar a altura do ano e a altura do dia. Podíamos ter simplesmente colocado os dias/segundos decorridos, mas o problema seria que não informa o nosso modelo que as variáveis são cíclicas, ou seja, acidentes que ocorreram no fim do dia/ano teriam uma grande distância de acidentes que ocorreram no início do dia/ano seguinte, mesmo se a distância delas fosse mínima. Por exemplo:

$$\begin{aligned}
 00:15AM &\Rightarrow 900 \text{ segundos ocorrido em um dia} \\
 11:30PM &\Rightarrow 84600 \text{ segundos ocorrido em um dia} \\
 30/12/2022 &\Rightarrow 364 \text{ dias ocorridos no ano} \\
 02/01/2023 &\Rightarrow 2 \text{ dias ocorridos no ano}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Se codificássemos como apresentado, o modelo iria classificar que estes acidentes teriam uma grande distância, sendo que $84600 \gg 900$ e $364 \gg 2$; no entanto, a distância entre eles é de 2700 segundos e 3 dias.

Para resolvemos este problema, decidimos codificar de forma cíclica¹².

¹²Com base neste blog: <https://ianlondon.github.io/blog/encoding-cyclical-features-24hour-time/>

Visualizemos a conversão abaixo:

$$\text{HH:MM} \Rightarrow \text{segundos passados em um dia} * \frac{2\pi}{24h \cdot 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ sec}} \quad (2)$$

$$00:15\text{AM} : 900 \cdot \frac{2\pi}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{\pi}{48} \quad (3)$$

$$11:30\text{PM} : 84600 \cdot \frac{2\pi}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{47\pi}{24} \quad (4)$$

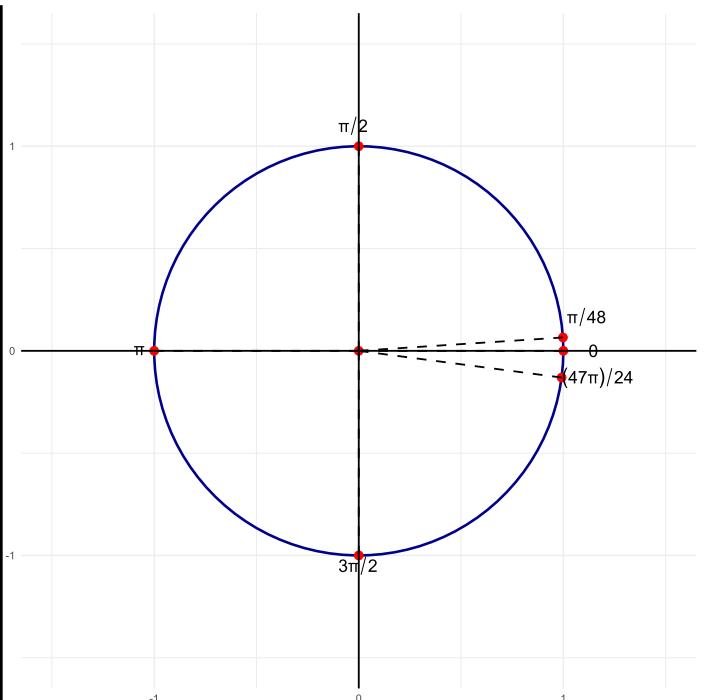
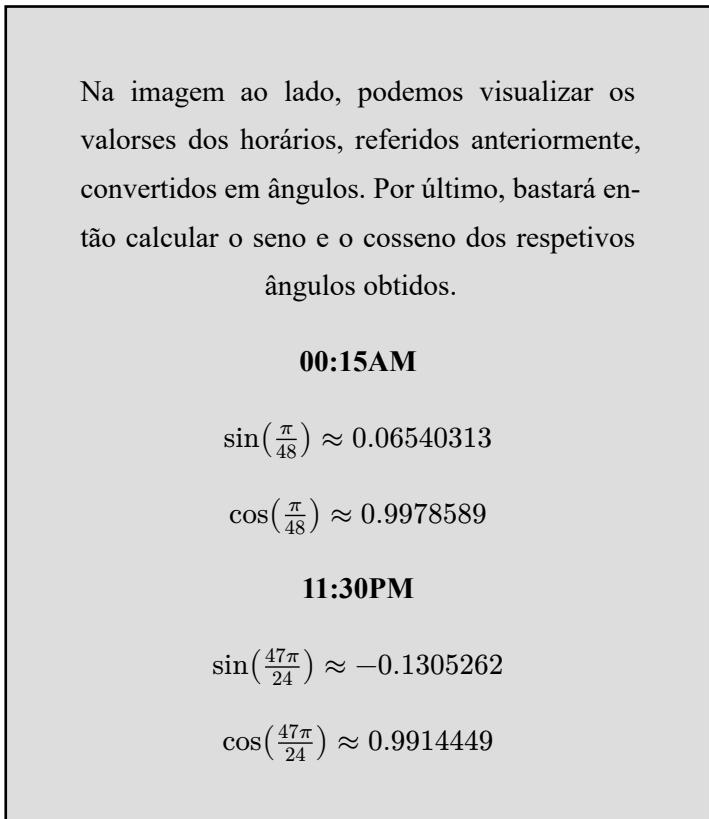


Figura 16: Trigonometria das horas

Comparando agora os resultados, é notório que estes se encontram mais próximos que anteriormente, demonstrando assim que o objetivo de colocar o valor dos segundos cíclico foi alcançado.

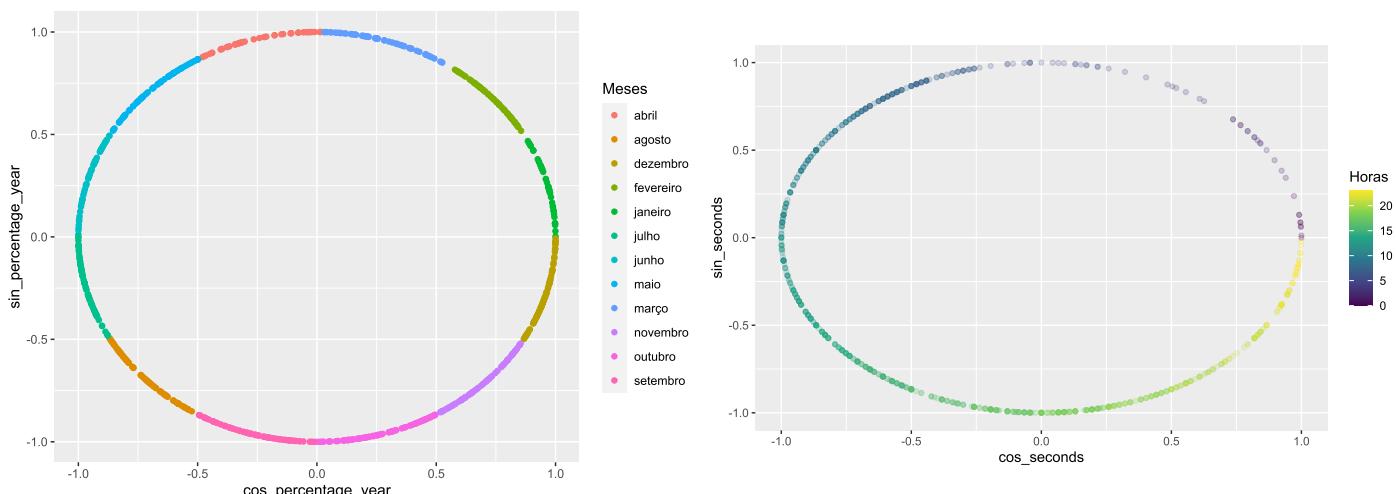


Figura 17: Filtragem dos dados

4. Análise dos resultados do *clustering*

De seguida, procedeu-se à técnica de agrupamento (*clustering*) de variáveis. Em primeiro lugar, usámos métodos de *clustering* hierárquicos, de forma a identificar um número adequado de grupos (*clusters*), para usar um método baseado em centroides. Para ajudar na decisão, também foi usado o método da silhueta¹³, que se resume a aplicar o algoritmo para vários números de clusters e verificar aquele que apresenta maior valor de silhueta. De seguida, executamos o algoritmo para os acidentes das rotundas de Viseu, e analisamos os resultados. Finalmente, aplicamos o algoritmo com os centroides anteriormente calculados para o resto das rotundas de Portugal Continental, de forma a investigar se os mesmos padrões podem ser extrapolados para o resto do País.

Como função de distância, usámos a distância de Gower¹⁴, uma métrica de similaridade adequada para tipos de dados numéricos, ordinais e nominais.

Como método de *clustering*, decidimos usar o algoritmo de Partição Sobre Medoides (PSM/PAM), um algoritmo similar a *k-means* mas que usa os medoides invés, nomeado por Rousseeuw¹⁵.

Decidimos usar este invés de outros métodos, pois este algoritmo torna-se mais relevante quando usamos distâncias mais complexas, como a distância de Gower. Após a análise dos resultados do *clusterings* hierárquicos e do método da silhoueta¹⁶, decidimos usar como número de clusters $k = 4$.

Além disso, de forma a podermos obter informações adicionais sobre o acidente, utilizamos a variável **GNR_PSP** como variável de *PROFILE*, uma vez que através da área de atuação de cada uma: GNR (rural) e PSP (urbana)¹⁷, podemos inferir se o acidente ocorreu numa área rural ou urbana, oferecendo *insights* adicionais sobre a caracterização do acidente e a sua alocação no *cluster*. Também utilizámos a *latitude* e a *longitude* como variáveis de *PROFILE* para ver a localização dos acidentes atribuídos a cada *cluster* no mapa.

4.1. Análise no concelho de Viseu

Para a caracterização dos *clusters* iremos utilizar a tabela seguinte, com base no que foi mencionado acima.

