

Distribuição geográfica e situação de atendimento dos equipamentos PET-CT NO BRASIL, considerados os fatores distância e população: Estudo e proposta a partir dos dados do DATASUS.

Felipe M. C. Ciabattari¹, Thiago R. de Souza² e Mario O. de Menezes³

^{1 2 3}Faculdade de Computação e Informática (FCI) – Universidade Presbiteriana Mackenzie São Paulo – Rua da Consolação, 930, Consolação, São Paulo - SP – Brasil

`cabral.felipe@gmail.com, thiagoSouza1421@hotmail.com,`

`mario.menezes@mackenzie.br`

Abstract. *Distances to PET-CT diagnostic equipment need to be reduced so that patients can have a rapid diagnosis of diseases, and as a consequence, have a greater chance of survival through early detection and initiation of treatment. Therefore, this study will address the analysis of how PET-CT equipment is distributed in the Brazilian territory and what should be done to improve the population's access to it. Plotting data on maps for visualization and analysis of results showed that Brazil has an insufficient amount of PET-CTs to adequately meet the demands of the population in relation to specific diagnostic tests, provided only by this equipment. So, a proposal for locating new equipment was made using the Location-allocation Problem solver through the methods Minimize Weighted Impedance (P-Median), Maximize Coverage, Maximize Attendance. The algorithm in Python language was executed inside a notebook in the ArcGIS Pro Desktop software environment, and as a result, within the parameters introduced, it indicated a necessity of 512 additional equipments to the 119 already existing in the country. Besides that, due to the heterogeneity of the Brazilian territory, 15.403.911 inhabitants were without access to a PET-CT within the restrictions determined in the algorithm.*

Resumo. *As distâncias aos equipamentos de diagnóstico PET-CT precisam ser reduzidas para que pacientes tenham um rápido diagnóstico de doenças, e como consequência, maior chance de sobrevivência através da detecção e início de tratamento forma precoce. Logo, este estudo vai abordar a análise de como estão distribuídos os equipamentos PET-CT no território brasileiro, e o que deve ser feito para melhorar o acesso da população a este. A plotagem de dados em mapas para visualização e análise de resultados demonstraram que Brasil possui uma quantidade insuficiente de PET-CTs para atender de forma adequada às demandas da população em relação aos exames específicos de diagnóstico, proporcionados somente por este equipamento. Então, uma proposta de localização de novos equipamentos foi realizada através do solver Location-allocation Problem com a utilização dos métodos Minimize Weighted Impedance (P-Median), Maximize Coverage e Maximize Attendance. O algoritmo em linguagem Python foi executado dentro de um notebook no ambiente do software ArcGIS Pro Desktop, e como resultado, dentro dos parâmetros introduzidos, indicou a necessidade de 512 equipamentos adicionais aos 119 já existentes no país. E, ainda assim, devido a heterogeneidade do território brasileiro, 15.403.911 habitantes ficaram sem acesso a um PET-CT dentro das restrições determinadas no algoritmo.*

1. Introdução

O acesso ao atendimento médico é precário no Brasil, principalmente fora das capitais, onde algumas comunidades ficam a extrema distância dos locais de atendimento e muitas vezes não há outra forma de locomoção a não ser a pé.

E quando se trata de atendimento especializado, as dificuldades de acesso são ainda maiores, como no caso do equipamento de diagnóstico PET-CT (Positron Emission Tomography – Computed Tomography) da Figura 1. Hoje o país conta com 119 equipamentos (CNES, 2020) para toda população, e está longe de atingir o nível populacional dos países de alta renda de 1 equipamento a cada 500 mil habitantes (HRICAK, Hedvig et al., 2021), os dados estão representados na Figura 2. E se considerarmos o fator distância aos equipamentos, a partir de um ideal inicial de que todos habitantes estejam a uma distância máxima de 100 km de um PET-CT, a carência deste equipamento se torna ainda mais evidente.



Figura 1 - Equipamento PET/CT

A melhora ao acesso do equipamento PET-CT torna mais rápido o diagnóstico de câncer e o início do tratamento da doença, de forma a minimizar as chances de óbito.

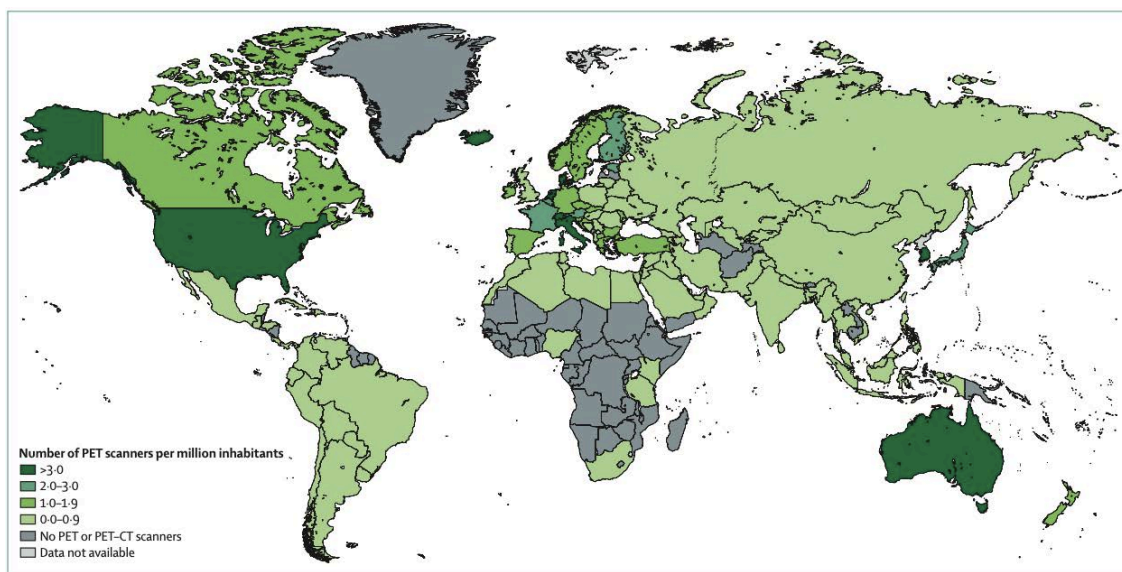


Figura 2 - Equipamentos PET/CT por milhão de habitantes

A partir de um diagnóstico de como estão distribuídos os equipamentos no território brasileiro, este trabalho visa, através de recursos matemáticos e

computacionais, encontrar a quantidade ideal, dentro de restrições de distância e população, de forma a aumentar o acesso dos pacientes aos centros de diagnóstico de câncer que utilizam o equipamento PET-CT. Em específico foram realizadas as seguintes análises e passos :

- Identificação da localização dos equipamentos no Brasil;
- Determinação da população na microrregião (considerados 100 km de raio);
- Determinação da densidade de equipamentos para população da microrregião;
- Definição, dentro de limites de deslocamento e faixas regionais, de quantas pessoas estão desassistidas e, em consequência disso, quantos equipamentos PET-CT precisariam ser instalados;
- Localização dos pontos onde poderiam ser instalados novos equipamentos de acordo com as restrições envolvidas.

Os scanners PET (Positron Emission Tomography) e CT (Computed Tomography) combinados foram introduzidos pela primeira vez em 1998. Desde então, pacientes podem ser examinados por ambos equipamentos ao mesmo tempo sem ter que se deslocar de um para o outro. Esta combinação permite unir a imagem funcional molecular do PET com a imagem de alto contraste anatômico do CT.

Desde quando chegou o primeiro equipamento PET-CT no Brasil em 2001, o número de estabelecimentos com máquinas disponíveis cresceu ao longo dos anos, conforme sequência: 2001 (1), 2005 (14), 2009 (21), 2014 (33), 2018 (52), 2020 (90), mas ainda não atende a toda a população brasileira de forma eficaz (Cabral C., 2021).