Tabela 2: Alocação de cada acidente para cada *cluster* numa zona rural (GNR) ou urbana (PSP) em Viseu

Nº <i>cluster</i>	GNR	PSP
1	65	93
2	31	142
3	141	42
4	102	233

Através deste último algoritmo, relembrado que foi o que apresentou melhores resultados, atribuímos cada uma dessas observações a um dos 4 *clusters*. As conclusões que pudemos retirar da criação dos *clusters* e a sua respetiva alocação de observações foram as seguintes:

¹³[https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)

¹⁴Usando a função *daisy* do pacote *cluster* <https://www.rdocumentation.org/packages/cluster/versions/2.1.6/topics/daisy>

¹⁵<https://doi.org/10.1002/9780470316801.ch2>

¹⁶Este encontra-se no Anexo 6.4

¹⁷<https://www.msn.com/pt-pt/noticias/other/qual-a-diferen%C3%A7a-de-fun%C3%A7%C3%A7%C3%93es-da-gnr-e-da-psp/ar-AA18RylF>

4.1.1. Cluster 1

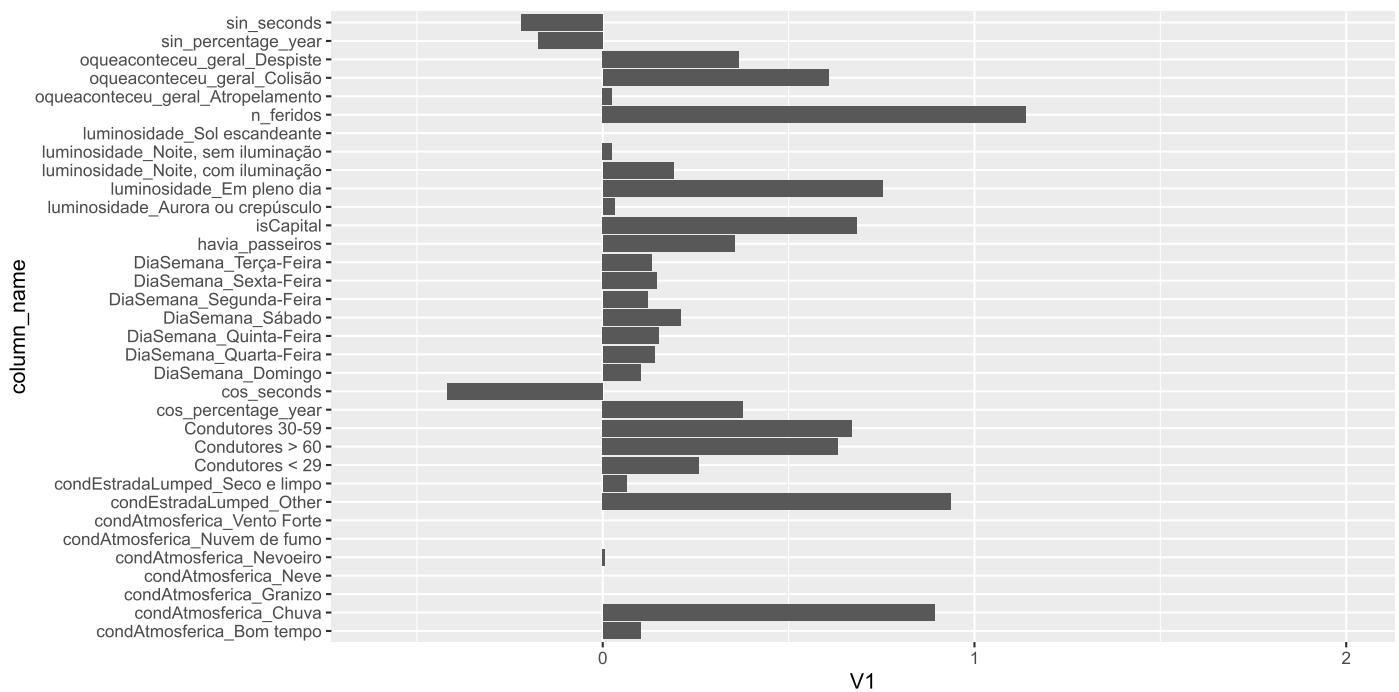


Figura 18: Resultados para o *cluster* 1

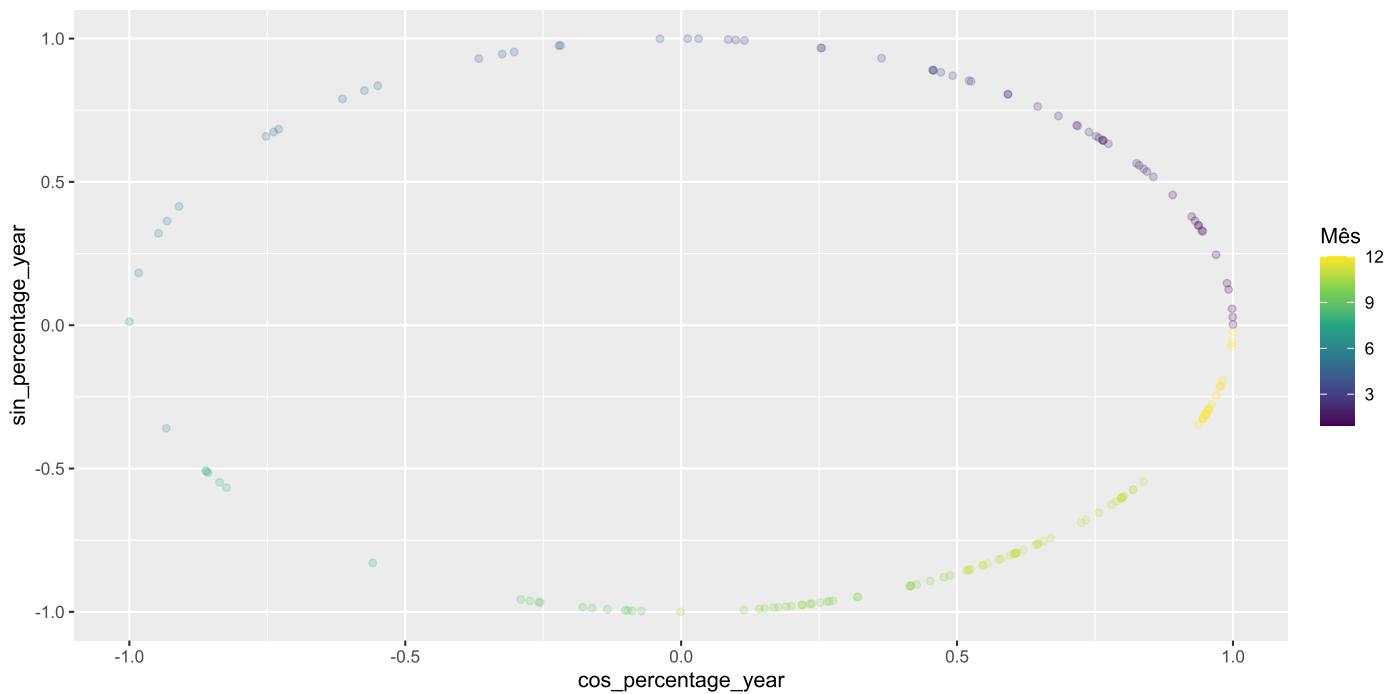


Figura 19: Evolução dos acidentes do *cluster* 1 ao longo do ano

Condições climatéricas adversas: A partir das variáveis *condAtmosferica_Chuva* e *condEstradaLumped_Other* observa-se que as condições climatéricas adversas têm um elevado foco neste *cluster* de acidentes, sendo importante comentar sobre a chuva, assim como a existência de condições desfavoráveis ao piso nas estradas, fazendo-nos assumir que, provavelmente, os acidentes deste *cluster* possuíam o piso escorregadio, o que propicia o aumento do número de acidentes. Além disso, no segundo gráfico, sugere-se que, neste *cluster*, a maioria dos acidentes ocorreram no outono/inverno, o que está de acordo com a designação que decidimos atribuir a este *cluster*.

4.1.2. Cluster 2

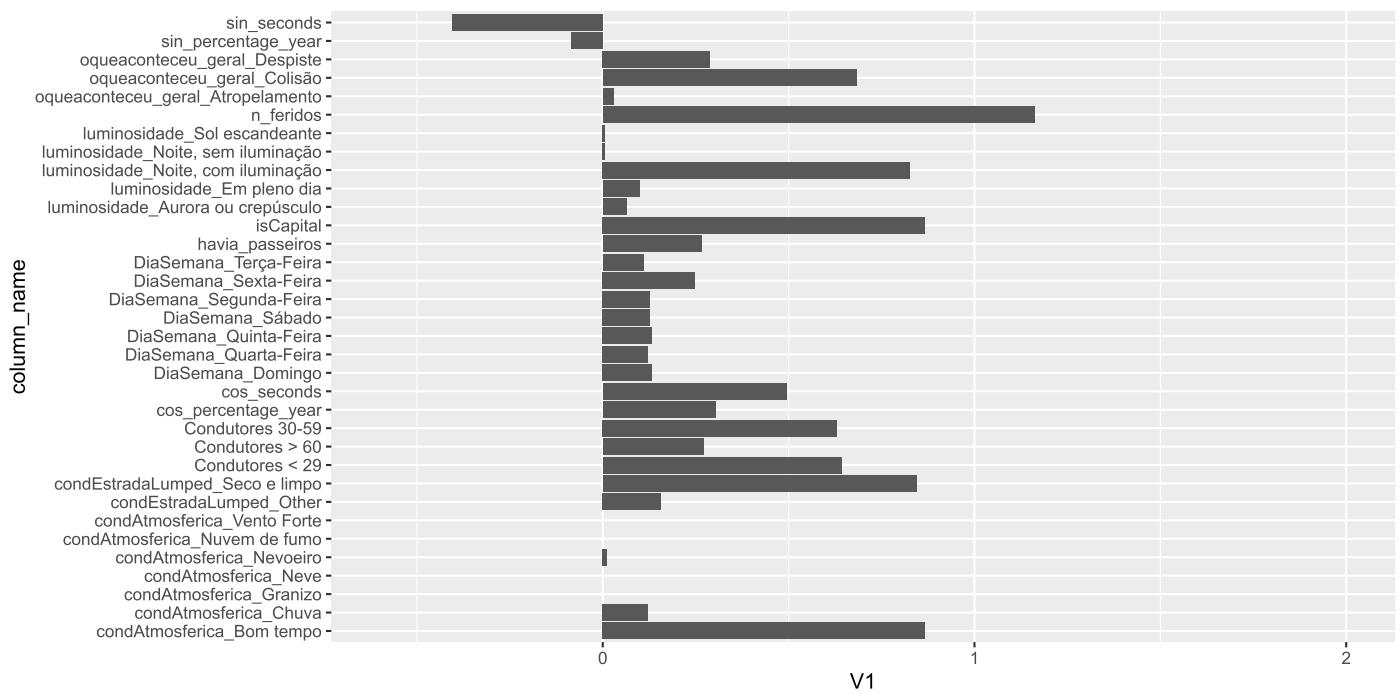


Figura 20: Resultados para o cluster 2

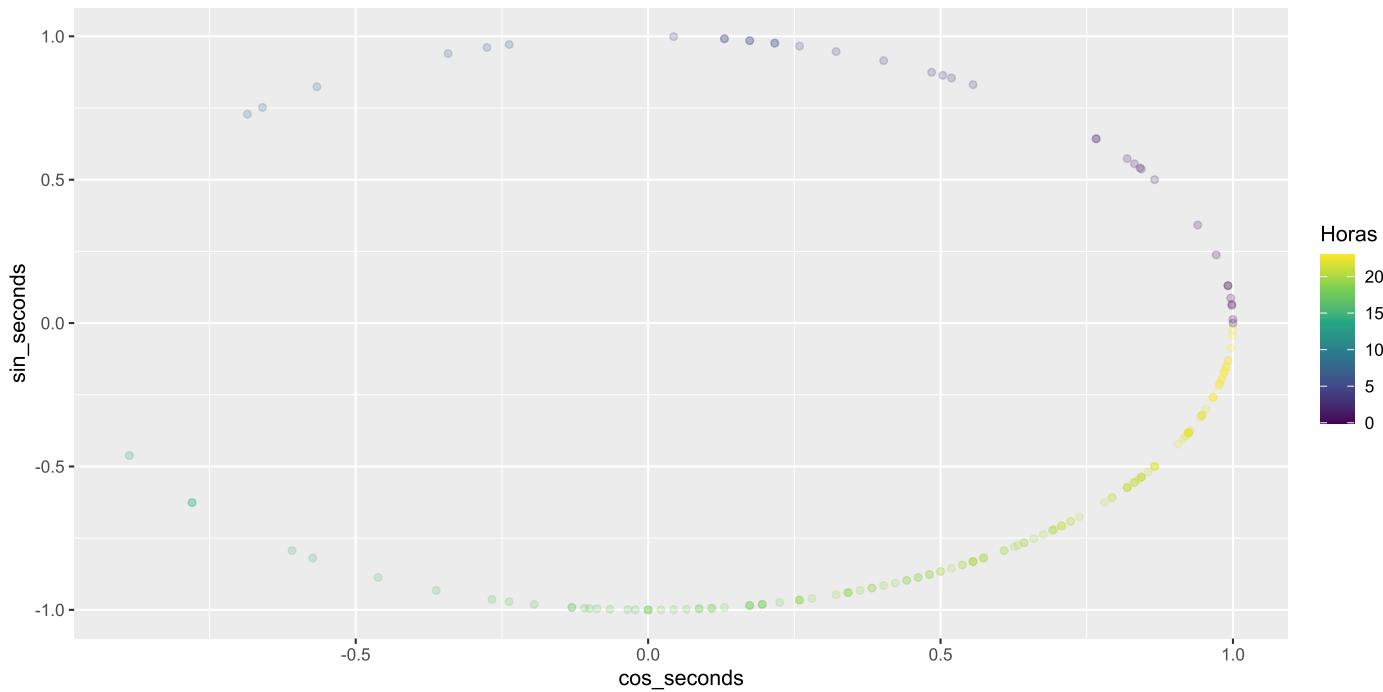


Figura 21: Evolução dos acidentes do cluster 1 ao longo do dia

Condutores jovens/adultos em saídas noturnas: Suportado pelas variáveis luminosidade_Noite, com iluminação, Condutores < 29 e Condutores 30-59 e havia_passeiros: constata-se uma predominância de acidentes em período noturno em condutores jovens/adultos, com um elevado número de passageiros, ocorrendo essencialmente em zonas urbanas. Desta forma, este cluster pode representar as saídas à noite de jovens com os seus amigos. A ideia de que a maioria dos acidentes se registou no período noturno, pode ser reforçada pelo segundo gráfico, que possui uma maior concentração dos pontos no lado direito do gráfico, que representam horários noturnos.