A utilização do PET-CT não se limita à oncologia, com a aplicação não oncológica mais predominante na neurologia (para diagnósticos relacionados a demência e epilepsia) e na cardiologia (para aferir a viabilidade miocárdica). Há também uma tendência inicial de indicação para detecção de processos inflamatórios e infecciosos (nucradshare.com, 2021). Conforme Figura 3, um paciente teve como caso primário um carcinoma nasofaríngeo que expandiu a metástase óssea para o fêmur, tal expansão não foi detectada pelo CT, e só pode ser percebida através da combinação PET/CT.

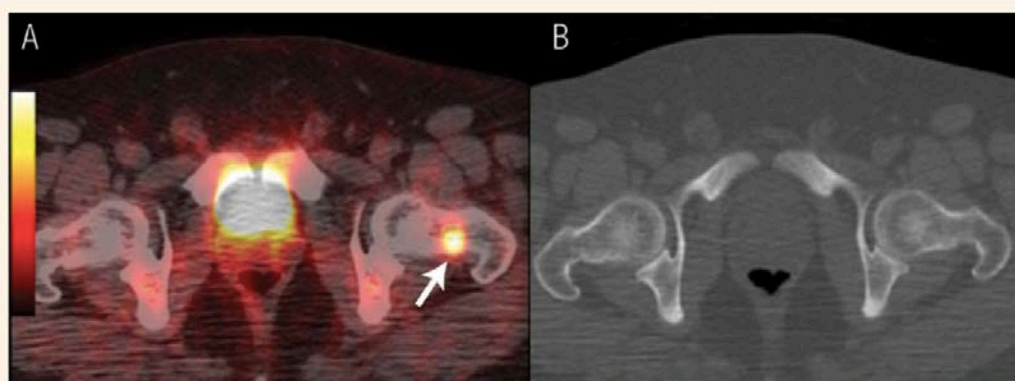


Figure 1 A & B. ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography (PET) / X-ray computed tomography (CT) for a patient diagnosed with nasopharyngeal carcinoma in which the PET/CT imaging upstaged the disease by revealing a bone lesion that was not detected by CT. A: The fused PET/CT image revealed a focal uptake in the neck of the left femur (arrow). B: The CT image, bone window, did not show any bone abnormalities. The technetium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)-methylene diphosphonate (MDP) bone scan of this patient was also negative (images not included).

**Figura 3 - Comparativo entre imagens na detecção de cancer ósseo no fêmur.
A - Imagem PET/CT, B - Imagem somente CT**

Outro fator importante a se considerar em relação à distância é que as unidades com PET-CT precisam estar próximas o suficiente a um centro de distribuição do radiofármaco, o qual deve ser fabricado em um laboratório com diversas demandas específicas para garantir sua qualidade, e após sua produção, deve ser utilizado em até no máximo 110 minutos (radiofármaco tipo 18F-FDG). Portanto, em paralelo à distribuição dos equipamentos, também é necessário considerar a instalação de pontos de fabricação de radiofármaco com proximidade suficiente para que o tempo de vida não seja ultrapassado (Al-Bulushi, Bailey & Mariani, 2013).

Toscas & Nascimento (2020) citam que há dez instituições autorizadas para produção de Radioisótopos (ciclotron):

- CDTN - Unidade de Pesquisa e Produção de Radiofármacos (Belo Horizonte/MG);
- Cyclobras Serviços Laboratoriais (Campinas/SP);
- Cyclopet Radiofarmacos (Curitiba/PR);
- Delfin Fármacos e Derivados (Lauro de Freitas/BA);
- Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP (São Paulo/SP);
- IBF – Indústria Brasileira de Farmoquímicos (São José do Rio Preto/SP);
- R2 Soluções em Radiofarmácia (Porto Alegre/RS);
- UBEA – Hospital São Lucas – Instituto do Cérebro (Porto Alegre/RS);
- Villas Boas Radiofármacos Brasil (Eusébio/CE);
- Villas Boas Radiofármacos Brasil (Brasília/DF)

2. Referencial Teórico

De acordo com Javid, Seyedi & Syam (2016) a teoria de localização de instalações refere-se a modelagem, formulação e métodos de solução de uma classe de problemas que lida com a localização de instalações em determinado espaço.

Ainda conforme Javid, Seyedi & Syam (2016) os principais objetivos dos estudos de localização de instalações de cuidados para saúde são a minimização de custos e a eficácia e eficiência das instalações públicas de cuidados para saúde influenciadas pelas suas localizações dentro das comunidades, sendo este um dos principais problemas políticos discutidos nos sistemas nacionais de saúde.

Eles também fazem alguns apontamentos em relação a determinados tipos de alocação como, por exemplo, para localização de centros de emergência citam que existe uma falta de hierarquia nos modelos de localização das instalações, quando os casos poderiam ser classificadas em diferentes níveis de tratamento dependendo de condições pré-determinadas. Além disso, é necessária maior clareza em relação aos fatores custo e restrições. Em relação à determinação de locais para localização de ambulâncias, comentam que quatro fatores são primordiais: previsão de demanda, tempo de resposta, carga de trabalho e monitoramento de performance.

Na conclusão de sua análise sobre os estudos de localização mostram que a maioria dos trabalhos lida com o tradeoff entre melhores resultados e menores custos.

Uma outra abordagem é apresentada por Kunkel, Van Itallie & Wu (2014), que realizaram um estudo para melhorar a localização de instalações de primeiros socorros, tanto móveis como fixas, no Malawi. Como no estudo anterior, comentam que muitos estudos focam em um único tipo de instalação e não consideram as restrições.

A princípio, Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) encaixaram a análise em um problema de média p , o qual minimiza a média de distâncias balanceadas por peso entre pontos e provedores, média p é apropriado para casos em que a distância é ponto principal. Eles determinaram uma distância limite de 100 km entre os usuários e os locais de atendimento, o que permitiu somente a geração de variáveis para conexões menores que 100 Km.

O software Gurobi foi utilizado por Kunkel, Van Itallie & Wu (2014), este software trabalha com um algoritmo do tipo Branch - and - Cut, o qual busca diminuir o gap entre o melhor objetivo conhecido para uma solução viável e o melhor limite.

Ao descrever um problema de média p , Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) elucidam que o objetivo é encontrar a localização que minimiza a distância média em uma rede de n vértices, e que pode ser formulado e resolvido como um programa de binários inteiros.

No problema de Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) cada nó representa a centróide de uma localidade e seu peso determinado pela demanda associada a cada nó. Especificamente, a demanda a cada localidade corresponde a:

- População em geral e abaixo de 5 anos;
- Setores rurais e urbanos;
- Proximidade a um centro de saúde.

Por fim, a distância entre vértices, distância mais curta entre nós, é representada pela distância mais curta entre os centróides das localidades.

O modelo resultou em uma distância média entre a localidade e o local de atendimento de no mínimo 0.46 Km e no máximo 4.4 Km, uma distância aceitável mesmo se o caminho for feito a pé. Foram direcionadas o máximo de 5 localidades a um local de atendimento. Isto foi calculado sem gap incluso no software Gurobi e com um tempo de 81 segundos de processamento.

Para adicionar os custos ao estudo Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) utilizaram um problema de capacidade de localização de instalações (CFPL - Capacitated Facility Location Problem), neste modelo um potencial grupo de localização de instalações e um grupo de clientes foi dado. O problema visa minimizar o custo total das alocações de instalações e ligadas aos pacientes. O custo total inclui a variável custo de viagem entre instalação e paciente, e o custo fixo de abertura de novas instalações. Cada possível localização tem um limite superior de capacidade de fornecimento. A CFPL, com cada cliente ligado a uma única instalação, pode ser formulada como um programa de binários inteiros com duas variáveis de decisão, onde o paciente j é servido pela instalação i , e y_i , onde a instalação está localizada.

O CFPL associa-se ao modelo de resolução de problemas de distância por média p (PMLP - p -median location problems) para complementar a parte de determinação das alocações junto aos custos.

No CFPL o foco é a variável custo, enquanto na média p , está presente d , focado na distância ideal, cruzada com os dados de demanda.

Quando ligadas instalações móveis a pacientes, foram consideradas as instalações móveis como instalações e os pacientes como clientes.