4.1.3. Cluster 3

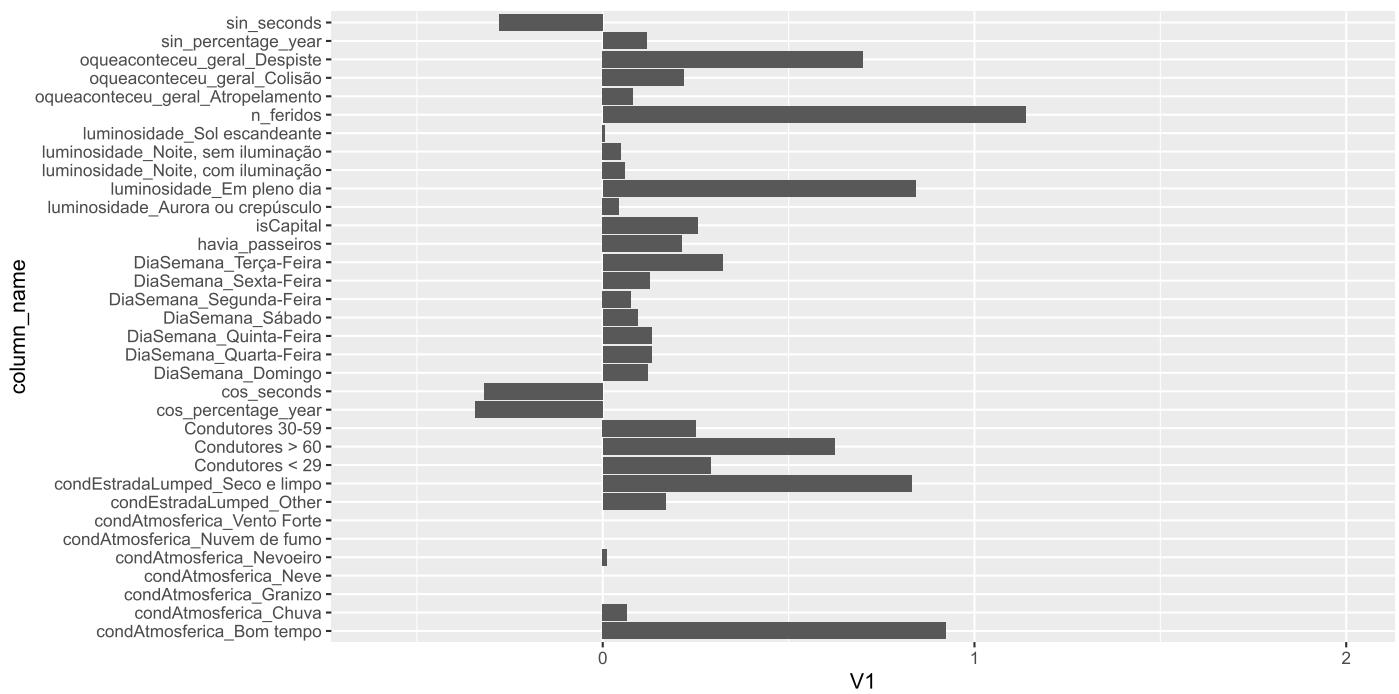


Figura 22: Resultados para o cluster 3

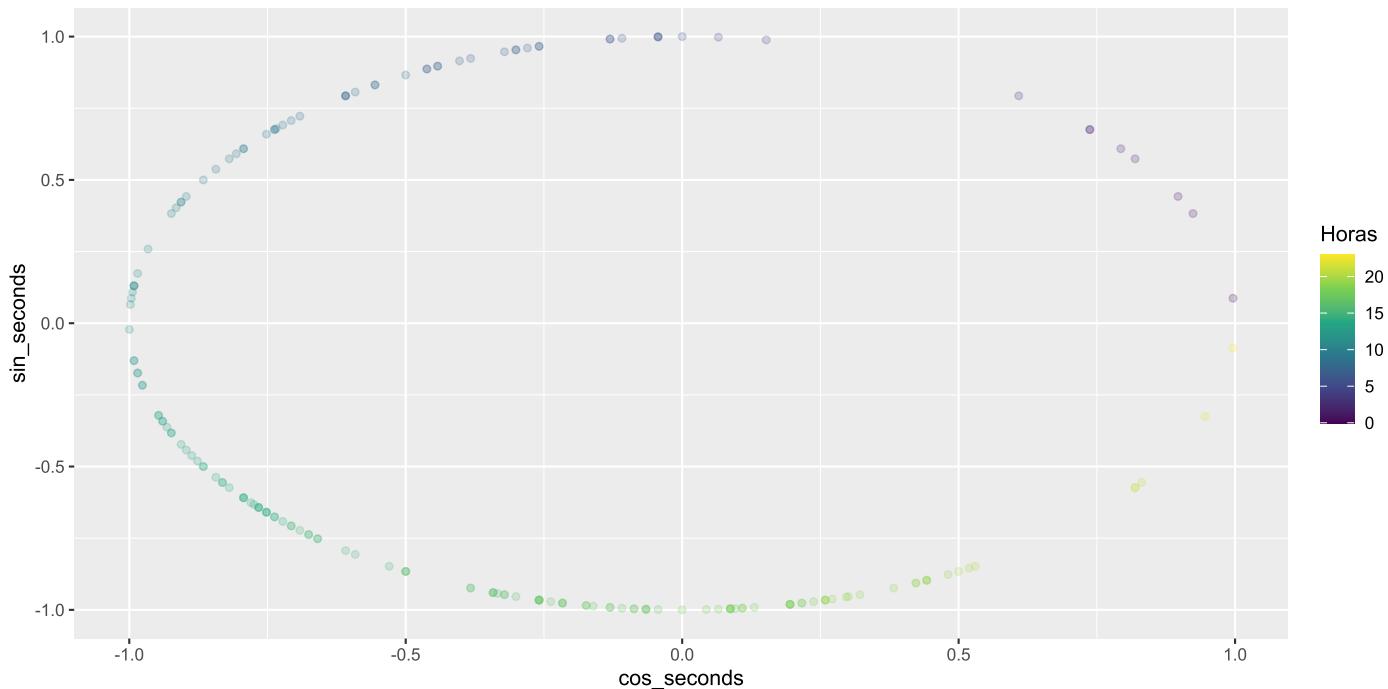


Figura 23: Evolução dos acidentes do cluster 3 ao longo do dia

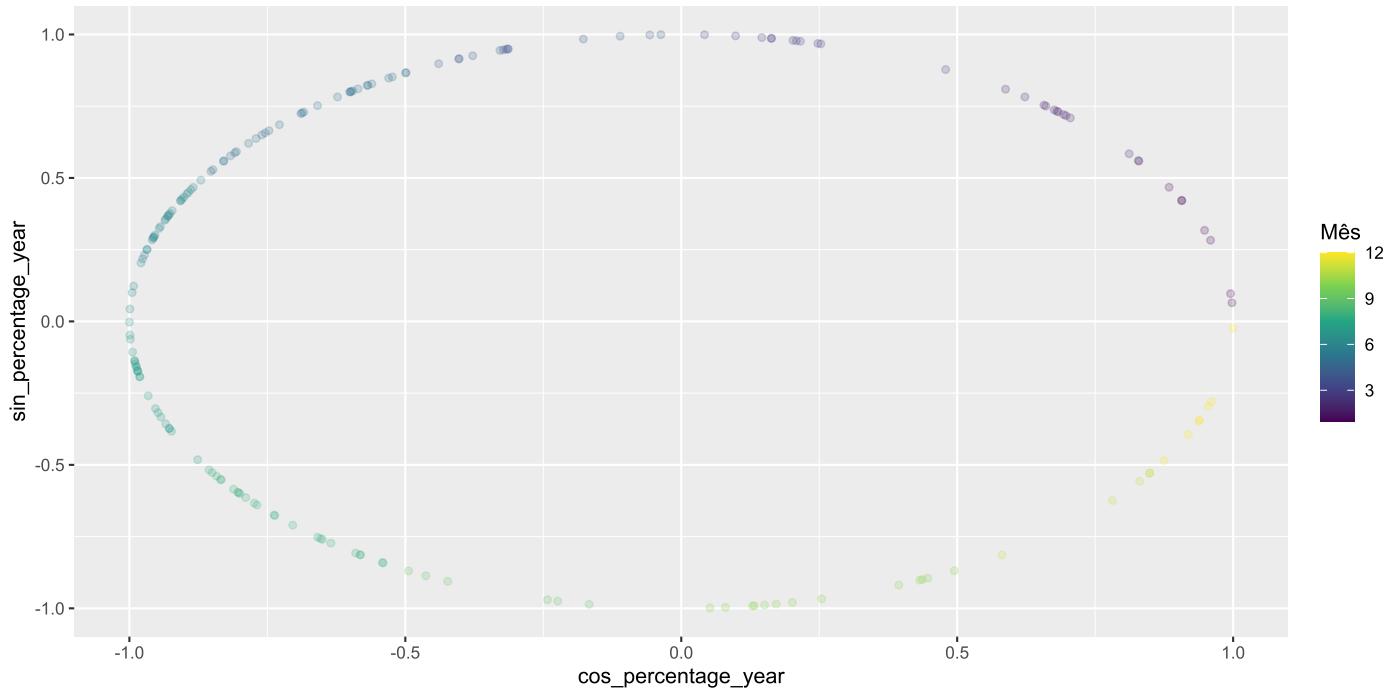


Figura 24: Evolução dos acidentes do *cluster 3* ao longo do ano

Despistes de condutores idosos: Baseado na variável `oqaconteceu_geral_Despiste`, verifica-se que a maioria dos acidentes são despistes provocados por condutores idosos (Condutores > 60) e em zonas rurais que também costumam ser caracterizadas por uma população mais envelhecida, podendo estar associados a um menor tempo de reação destes e, consequentemente, estarem mais propícios a acidentes. Além disso, pelos segundo e terceiro gráficos, é possível constatar que a maioria dos acidentes parece ocorrer na primavera/verão durante o período da manhã. (Ambos os gráficos apresentam uma maior concentração dos pontos no lado esquerdo)

4.1.4. Cluster 4

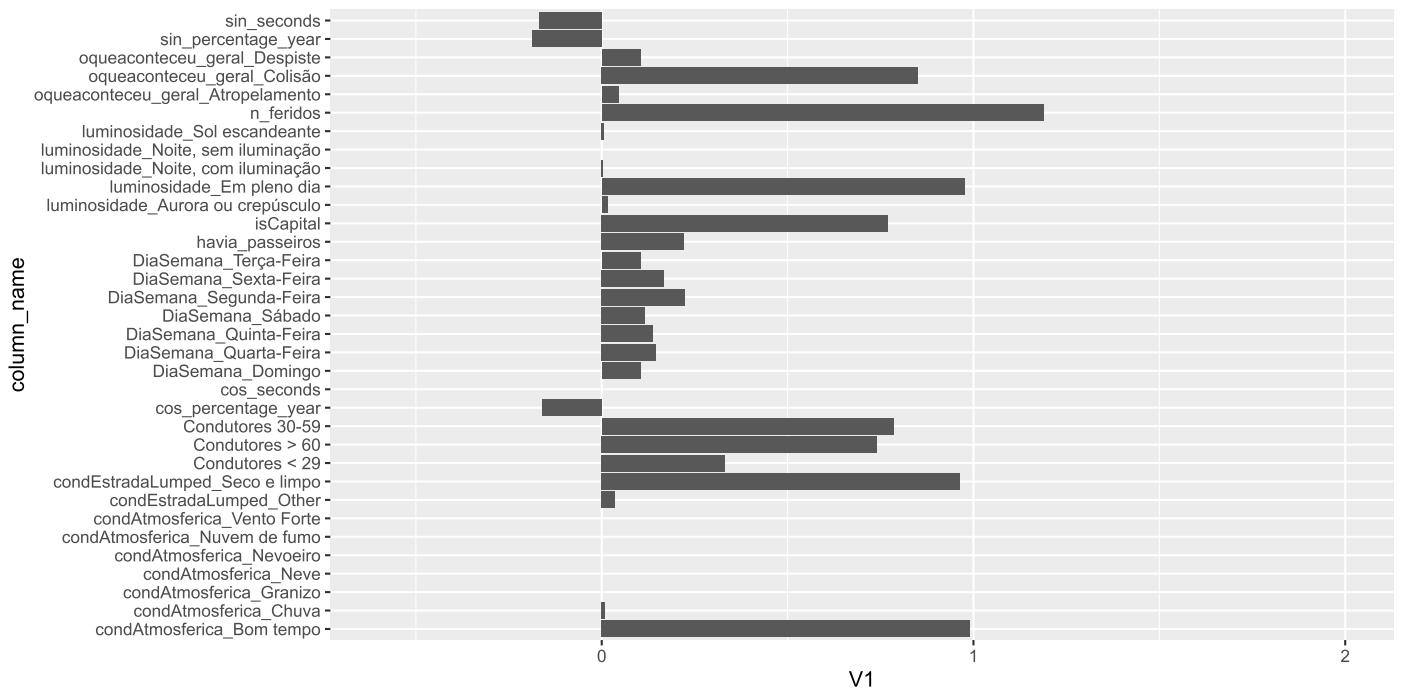


Figura 25: Resultados para o cluster 4

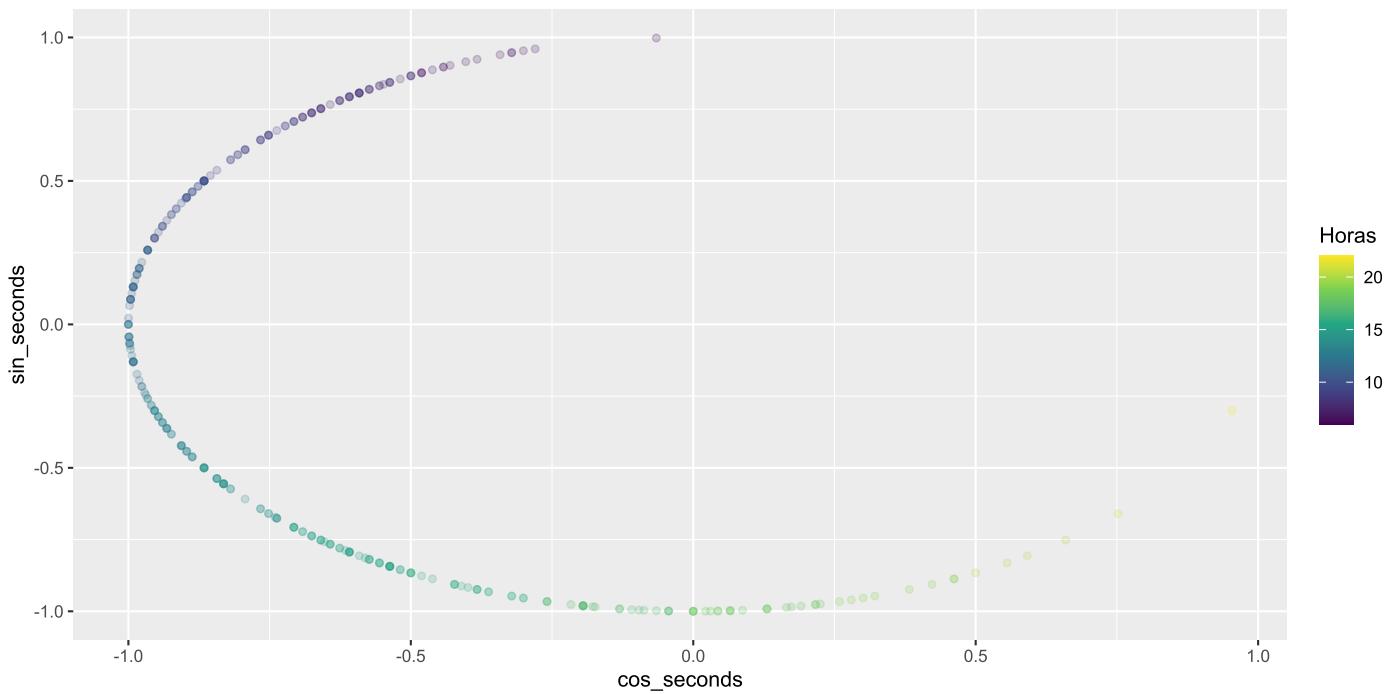


Figura 26: Evolução dos acidentes do cluster 4 ao longo do dia

Colisões: Através da variável `oquaconteceu_geral_Colisão`, neste cluster encontram-se predominantemente as colisões com condições atmoféricas normais, ocorrendo na sua maioria em zonas urbanas. O segundo gráfico parece sugerir que a maioria das colisões ocorreram no período de deslocação casa-trabalho e vice-versa, o que, se analisado corretamente, apresenta alguma lógica, pois, quando as pessoas estão a ir para o trabalho ou a voltar para casa costumam estar mais apressadas e cansadas.

4.1.5. Acidentes com latitude e longitude de perfil

Passemos agora para a caracterização dos *clusters* através da perfilagem das coordenadas geográficas dos acidentes. (Relembramos que nem todos os acidentes estão representados, uma vez que alguns deles não possuíam coordenadas)



Figura 27: Mapa com a alocação de cada uma das observações nos respetivos *clusters* e a sua localização no mapa

No mapa apresentado, verifica-se a existência de poucos acidentes assinalados a azul, uma vez que a maioria dos acidentes no concelho de Viseu são registados em zonas urbanas. Relativamente aos acidentes atribuídos com a cor violeta, existem de forma abundante, estando espalhados pelo concelho inteiro. Os acidentes assinalados a verde correspondem a acidentes ocorridos predominantemente à noite, tal como veremos de seguida, tendo uma maior concentração em zonas centrais (urbanas). Os sinistros a laranja representam condições adversas, quer meteorológicas, quer das condições da estrada.



Figura 28: *Clustering* na Praça Carlos Lopes

O local representado nas duas imagens desta figura representa uma zona urbana na Praça Carlos Lopes, sugestão essa reforçada pela ausência de acidentes assinalados a azul, que costumam ser característicos das zonas rurais, pela variável de perfil GNR_PSP já estudada.

Na imagem à direita é possível verificar a existência de acidentes representados a verde que identificam tipicamente os acidentes noturnos, enquanto os assinalados a roxo representam locais em que, normalmente, o tipo de acidentes mais comuns são colisões, sendo representados pelos *clusters* 2 e 4, respetivamente.

Por fim, os acidentes assinados a laranja possuem uma peculiaridade. De acordo com a cobertura de carro do *Google Maps*, constata-se que em 2009 não havia nenhum sinal de *stop*, enquanto nos mapas de 2014 e 2018 estava colocado um sinal de *stop* tal como ilustrado na imagem à esquerda de julho de 2018 (pequeno poste preto a dizer *stop*). É possível que as pessoas não tivessem reparado no sinal tal como mostra o acidente de 2015 na Figura 28. O sinal foi substituído algures entre 2018 e 2019, sendo que dos sinistros que têm latitude e longitude foram registados no *cluster* 1 (laranja). Por todas estas razões, a estrada podia estar em más condições naquele período, que é impossível de visualizar no *Google Maps* porque só tem datas espaçadas.

4.2. Análise em Portugal inteiro e comparação com o cenário anterior

Passaremos agora a analisar o cenário em todo o Portugal Continental e comparar com o cenário anterior. Abaixo apresenta-se a alocação da zona do acidente (rural ou urbana) em cada *cluster*:

Tabela 3: Alocação de cada acidente para cada cluster numa zona rural (GNR) ou urbana (PSP) para Portugal Continental

Nº <i>cluster</i>	GNR	PSP
1	1029	1681
2	928	1278
3	2081	3076
4	1502	2332

4.2.1. Cluster 1

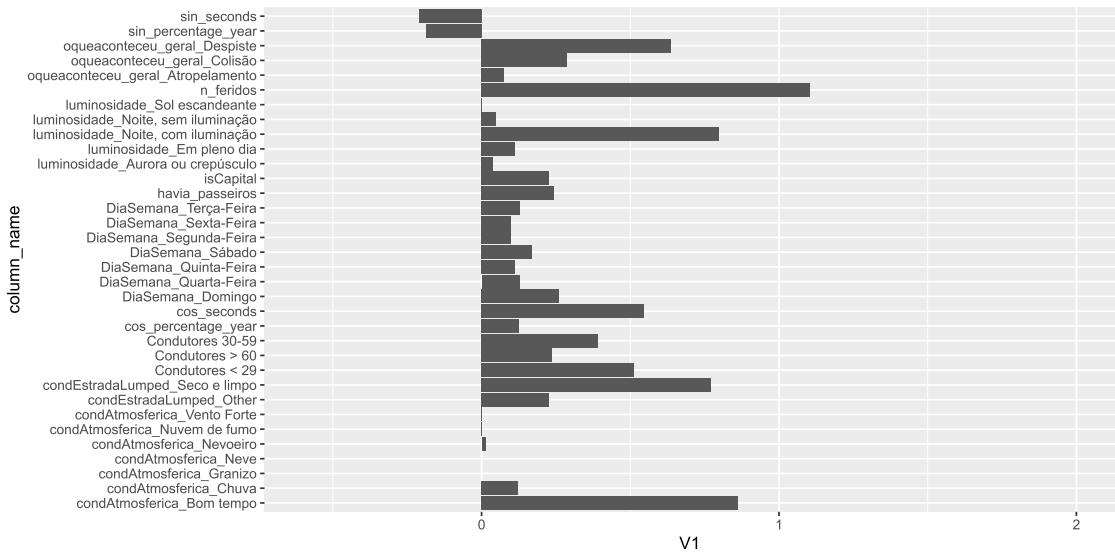


Figura 29: Resultados para o *cluster 1*

Despistes à noite: Neste *cluster* à semelhança do *cluster 2* do cenário anterior (Secção 4.1.2), os acidentes verificam-se predominantemente à noite, mas não há predominância dos mesmos em condutores jovens e verificando-se essencialmente despistes. Estes ocorrem, maioritariamente, em zonas urbanas, zonas essas que são as que costumam ter mais tráfego à noite, comparativamente às zonas rurais.

4.2.2. Cluster 2

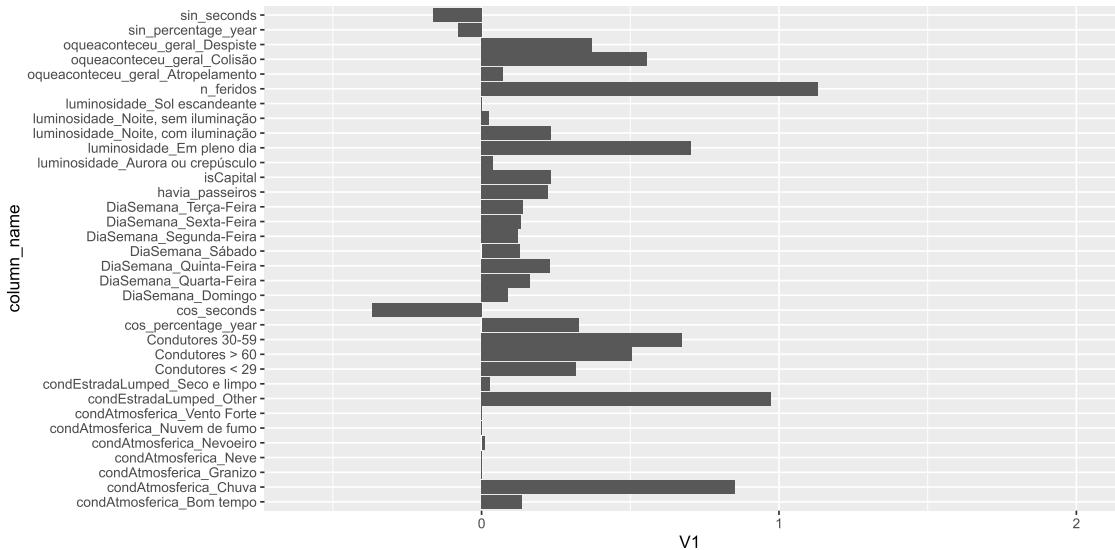


Figura 30: Resultados para o *cluster 2*

Condições atmosféricas adversas: Semelhante ao *cluster 1* do cenário anterior (Secção 4.1.1) este é caracterizado por acidentes em condições atmosféricas adversas e nos mesmas estações do ano (outono/inverno).