Em seu trabalho GU, WANG, MCGREGOR & Elizabeth (2010) utilizaram o Google Maps Application Programming Interface (API) para estimar a distância e o tempo médios de viagem até o local de atendimento, este API leva em consideração regras de tráfego.

Uma observação do estudo de Zhang, Berman, Marcotte & Verter (2010) aponta a necessidade de considerar como restrição a capacidade de análise diária do(s) radiologista(s) responsáveis, já que isto pode causar uma demanda excessiva em determinado centro de atendimento. Eles dão como exemplo o ano de 1999 em que um radiologista teria que interpretar pelo menos 960 mamografias e um técnico em radiologia fazer 200 exames em 24 meses para manterem sua acreditação.

O trabalho de Matsumoto, Koike, Kashima & Awai (2015) é mais próximo ao que será utilizado na parte descritiva deste estudo, eles calcularam o número de equipamentos disponíveis no território japonês e examinaram sua distribuição geográfica. Para tal, dividiram os 1289 municípios japoneses (dados de 2015) em 3 tipos: metrópoles ($n = 193$), cidades ($n = 752$) e vilas e vilarejos ($n = 884$). Metrópoles tem população maior que 500 mil habitantes, cidades tem população maior do que 50 mil habitantes e vilas e vilarejos tem uma população de até 50 mil habitantes. O resultado deste estudo mostrou que existe uma substancial disparidade na distribuição geográfica dos equipamentos PET-CT no Japão. E quanto maior a população de determinada região melhor é a disponibilidade de equipamentos.

Em relação ao número de equipamentos recomendados, não existe um consenso, e as taxas por habitante variam de país para país, o Royal College of Radiologists recomenda em 2005 uma taxa de 1 PET-CT para cada 1-1,5 milhão de habitantes. Já Al-Bulushi, Bailey & Mariani (2013), apresentam que alguns países da Europa e os Estados Unidos possuíam 1 equipamento a cada 300-900 mil habitantes, e que a taxa de demanda por equipamentos aumentaria em 20% ao ano a partir de 2014. Outro estudo da CADTH (Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health, 2020) apresenta no mínimo estabilidade, e forte tendência de crescimento no número de unidades PET-CT entre 2025 e 2040, mesmo em cidades como Quebec e Ontario onde hoje o número de equipamentos já possibilita uma taxa entre 300-800 mil habitantes por equipamento.

3. Metodologia

Este trabalho foi dividido em duas partes, a primeira faz uma análise descritiva da situação dos equipamentos PET-CT no Brasil e quantos novos equipamentos seriam necessários e a segunda utiliza o algoritmo solver para determinar novas localidades para instalação de um PET-CT de forma que atenda a maior número de habitantes dentro de determinadas restrições.

Para designar a melhor distribuição para os equipamentos de diagnóstico PET-CT foram desenvolvidos programas na linguagem Python, configurados em ambientes que utiliza as seguintes bibliotecas:

- Pycep (biblioteca dos correios do Brasil): determina coordenadas no mapa através de CEP de estabelecimentos;
- Pandas: manipula dados em tabelas;
- Geopandas: manipula dados em formato de códigos de região e coordenadas;
- Folium: gera e configura objetos em mapas.
- GIS *Location - Allocation Solver*: determina a localização de novas facilidades através da execução de algoritmos que resolvem problemas de localização.

As bases de dados para inserção no algoritmo para análise descritiva foram os Códigos de Endereço Postais (CEPs) das atuais localidades onde existe o aparelho PET-CT de diagnóstico. Estes CEPs são obtidos através do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES, Dezembro / 2020), pertencente a seção de cadastro de equipamentos do DATASUS. No cadastro CNES também estão disponíveis as datas de cadastro dos equipamentos, dado que foi utilizado para obter a evolução do número de PET-CTs no país ao longo dos anos.

Para determinação da densidade populacional foram criados grupos, a partir de uma cidade de referência que possui o PET-CT, com todas as cidades dentro de um raio de 100 km. Com os grupos formados foi calculada a população total destes grupos. E por fim, foi dividida a população total dos grupos pelo número de equipamentos PET-CTs encontrados dentro de cada grupo. Conforme Equação 1:

$$\text{População do Grupo de cidades em raio de 100 km de um equipamento PET-CT} = \text{Densidade populacional por equipamento} \times \text{Número de unidades de PET-CT dentro do território do grupo} \quad (1)$$

Com a densidade populacional calculada foi possível mostrar quantos equipamentos são necessários para se atingir uma meta de densidade populacional de PET-CTs (500 mil habitantes por PET-CT) em cada uma dessas regiões que já possuem PET-CT em um raio de 100 km de distância.

Para os dados populacionais dentro das microrregiões onde estão localizados os PET-CT foram utilizadas bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, Cidades-Panorama 2021). Os dados do Instituto de Pesquisa e Estatística (IPEADATA, Distância à capital estadual para os municípios da divisão político administrativa vigente em 2000) e site Timenow (Fevereiro / 2021) contribuíram para identificar as cidades abrangidas dentro de um raio de 100 km de um equipamento PET-CT.

A determinação da quantidade de equipamentos para as regiões que não foram contempladas nos grupos com equipamentos em um raio de 100 km foi feita conforme a seguinte sequência de operações:

- Determinação da população não assistida por um equipamento PET-CT através da subtração da população contemplada nos grupos da população total do Brasil. Conforme Equação 2:

$$\text{População Total do Brasil em 2021} - \text{População contemplada nos Grupos} = \text{Pop. não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km} \quad (2)$$

- Determinação do território não assistido por um equipamento PET-CT em um raio de 100 km. Para determinar este valor foi subtraído o território contemplado nos grupos do território tal do Brasil. Conforme Equação 3:

Território total do Brasil em 2021 - Território contemplada nos Grupos = Território não assistido por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km (3)

- Logo, foi determinada a estimativa de PET-CTs adicionais devido ao fator população, através da divisão do resultado da Formula 2 (População não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km) dividido pela meta de 500 mil habitantes por equipamento. Conforme Equação 4:

População não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km = estimativa PET-CTs adicionais por população
500 mil habitantes (4)

- E por fim, foi determinada a estimativa de PET-CTs adicionais devido ao fator distância, através da divisão do resultado da Formula 3 (Território não assistido por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km) dividido pela area da circunferência com raio de 100 km. Conforme Equação 5:

Território não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km = estimativa PET-CTs adicionais por Território
Area do Raio de 100 Km (5)

A proposta de localização de novos equipamentos foi realizada através do solver *Location-allocation Problem* com a utilização dos métodos *Minimize Weighted Impedance (P-Median)*, *Maximize Coverage*, *Maximize Attendance*. O algoritmo em linguagem Python foi executado dentro de um *notebook* no ambiente do *software ArcGIS Pro Desktop*.

Conforme a documentação ESRI - ArcGIS (2012):

“O solver *Location-allocation* resolve o problema de localização de instalações. Ou seja, dadas N instalações candidatas e M pontos de demanda com um peso, escolha um subconjunto das instalações, P, de modo que a soma das distâncias ponderadas de cada M até o P mais próximo seja minimizada. Este é um problema combinatório do tipo N Escolha P, e possui um grande range de soluções. Soluções ótimas não podem ser obtidas examinando todas as combinações. Heurísticas são usadas para resolver os problemas de alocação de localização.

O solver *Location-allocation* começa gerando uma matriz de origem-destino de custos de caminho mais curto entre todas as instalações e locais de pontos de demanda ao longo da rede. Em seguida, ele constrói uma versão editada da matriz de custos por um processo conhecido como edição de Hillsman. Esse processo de edição permite que a mesma heurística geral do solver resolva vários tipos de problemas diferentes. O solver de alocação de localização gera então um conjunto de soluções semi-aleatórias e aplica uma heurística de substituição de vértices (Teitz e Bart) para refinar essas soluções criando um grupo de boas soluções. Uma meta-heurística então combina esse grupo de boas soluções para criar soluções melhores. Quando nenhuma melhoria adicional é possível, a meta-heurística retorna a melhor solução encontrada. A combinação de uma matriz editada, soluções iniciais semi-aleatórias, uma heurística de substituição de vértices e uma meta-heurística de refinamento produz rapidamente resultados quase ótimos”

Ainda conforme documentação ArcGIS Pro, segue descrição dos métodos de *solver* utilizados:

3.1 Minimize Impedance (P-Median)

Instalações estão localizadas de forma que a soma de todos os custos ponderados entre os pontos de demanda e as instalações da solução seja minimizada. As setas na Figura 4 destacam o fato de que a alocação é baseada na distância entre todos os pontos de demanda.