4.2.3. Cluster 3

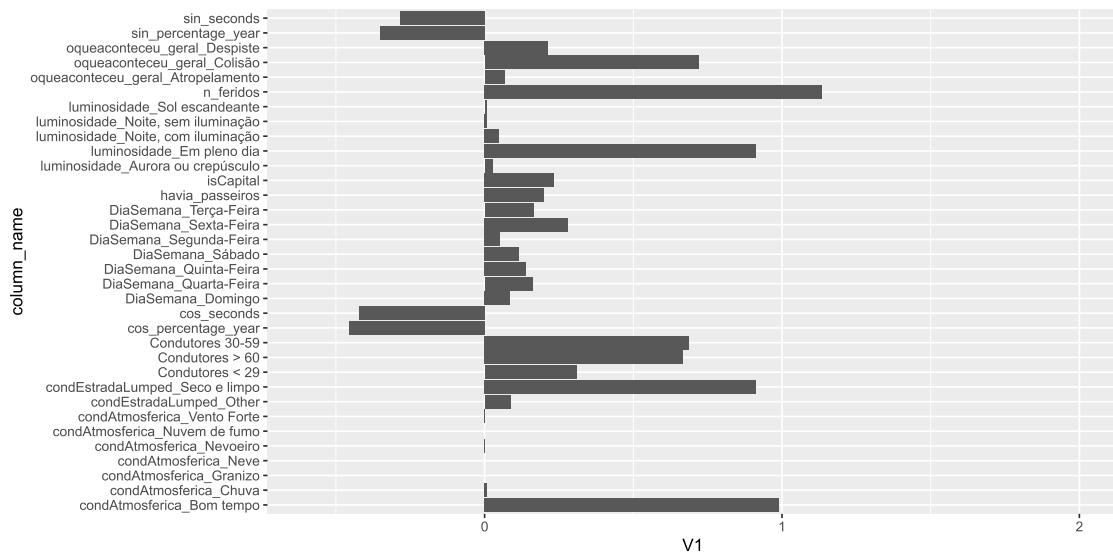


Figura 31: Resultados para o *cluster 3*

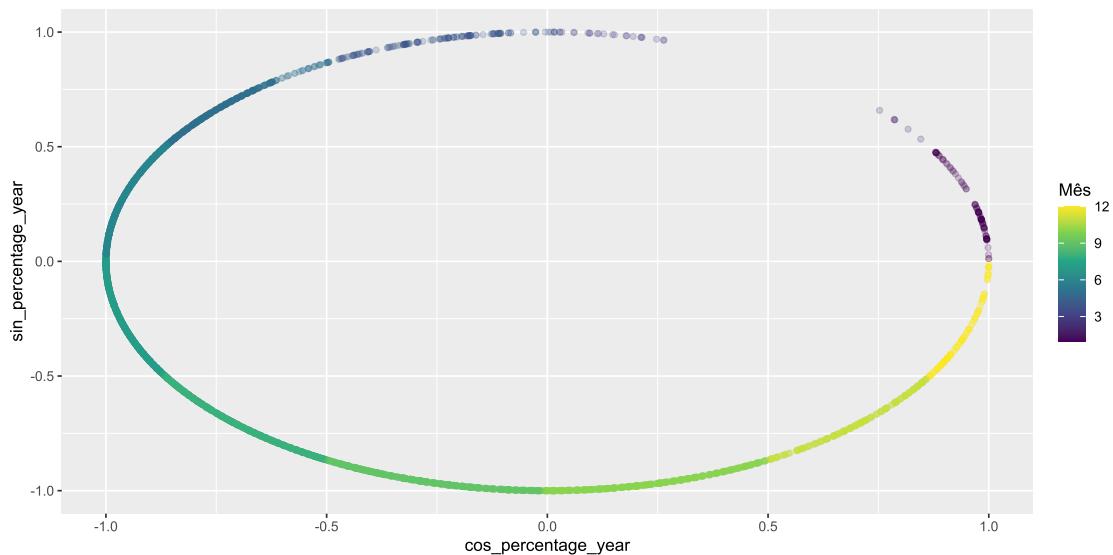


Figura 32: Evolução dos acidentes do *cluster 3* ao longo do ano

Colisões: Semelhante ao *cluster 4* do cenário anterior (Secção 4.1.4) onde se apresentam maioritariamente colisões, registados em zonas urbanas. A maioria destas registam-se na primavera/verão tal como sugere o segundo gráfico.

4.2.4. Cluster 4

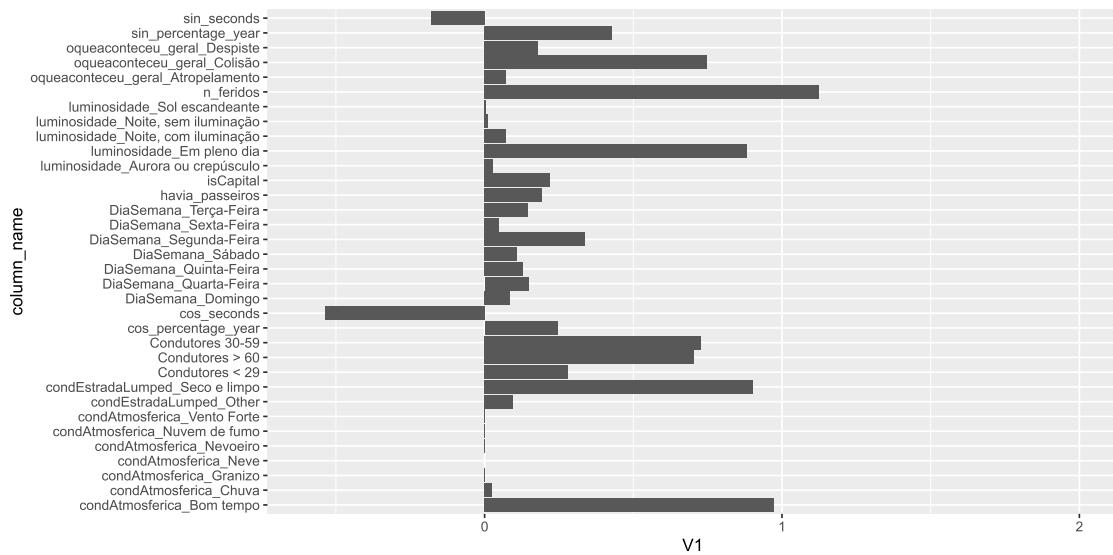


Figura 33: Resultados para o *cluster 4*

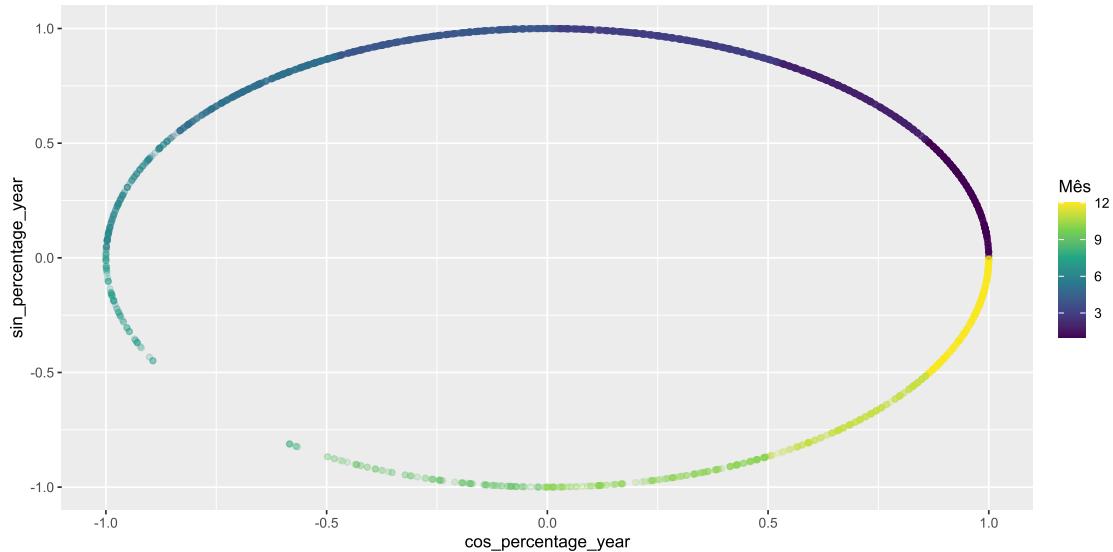


Figura 34: Evolução dos acidentes do *cluster 4* ao longo do ano

Colisões de condutores idosos: Relativamente análogo ao *cluster 3*, a maioria dos acidentes são provocados por condutores idosos, mas neste cenário a maior parte dos acidentes são colisões e não despistes como no anterior (Secção 4.1.3), contudo, registam-se mais acidentes nas zonas urbanas. Além disso, de acordo com o segundo gráfico, estes acidentes não parecem ocorrer durante a época do verão.