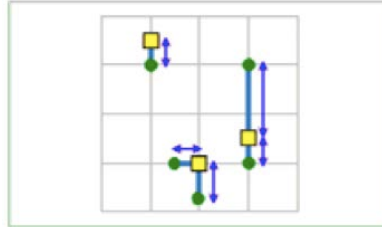


Figura 4 - Minimize Impedance (P-Median)

Este tipo de problema é tradicionalmente usado para localizar armazéns, pois pode reduzir os custos gerais de transporte de entrega de mercadorias nos pontos de venda. Minimize Impedance reduz a distância que o público precisa percorrer para chegar às instalações escolhidas, o problema de Minimize Impedance sem um cut off de impedância é normalmente considerado mais justo do que outros tipos de problemas para localizar algumas instalações do setor público, como bibliotecas, aeroportos regionais, museus, departamentos de veículos automotores e clínicas de saúde.

A lista a seguir descreve como o tipo de problema Minimize Impedance (P-Median) lida com a demanda:

- Se um *cut off* de impedância for definido, qualquer demanda fora deste *cut off* de impedância não será alocada.
- Um ponto de demanda dentro do *cut off* de impedância de uma instalação tem todo o seu peso de demanda alocado para essa instalação.
- Um ponto de demanda dentro do *cut off* de impedância de duas ou mais instalações tem todo o seu peso de demanda alocado apenas para a instalação mais próxima.

As instalações estão localizadas de modo que o maior número possível de pontos de demanda seja alocado às instalações de solução dentro do corte de impedância.

Este método segue as seguintes equações (ALGHARIB, 2011):

$$\text{Min } \left\{ Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} x_{ij} \right\} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \theta, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n$$

Inputs:

$x_{ij} = 1$ se demanda i é alocada para uma facilidade em j , $x_{ij} = 0$ se não,

i = Índice dos nós de demanda,

m = Número total de pontos de demanda no espaço de interesse,

j = Índice das potenciais facilidades,

n = Número total das potenciais facilidades,

a_i = Demanda no nó i

d_{ij} = Distancia entre nó de demanda i e potencial facilidade j

P = Número de facilidades a serem alocadas,

Equação (6) minimiza a distância peso-demanda total entre população e facilidades. Equação (7) garante que toda demanda é designada para um local com facilidade. Equação (8) limita o número de facilidades a serem alocadas.

3.2 Maximize Coverage

Maximize Coverage é frequentemente usado para localizar quartéis de bombeiros, delegacias de polícia, porque os serviços de emergência são muitas vezes obrigados a atender a todas as demandas pontos dentro de um tempo de resposta especificado.

É importante para todas organizações, e crítico para emergências serviços, ter dados precisos para que os resultados da análise modelem corretamente os resultados do mundo real.

Minimizar impedância escolhe instalações de modo que a soma das impedâncias ponderadas (demanda alocada a uma instalação multiplicada pela impedância da instalação) seja minimizada.

Maximize Coverage escolhe instalações de modo que a maior demanda possível seja coberta pelo cut off de impedância das instalações. Na figura 5, o solver foi orientado a escolher três instalações.

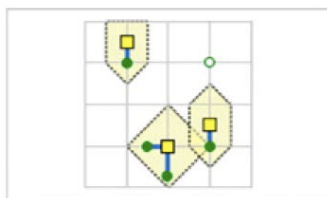


Figura 5 - Maximize Coverage

A lista a seguir descreve como o problema Maximize Coverage lida com a demanda:

- Qualquer ponto de demanda fora dos *cut offs* de impedância de todas as instalações não é alocado.
- Um ponto de demanda dentro do corte de impedância de uma instalação tem toda a sua demanda peso atribuído a essa instalação.

- Um ponto de demanda dentro do corte de impedância de duas ou mais instalações tem todas as suas peso da demanda alocado apenas para a instalação mais próxima.

Este método segue as seguintes equações (ALGHARIB, 2011):

$$\text{Maximize } \left\{ z = \sum_{i \in I} a_i y_i \right\} \quad (9)$$

Sujeito a:

$$y_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (11)$$

$$x_j, y_i \in \theta, \quad \forall j \in J, i \in I$$

I = Conjunto de localidades de demanda,

J = Conjunto de localidades de facilidades candidatas,

P = Número de facilidades a serem alocadas,

x_j =1 se facilidade locada em j , 0 se não,

y_i =1 se nó de demanda i está coberta, 0 se não,

S = Tempo ou distância padrão de cobertura,

N_i = O conjunto de todas localidades candidatas nas quais podem cobrir a demanda no nó i ,

a_i = A população ou número de facilidades no nó de demanda i .

Equação (9) maximiza o número de demandas cobertas. Equação (10) garante que a demanda no nó i é coberta sempre que pelo menos uma facilidade estiver localizada dentro do tempo padrão. Equação (11) limita o número de facilidades a serem alocadas.

3.3 Maximize Attendance (MCLP - Maximal Covering Location Problem in ArcGIS)

Maximize Attendance Problem foi desenvolvido por Holmes em 1972 (ALGHARIB, 2011). As instalações são escolhidas de modo que o maior peso de demanda possível seja alocado às instalações, assumindo que o peso da demanda diminui em relação à distância entre a instalação e o ponto de demanda.

Lojas especializadas que têm pouca ou nenhuma concorrência se beneficiam desse problema, mas também pode ser benéfico para varejistas em geral e restaurantes que não tem os dados dos concorrentes necessário para realizar participação de mercado. Alguns negócios que podem se beneficiar desse tipo de problema incluem cafeterias, academias de ginástica, consultórios odontológicos e médicos, pistas de boliche e lojas de eletrônicos. As paradas de ônibus de transporte público geralmente são escolhidas com a ajuda do Maximize Attendance. Pressupõe que quanto mais longe as pessoas tiverem que viajar para chegar às suas instalações, menor será a

probabilidade de usá-las. Isso se reflete em como a quantidade de demanda alocada às instalações diminui com a distância.

Os pontos de demanda, representados na Figura 6, mostram quanto de sua demanda total é capturado pela instalação.

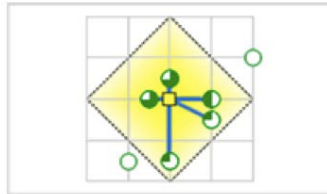


Figura 6 - Maximize Attendance

A lista a seguir descreve como o problema Maximize Attendance lida com a demanda:

- A demanda fora do corte de impedância de todas as instalações não é alocada a nenhuma instalação.
- Quando um ponto de demanda está dentro do *cut off* de impedância de uma instalação, seu peso de demanda é parcialmente alocado de acordo com o corte e a transformação de impedância. Os pontos de demanda na Figura 10 têm gráficos de pizza para representar a proporção de seu peso de demanda total que foi capturado pela instalação escolhida.
- O peso de um ponto de demanda coberto pelo *cut off* de impedância de mais de uma instalação é alocado apenas para a instalação mais próxima.

A Figura 7 mostra que o MCL é o método mais utilizado na localização de facilidades de saúde.

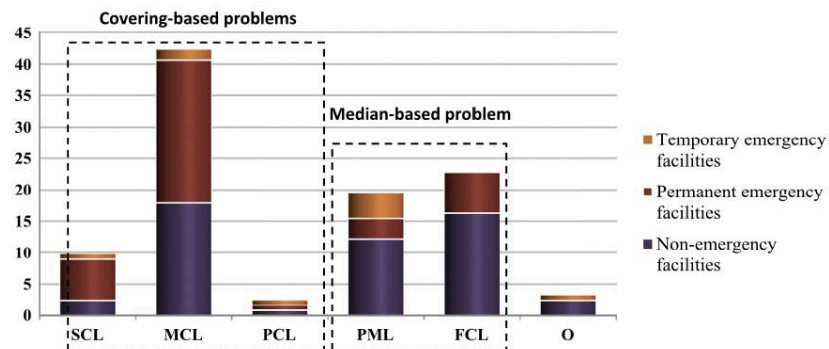


Figura 7 - Frequência de utilização de métodos de localização de facilidades de saúde

O Objetivo do MCLP é encontrar a demanda total máxima que pode ser coberta pelos equipamentos alocados com uma distância máxima de cobertura especificada. Diferenciando pontos com alta e baixa demanda (HMADI-JAVID, SEYEDI, SYAM & Siddhartha, 2017):

Conjuntos:

- I Conjunto de Pontos de Demanda.

- J Conjunto de possíveis localizações .
- N_i Conjunto de todas possíveis localizações que possam cobrir os pontos de demanda $i \in I$, $N_i = \{j \in J : d_{ij} \leq D_i\}$.

Parâmetros:

- d_{ij} Distância (ou tempo) de deslocamento do ponto de demanda $i \in I$ a possível localização $j \in J$.
- w_i Demanda no ponto $i \in I$.
- D_i Distância ou tempo de deslocamento máxima aceitável ao ponto de demanda $i \in I$.
- p número de possíveis localizações e serem estabelecidas.

Variáveis de decisão:

x_j , 1, se a facilidade é estabelecida em um local possível $j \in J$; 0 se não.

z_i , 1, se o ponto de demanda $i \in I$ esta coberto; 0 ao contrário disso.

Equações:

$$\max \sum_{i \in I} w_i z_i \quad (12)$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (13)$$

$$z_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j, \quad i \in I \quad (14)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I \quad (15)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j \in J. \quad (12)$$

O Objetivo de (12) é maximizar a demanda total coberta. Restrição (13) define que p equipamentos devem ser localizados. Restrições (14) requerem que os pontos de

demanda serão cobertos somente por equipamentos prontos para utilização. Restrições (14) e (15) são restrições de integralidade.

A base de dados para o algoritmo de localização de facilidades no Brasil foi uma extração dos dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em para um arquivo .csv via código SQL phpMyAdmin disponível no Git Hub /danmadeira/cidades-brasileiras.

O arquivo contém as coordenadas das 5570 cidades brasileiras e seus respectivos nomes, população em 2019, densidade, area, e sigla do estado a qual pertencem, conforme exemplo apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Amostra dados das 5570 cidades brasileiras

id	cidade	estado	sigla	codigo	gentilico	latitude	longitude	populacao	area	densidade
1	Acrelândia	Acre	AC	1200013	acrelandense	-10.07639180	-67.05869770	15256	1807.95	8.4
2	Brasiléia	Acre	AC	1200104	brasileense	-10.70599300	-69.19239160	26278	3916.50	6.7
3	Bujari	Acre	AC	1200138	bujariense	-9.81566380	-67.95557890	10266	3034.87	3.4
4	Capixaba	Acre	AC	1200179	capixabense	-10.57211200	-67.67512200	11733	1701.97	6.9

A partir dos dados da Tabela 1 foi possível configurar o algoritmo *solver location-allocation*, com os dados exigidos de acordo com as equações de cada modelo. Logo, foram contabilizadas as cidades que demandam por um PET-CT (5570), as que já possuem (37) e as que seriam candidatas a receber (645).

Como candidatas a receber um novo equipamento foram filtrados na base de dados da Tabela 1 as cidades com mais que 50.000 habitantes, visto que a cidade precisa ter um porte mínimo para receber o equipamento e ao mesmo tempo atender ao maior número de cidades próximas considerada a heterogeneidade do Brasil.

O algoritmo foi executado por regiões devido a uma limitação de alocação do *solver* de alocar somente 100 localidades por vez. Desta forma, o estado de São Paulo foi uma das regiões escolhidas, como possui uma população de 45.919.019, para se atingir a restrição de 500.000 habitantes por equipamento, seriam necessários cerca de 92 equipamentos. Assim, a Equação 16 foi respeitada para designar o número de equipamentos a serem alocados:

$$\text{Número Cidades Escolhidas p/ receber PETCT} = \frac{\text{Número de habitantes da Região}}{500.000} \quad (16)$$

As regiões e seus respectivos Número Cidades Escolhidas p/ receber PET-CT conforme Equação 16 foram: São Paulo (92), Sudeste sem São Paulo (85), Nordeste (100 - capacidade máxima do *solver*), Sul (60), Norte e Centro Oeste (70).

Por fim foram comparados os resultados dos diferentes métodos: *Minimize Weighted Impedance (P-Median)*, *Maximize Coverage*, *Maximize Attendance*. Para cada método, o *solver* também foi executado com os *cut offs* de 100 quilômetros de distância de viagem (Travel Distance), que escolhe o menor percurso de distância conforme as estradas disponíveis (Documentação ArcGIS Pro), e 120 minutos de tempo de viagem (Travel Time), que escolhe o menor tempo de viagem conforme as estradas disponíveis (Documentação ArcGIS Pro). Além disso, o dado população foi configurado para ser analisado como um fator de peso na decisão de locação do algoritmo.

O algoritmo construído gera arquivos .xmls com os resultados das cidades alocadas, e daquelas cidades não alocadas, que são cidades que demandam por um PET-CT, porém, não foram alocadas em nenhuma cidade candidata a receber um equipamento dentro dos *cut offs* estabelecidos.

O algoritmo e seus resultados estão disponíveis no GitHub em:

<<<https://github.com/fecabra/Distribuicao-PET-CT-TCC>>>

A motivação do comparativo entre métodos foi encontrar aquele que determina menor população em cidades não alocadas, ou seja, aquele que tem menor número de pessoas não atendidas dentro das restrições *cut offs*, pesadas as populações das cidades.

4. Resultados e Discussão

Nesta seção serão apresentados os resultados, de forma a atender dos objetivos detalhados no capítulo Introdução, e as discussões em cima destes resultados.

4.1 Análise descritiva: equipamentos disponíveis dadas restrições de distância e população

Seriam necessários cerca de 271 grupos com equipamento PET-CT, sem interseção entre estes, para cobrir todo o território nacional de forma que a cada raio de 100 km exista um equipamento PET-CT. Já eliminadas as interseções, hoje temos somente 34 destes grupos, conforme apontado no mapa da Figura 8, ou seja, somente um oitavo do território nacional esta dentro da área de cobertura (CIABATTARI & DE MENEZES, 2021).