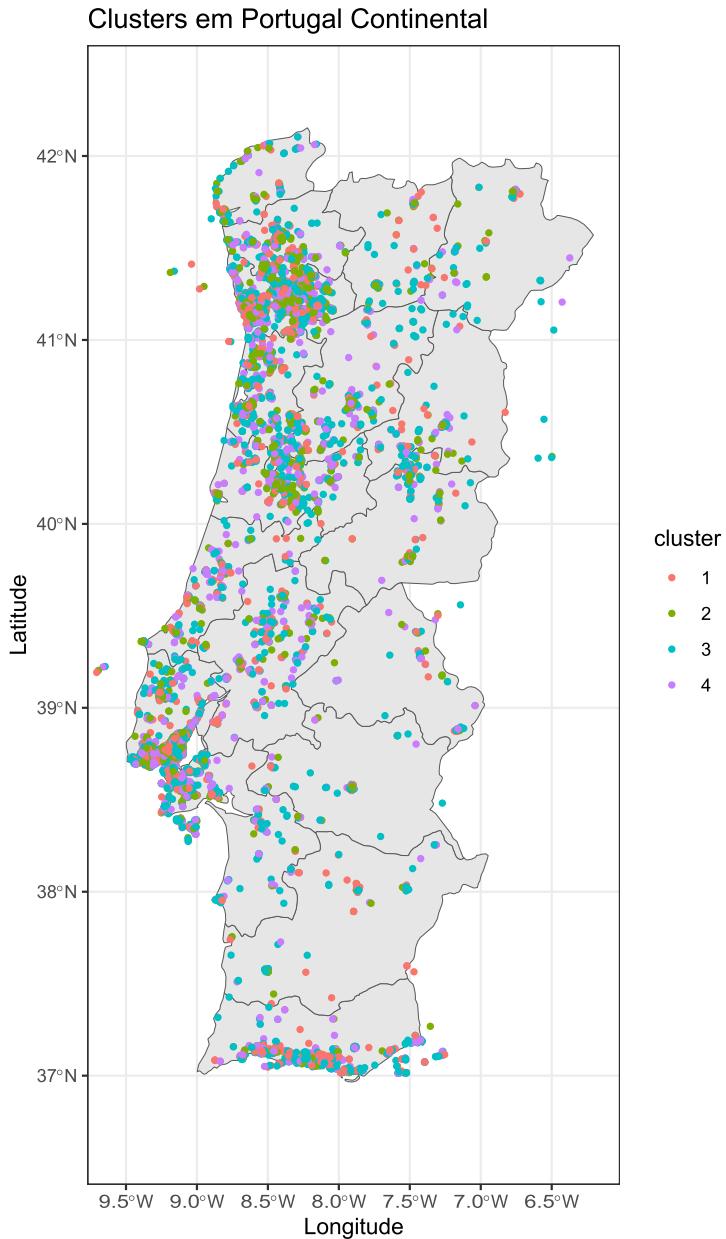


Figura 35: Alocações das observações por cada *cluster* no mapa de Portugal Continental

O gráfico acima demonstra que existe uma maior concentração dos acidentes nas rotundas no litoral, causada pela litoralização, sendo uma exceção o alentejo litoral¹⁸. Comentando sobre os *clusters* obtidos em Portugal e em Viseu, os grupos obtidos em cada um destes são bastante parecidos, dando assim a entender que Viseu não apresenta acidentes “únicos” nas rotundas, ou seja, os problemas que existem em Viseu, relativamente às rotundas, são, de grosso modo, muito parecidos com os problemas das rotundas em Portugal Continental, dando assim a entender que os resultados obtidos não foram muito enriquecedores para a descoberta de características chave em Viseu. É importante ter em conta que esta conclusão está limitada aos dados que foram fornecidos, que são uma mera amostra de todos os acidentes que ocorrem em Portugal.

¹⁸<https://www.dn.pt/sociedade/desequilibrio-na-distribuicao-populacional-pelo-territorio-acentuou-se-15380510.html>

5. Conclusão

Feita a análise dos acidentes nas rotundas no concelho de Viseu, é evidente que os *insights* obtidos desempenham um papel vital na compreensão da dinâmica accidental na região. Os resultados significativos que emergiram podem ser úteis para a compreensão extensa dos acidentes de rotundas não só de Viseu, mas também do resto dos distritos de Portugal Continental, e das diferenças entre eles.

Segundo o Automóvel Clube de Portugal (ACP), vários acidentes ocorrem devido a comportamentos de risco na estrada¹⁹. A falta de civismo e o desrespeito pela regras rodoviárias impactam de forma significativa o número de acidentes. Uma prática bastante comum em rotundas é a saída repentina do centro da rotundas, muitas vezes sem a devida e atempada sinalização, podendo apanhar vários condutores desprevinos. Esta situação ainda se torna mais perigosa quando o condutor conduz de forma descuidada e/ou em situações de pouca visibilidade, como à noite²⁰ e em dias que existam situações climatéricas adversas (como, por exemplo, o nevoeiro).

Existem várias medidas já pré-estabelecidas para controlar e proteger todos os condutores, tendo como exemplo os limites de velocidade²¹ que, pelas rotundas se localizarem dentro de localidades, limitam a circulação nestas a uma velocidade máxima de 50 km/h; mesmo assim, é referido no código da estrada²² pelo Artigo 25.º Velocidade moderada que nas rotundas “... o condutor deve moderar especialmente a velocidade”. Somado a este controlo de velocidade, também existem regras de como se deve circular numa rotunda, estando sujeito a coima²³ todos os indivíduos que desrespeitarem as regras. Em conjunto com isto, a Autarquia de Viseu procurou diminuir o número de acidentes com a instalação de semáforos limitadores de velocidade a 50 Km/h em 2017²⁴. A PSP realizou recentemente a campanha “Viajar sem pressa”²⁵ na Rotunda João Paulo II (a rotunda com maior número de feridos Figura 4 em Viseu). Estes factos demonstram que medidas já estão a ser tomadas para aumentar a segurança na estrada e reduzir o número de acidentes.

Segundo as próprias autoridades: “Se um veículo circular a 30 km/h, a probabilidade das consequências de um atropelamento serem mortais é de 10%. Aumentando a velocidade para 50 km/h, a probabilidade passa a ser de 80%”, logo fica assim subentendido que este controlo de velocidades é fundamental para uma circulação segura.

Mesmo assim, estas medidas não são o suficiente para dar resposta aos acidentes, como é possível visualizar na Figura 39 que mostra todos os acidentes que ocorreram nas rotundas de Viseu, sendo notório que não houve um decréscimo constante.

Em suma, para enfrentar os desafios persistentes relacionados aos acidentes em rotundas, é imperativo adotar uma abordagem abrangente e multifacetada. A implementação de campanhas educativas, a intensificação da fiscalização, melhorias na sinalização e iluminação são passos cruciais na promoção da segurança rodoviária. Uma solução poderia ser a implementação das **Turbo-rotundas**²⁶ (Documento sobre a Turbo-Rotunda), método que apresentou resultados incríveis relativamente à diminuição de acidentes, podendo usar como exemplo os Países Baixos que, após a implementação desta nova rotunda, os acidentes reduziram-se em 80%.

¹⁹<https://www.acp.pt/veiculos/condutor-em-dia/conduzir-em-seguranca/12-comportamentos-de-risco-na-estrada>

²⁰exemplo de acidente: <https://www.cmjornal.pt/portugal/detalhe/motociclista-ferido-em-colisao-com-carro-em-viseu>

²¹<https://www.bomcondutor.pt/biblioteca/resumo-velocidades>

²²<https://www.invicta.pt/pdf/legislacao/Codigo%20da%20Estrada%202014.pdf>

²³<https://www.bomcondutor.pt/biblioteca/resumo-circulacao-rotundas>

²⁴<https://www.cmjornal.pt/portugal/cidades/detalhe/radares-e-semáforos-na-circular-de-viseu>

²⁵<https://www.jornaldocentro.pt/noticias/diario/psp-viseu-2023-com-mais-viaturas-controladas-e-menos-multas>