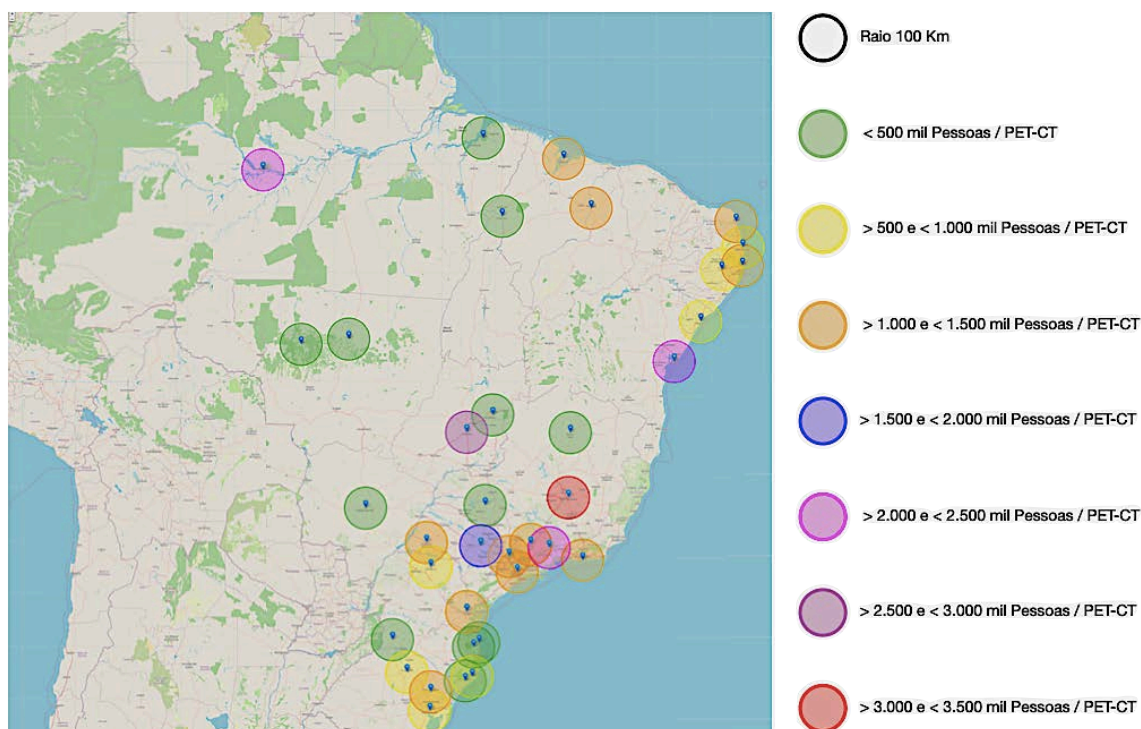


Figura 8 - Mapa concentração de habitantes por Equipamento PET-CT no Brasil em um raio de 100 km

110 milhões de pessoas estão em áreas fora das microrregiões apontadas na Figura 8, e tem que viajar por mais de 100 km para ter acesso a um PET-CT (CIABATTARI & DE MENEZES, 2021).

E mesmo nas regiões mais abundantes de equipamentos disponíveis como São Paulo, que tem 24 PET-CTs, a população está tão concentrada que chega a uma razão de mais de um milhão de habitantes por equipamento. O pior caso dos grupos com PET-CTs disponíveis está em Belo Horizonte com mais de 3 milhões de habitantes por equipamento (CIABATTARI & DE MENEZES, 2021).

Há a necessidade adicional total de cerca de 385 equipamentos (148 adicionais as localidades que já possuem PET-CT, mais 237 referente as localidades que ainda não possuem PET-CT em um raio de 100 km) (CIABATTARI & DE MENEZES, 2021).

4.2 - Resultados do algoritmo *solver location-allocation problem: através dos métodos Minimize Weighted Impedance (P-Median), Maximize Coverage, Maximize Attendance. E cut offs: 100 quilômetros de distância de viagem (Travel Distance), e 120 minutos de tempo de viagem (Travel Time).*

As tabelas 2 e 3, apresentam os parâmetros em relação ao número de cidades e resultados do *solver location-allocation* para os diferentes métodos por região e totais.

Tabela 2 - Parâmetros do número de cidades candidatas a receber, demandantes por e com equipamentos já existentes, para cada região considerada no algoritmo

Região	Cidades Candidatas	Cidades Demandantes	Cidades Escolhidas	Cidades com Equipamentos Existentes
Estado de São Paulo	139	645	92	6
Sudeste sem São Paulo	122	1022	85	5
Nordeste	184	1794	100	9
Sul	112	1192	60	10
Norte & Centro Oeste	519	917	70	7
TOTAIS	1076	5570	407	37

Tabela 3 - Resultados dos diferentes métodos e *cut offs*

Habitantes fora do range de atendimento [tempo de Processamento (s)]						
Método	Estado de São Paulo	Sudeste sem São Paulo	Nordeste	Sul	Norte & Centro Oeste	TOTAIS
Maximize Coverage (100 km)	597.899 [22]	2.989.351 [21,1]	4.432.150 [28,9]	1.558.231 [26,6]	7.600.206 [13,9]	17.177.837 [112,5]
Maximize Coverage (120 min)	206.854 [27,6]	2.782.378 [22,7]	4.093.152 [27,3]	1.158.365 [31,8]	7.163.162 [17,4]	15.403.911 [126,8]
Minimize Weighted Impedance (P-Median) (100 km)	597.899 [21,3]	2.989.351 [23,8]	4.432.150 [30,0]	1.558.231 [28,5]	7.600.206 [17,0]	17.177.837 [120,6]
Minimize Weighted Impedance (P-Median) (120 min)	206.854 [26,8]	2.782.378 [25,8]	4.093.152 [34,4]	1.158.365 [31,2]	7.163.162 [18,4]	15.403.911 [136,6]
Maximize Attendance (100 km)	597.899 [23,0]	2.943.646 [25,5]	5.393.473 [29,6]	1.937.951 [29,3]	13.640.907 [20,8]	24.513.876 [128,2]
Maximize Attendance (100 km)	206.854 [31,6]	2.782.378 [25,8]	4.768.491 [28,5]	1.486.423 [34,8]	8.002.794 [19,3]	17.246.940 [140,0]

Através da análise dos dados nota-se que os métodos *Maximize Coverage* e *Minimize Weighted Impedance (P-Median)* apresentam os mesmos resultados e com o *cut off* de 120 minutos de tempo de viagem apresentam os melhores resultados, com menor número de habitantes (15.403.911) fora do *range* de alcance de um PET-CT.

Em termos de performance *Maximize Coverage* teve processamento 10 segundos mais rápido que o *Minimize Weighted Impedance (P-Median)*, porém o solver foi executado em computadores com diferentes configurações. *Minimize Weighted Impedance (P-Median)* e *Maximize Attendance* foram processados em um Intel Core i7 de quarta geração, enquanto *Maximize Coverage* foi processado em um AMD Ryzen 5 3600x, com placa gráfica RTX 2060.

Os melhores resultados em 120 minutos indicam que com este tempo de viagem em todas regiões do país, em média, se percorre uma distância de viagem maior que 100 quilômetros.

O método *Maximize Attendance (MCLP)* apesar de ser o mais utilizado para alocações relacionadas a área de saúde apresentou os piores resultados.

A análise detalhada dos resultados do método *Maximize Coverage* com *cut off* 120 min que teve os melhores resultados, apresentada na Tabela A1 (veja apêndice),

demonstra as cidades alocadas, e a quantidade de equipamentos adicionais que seria necessários, é notável a preferência dada pelo algoritmo a alocação de novos equipamentos em cidades que ainda não possuem um equipamento.

A Tabela A1 demonstra que indica um total de 512 equipamentos adicionais, um número bem maior que os 358 sugeridos na análise descritiva. A diferença se deve a análise descritiva considerar um raio de 100 Km em linha reta, enquanto o *solver* considera o tempo real de 120 minutos de viagem nas estradas brasileiras.

Outro fato observado é que em 60% dos casos as cidades que receberam um equipamento contemplam um grupo menor que 450 mil habitantes, este resultado é devido ao nível de isolamento das cidades no Brasil. Devido ao custo e a infraestrutura demandada para instalação de um PET-CT talvez seja inviável instalar um equipamento, por exemplo, em Porto Nacional no estado do Tocantins para atender um grupo de 78701 habitantes.

Para reduzir custos e o número de equipamentos, consideradas as dimensões do Brasil, o tempo máximo de viagem máximo para chegar a um PET-CT teria que ser maior que 120 minutos.

A Figura 9 dá a ideia de como ficaram distribuídos os equipamentos no Brasil, os pontos de demanda não direcionados a nenhum equipamento representam as cidades que ficaram fora do *cut off* de 120 minutos imputado no algoritmo, tais cidades correspondem a população de 15.403.911 habitantes não alocados.

- Pontos de demanda alocados; ● Pontos de demanda não-alocados
- Equipamentos alocados
- Reta que direciona um ponto de demanda (cidade demandante) a um equipamento (cidade alocada)

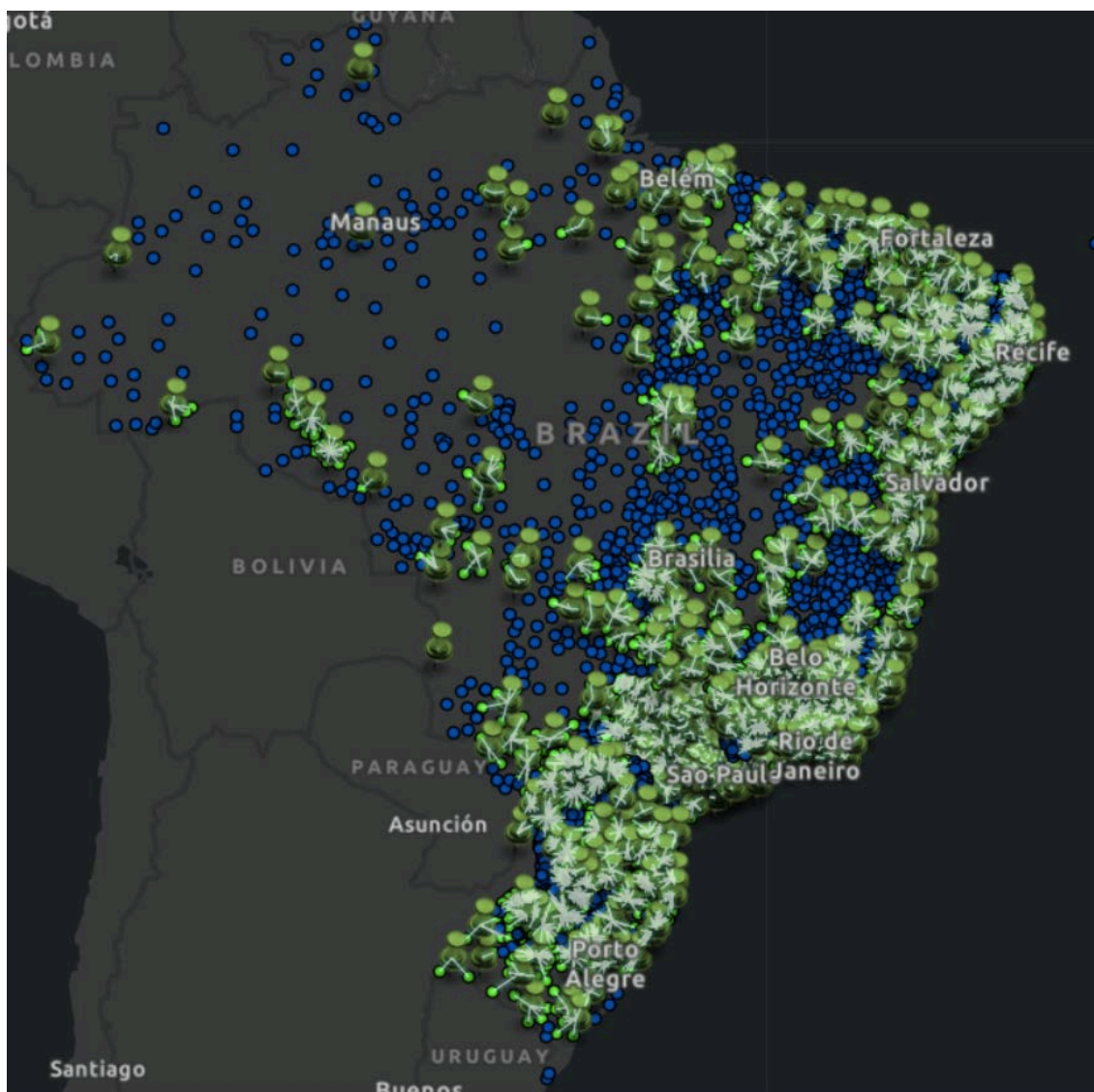


Figura 9 - PET-CT alocados conforme tabela 7 e cidades não alocadas conforme cut offs do algoritmo (arquivo Map GIS para visualização de detalhes disponível em: <https://github.com/fecabra/Distribuicao-PET-CT-TCC>)

5. Considerações Finais

Foi possível, através deste estudo, demonstrar que o Brasil possui uma quantidade insuficiente de PET-CTs para atender de forma adequada às demandas da população em relação aos exames específicos de diagnóstico, proporcionados somente por este equipamento. Estão disponíveis 119 equipamentos para cerca de 212 milhões de habitantes, ou seja, uma média de 1,8 milhões de pessoas para cada equipamento. Porém as análises demonstram ainda mais, se considerarmos a distância de 100 km até um equipamento PET-CT, a qual, dependendo das condições das estradas locais, pode levar horas de viagem de automóvel, somente cerca de 102 milhões de habitantes estão assistidos. O que demonstra que mais da metade da população brasileira precisa viajar, no mínimo, 101 km para chegar a um PET-CT para realização do seu exame. E com certeza, pelo mapa apresentado na Figura 8, essa distância pode chegar a mais de 1500 km, principalmente na região Norte, que conta com apenas 3 equipamentos. Mesmo

cidades como São Paulo, que tem a maior concentração de PET-CTs do país em um raio de 100 km (acesso a 1 equipamento em Campinas), com 24 equipamentos, ainda precisaria de 30 equipamentos adicionais para alcançar uma taxa de 1 equipto/500 mil habitantes.

É preciso também considerar que 52 dos 119 equipamentos estão disponíveis somente na rede privada de saúde, o que limita ainda mais o acesso da população.

Os totais demonstram da análise descritiva demonstraram que o país precisaria aumentar em um pouco mais de 4 vezes a quantidade de equipamentos PET-CT, dos 119 atuais para 504, num total de 385 equipamentos adicionais (148 nas localidades que já possuem PET-CT, mais 237 referente as localidades que ainda não possuem PET-CT em um raio de 100 km) precisam ser adquiridos. Em paralelo, um aumento na rede de fabricação de contrastes se faz também necessário, de acordo com as informações sobre a importância do radiofármaco e seu tempo de vida.

Porém, os resultados do algoritmo *solver location-allocation*, ao realizar o processamento com dados reais das estradas brasileiras, resultam em um número de 512 equipamentos adicionais, para atender a taxa de 1 equipto/500 mil habitantes em todos os resultados alocados pelo *solver*; o que corresponde a 127 equipamentos a mais que os determinados na análise descritiva deste trabalho. Isto também demonstra o nível de isolamento populacional dentro da dimensão do território brasileiro.

É importante ressaltar que mesmo com 512 equipamentos adicionais, 15.403.911 habitantes não foram alocados a nenhum PET-CT.

Para serem reduzidos os custos e o número de equipamentos, teria que alocar equipamentos com um tempo máximo de viagem para seu alcance maior que 120 minutos. O que parece fazer sentido devido as dimensões, condições de estradas e isolamento populacional do Brasil. Uma vez também que, 60% dos novos PET-CTs alocados pelo algoritmo agruparam cidades a taxas menores ou iguais a 1 equipto/450 mil habitantes, com casos de até 1 equipto/50 mil habitantes.

Como sugestão de trabalhos futuros poderiam ser realizadas análises demanda pelos exames com PET-CT no Brasil, e a partir disso, determinar uma distância máxima ideal de viagem até um equipamento no país. E por fim, executar o algoritmo deste trabalho com tal distância para verificar se seriam necessários mais ou menos PET-CTs que a necessidade de 512 adicionais aqui encontrada, e as cidades as quais seriam alocados.

6. Referências

- AHMADI-JAVID, Amir; SEYEDI, Pardis; SYAM, Siddhartha S. A survey of healthcare facility location. **Computers & Operations Research**, v. 79, p. 223-263, 2017.
- KUNKEL, Amber G.; VAN ITALLIE, Elizabeth S.; WU, Duo. Optimal distribution of medical backpacks and health surveillance assistants in Malawi. **Health care management science**, v. 17, n. 3, p. 230-244, 2014.
- GU, Wei; WANG, Xin; MCGREGOR, S. Elizabeth. Optimization of preventive health care facility locations. **International journal of health geographics**, v. 9, n. 1, p. 1-16, 2010.

ZHANG, Yue et al. A bilevel model for preventive healthcare facility network design with congestion. **IIE Transactions**, v. 42, n. 12, p. 865-880, 2010.