²⁶<https://pplware.sapo.pt/motores/turbo-rotundas-como-funcionam/>

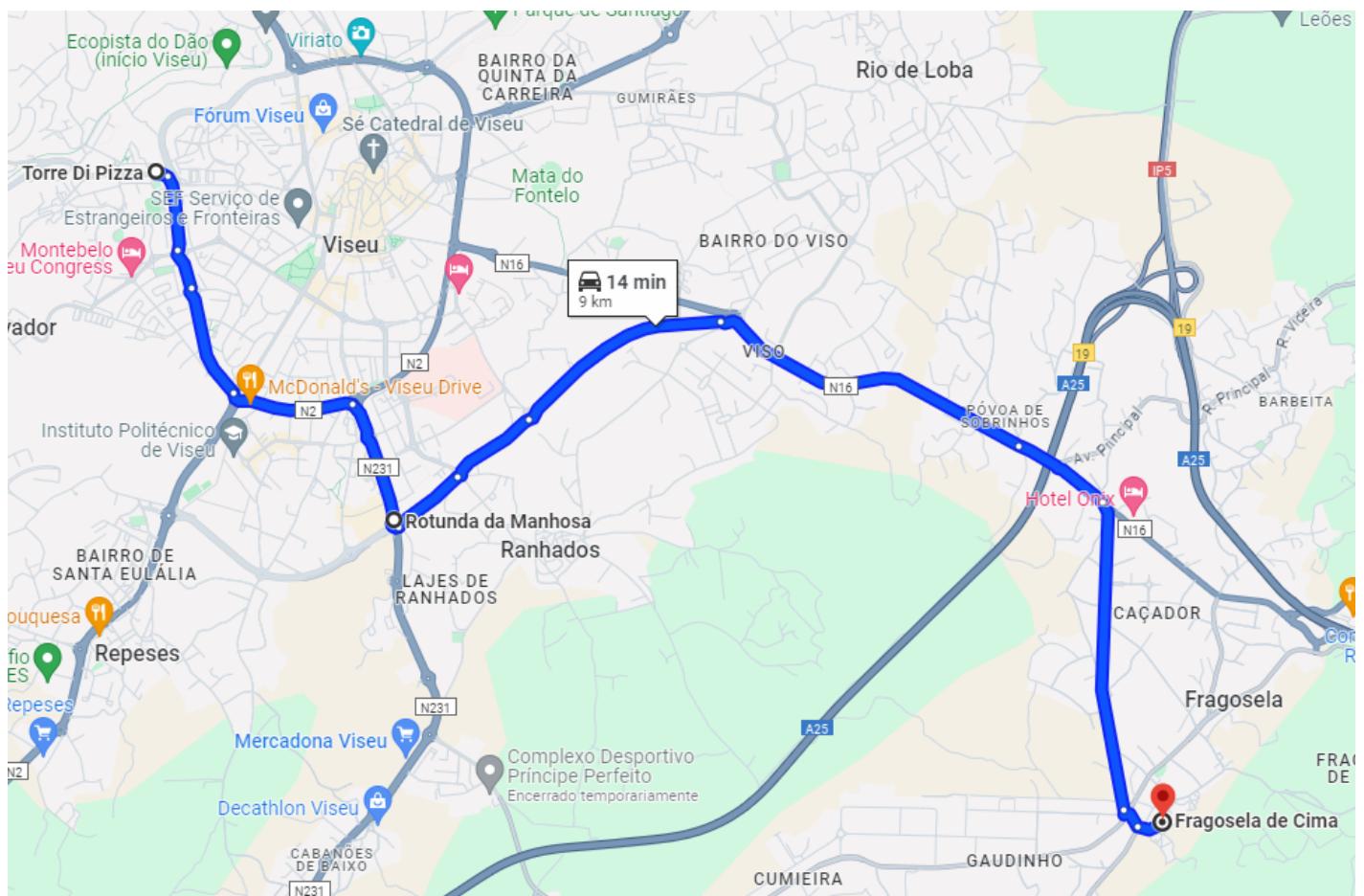
Recomendamos que realizem futuros projetos e análises a fim de identificar possíveis problemas associados a outros distritos e/ou a outros tipos de intersecções, de forma a promover uma percepção realista dos acidentes de viaturas neste País; seja com outros métodos, outros dados, ou outras interpretações.



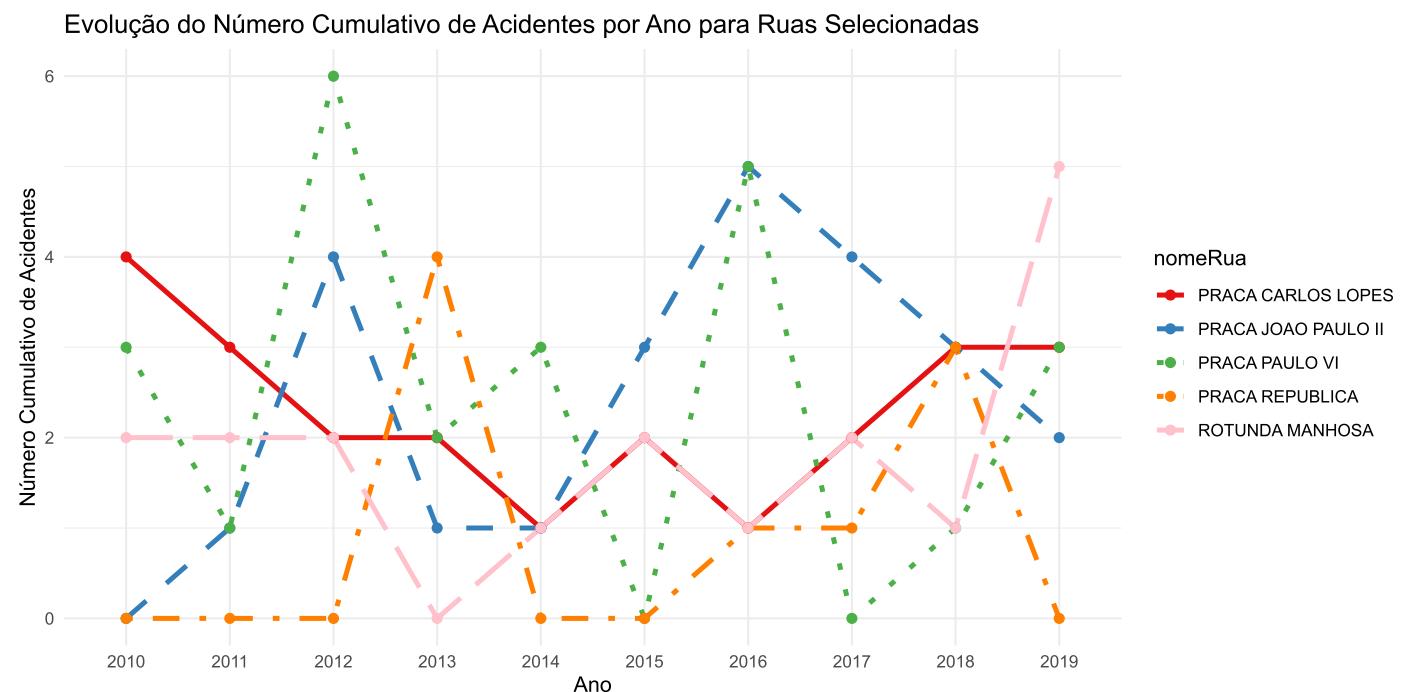
Figura 36: Turbo Rotunda

6. Anexos

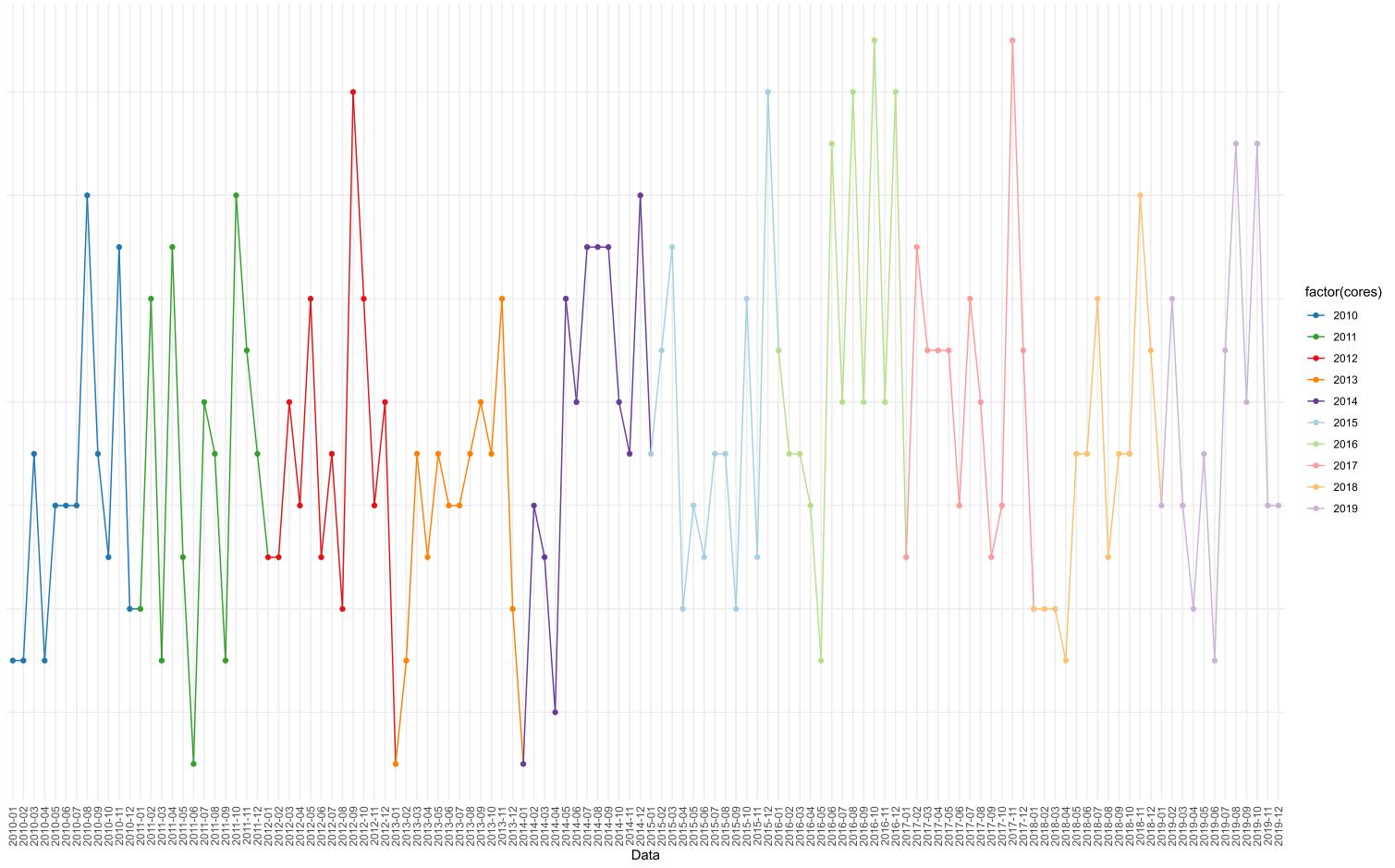
6.1. Anexo A - Possível caminho da vítima mortal na rotunda Manhosa



6.2. Anexo B - Número de acidentes nas rotundas de Viseu por mês



6.3. Anexo C - Número de acidentes nas rotundas de Viseu por mês



6.4. Anexo D - Método de Silhueta