PAEZ, Diana et al. Current status of nuclear medicine practice in the Middle East. In: **Seminars in nuclear medicine**. WB Saunders, 2016. p. 265-272.

MATSUMOTO, Masatoshi et al. Geographic distribution of CT, MRI and PET devices in Japan: a longitudinal analysis based on national census data. **PLoS One**, v. 10, n. 5, p. e0126036, 2015

Imagens Equipamento PET/CT. Disponível em: << <https://www.neusoftmedicallatam.com/portfolio-items/neusight-pet-ct/>>>. Acesso em: 18/08/21.

VERDUZCO-AGUIRRE, Haydeé C.; LOPES, Gilberto; SOTO-PEREZ-DE-CELIS, Enrique. Implementation of diagnostic resources for cancer in developing countries: a focus on PET/CT. **ecancermedicalseience**, v. 13, 2019

GALLACH, Miguel et al. Addressing Global Inequities in Positron Emission Tomography-Computed Tomography (PET-CT) for Cancer Management: A Statistical Model to Guide Strategic Planning. **Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research**, v. 26, p. e926544-1, 2020.

PET/CT Imaging Guidelines. Disponível em: <<<https://nucradshare.com/PETCT.html>>>. Acesso em: 17/08/21.

AL-BULUSHI, Naima K.; BAILEY, Dale; MARIANI, Giuliano. The medical case for a positron emission tomography and X-ray computed tomography combined service in Oman. **Sultan Qaboos University Medical Journal**, v. 13, n. 4, p. 491, 2013.

CHAO, Yi-Sheng et al. Canadian Medical Imaging Inventory, 2019–2020. **Canadian Journal of Health Technologies**, v. 1, n. 1, 2021.

TOSCAS, Fotini Santos; NASCIMENTO, Marco Aurélio Carvalho. Challenges in the incorporation of high complexity technologies: PET-CT study in the perspective of radiotherapy expansion plan. **Revista Medica de Minas Gerais (Online)**, v. 30, 2020.

CHURCH, Richard; REVELLE, Charles. The maximal covering location problem. In: **Papers of the regional science association**. Springer-Verlag, 1974. p. 101-118.

DOS SANTOS, Rodrigo Prado; MÜLLER, Carlos. Problema de localização de máxima cobertura aplicado à localização de esquadrões de aeronaves de interceptação na região Amazônica. 2005.

CHEN, Huanfa; MURRAY, Alan T.; JIANG, Rui. Open-source approaches for location cover models: capabilities and efficiency. **Journal of Geographical Systems**, p. 1-20, 2021.

Extração dos dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<<https://github.com/danmadeira/cidades-brasileirasdanmadeira/cidades-brasileiras>>> Acesso em: 20/01/22.

Documentação ArcGIS Pro Desktop. Disponível em:<< <https://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/004700000050000000>>>Acesso em: 15/02/22.

ALGHARIB, Saad M. **Distance and coverage: an assessment of location-allocation models for fire stations in Kuwait City, Kuwait**. 2011. Tese de Doutorado. Kent State University.

HRICAK, Hedvig et al. Medical imaging and nuclear medicine: a Lancet Oncology Commission. **The Lancet Oncology**, v. 22, n. 4, p. e136-e172, 2021.

CIABATTARI, F. M. C.; DE MENEZES, M., Distribuição geográfica e situação de atendimento dos equipamentos PET-CT no Brasil, considerados os fatores distância e população: estudo e proposta a partir dos dados do DATASUS. **Jornada de Iniciação Científica e Mostra de Iniciação Tecnológica - ISSN 2526-4699, Brasil, dez. 2021**. Disponível em: <<http://eventoscopq.mackenzie.br/index.php/jornada/XVII/paper/view/2767>>. Acesso em: Janeiro 2022.

Tabela A1 - Total_Output_Facilities_Maximize_Coverage_120_Min

cidade	Estado	Sigla	Populacao Alocada	Equipamentos Existentes	Equipamentos Adicionais
Cruzeiro do Sul	Acre	AC	123984	0	1
Rio Branco	Acre	AC	505863	0	2
Arapiraca	Alagoas	AL	765763	0	1
Delmiro Gouveia	Alagoas	AL	414123	0	1
Palmeira dos Índios	Alagoas	AL	333577	0	1
Penedo	Alagoas	AL	359025	0	1
Rio Largo	Alagoas	AL	1619702	0	1
Manacapuru	Amazonas	AM	2328436	1 (Manaus)	4
Tabatinga	Amazonas	AM	128749	0	1
Laranjal do Jari	Amapá	AP	50410	0	1
Macapá	Amapá	AP	554710	0	2
Santana	Amapá	AP	121364	0	1
Alagoinhas	Bahia	BA	451734	0	1
Barra	Bahia	BA	132468	0	1
Barreiras	Bahia	BA	322041	0	1
Bom Jesus da Lapa	Bahia	BA	188898	0	1
Brumado	Bahia	BA	202510	0	1
Caetité	Bahia	BA	169018	0	1
Campo Formoso	Bahia	BA	71206	0	1
Casa Nova	Bahia	BA	112977	0	1
Conceição do Coité	Bahia	BA	373283	0	1
Euclides da Cunha	Bahia	BA	196657	0	1
Eunápolis	Bahia	BA	195757	0	1
Feira de Santana	Bahia	BA	1083231	0	3
Guanambi	Bahia	BA	194902	0	1
Ilhéus	Bahia	BA	211193	0	1
Ipirá	Bahia	BA	187222	0	1
Irecê	Bahia	BA	352125	0	1
Itaberaba	Bahia	BA	198764	0	1
Itabuna	Bahia	BA	486521	0	1
Itapetinga	Bahia	BA	254049	0	1
Jacobina	Bahia	BA	237299	0	1
Jaguaquara	Bahia	BA	200793	0	1
Jequié	Bahia	BA	302334	0	1
Paulo Afonso	Bahia	BA	297366	0	1
Porto Seguro	Bahia	BA	199792	0	1

Ribeira do Pombal	Bahia	BA	464770	0	1
Santo Antônio de Jesus	Bahia	BA	540825	0	2
Senhor do Bonfim	Bahia	BA	239835	0	1
Simões Filho	Bahia	BA	3931612	2 (Salvador)	6
Teixeira de Freitas	Bahia	BA	372229	0	1
Valença	Bahia	BA	310843	0	1
Vitória da Conquista	Bahia	BA	500293	0	2
Acará	Ceará	CE	275048	0	1
Barbalha	Ceará	CE	827099	0	2
Canindé	Ceará	CE	326148	0	1
Caucaia	Ceará	CE	3865096	0	8
Crateús	Ceará	CE	297288	0	1
Granja	Ceará	CE	180292	0	1
Icó	Ceará	CE	197243	0	1
Iguatu	Ceará	CE	416319	0	1
Morada Nova	Ceará	CE	577990	0	2
Pacajus	Ceará	CE	784536	0	2
Sobral	Ceará	CE	576047	0	2
Tauá	Ceará	CE	200659	0	1
Tianguá	Ceará	CE	389396	0	1
Aracruz	Espírito Santo	ES	175466	0	1
Cachoeiro de Itapemirim	Espírito Santo	ES	559957	0	2
Cariacica	Espírito Santo	ES	562723	0	2
Colatina	Espírito Santo	ES	309244	0	1
Guarapari	Espírito Santo	ES	190434	0	1
Linhares	Espírito Santo	ES	222766	0	1
Nova Venécia	Espírito Santo	ES	268359	0	1
São Mateus	Espírito Santo	ES	218335	0	1
Vitória	Espírito Santo	ES	1373445	0	3
Anápolis	Goiás	GO	607277	0	2
Aparecida de Goiânia	Goiás	GO	2353346	1 (Goiânia)	4
Caldas Novas	Goiás	GO	197003	0	1
Catalão	Goiás	GO	139819	0	1
Formosa	Goiás	GO	231434	0	1
Goianésia	Goiás	GO	319079	0	1
Inhumas	Goiás	GO	234933	0	1
Itumbiara	Goiás	GO	241562	0	1
Jataí	Goiás	GO	128339	0	1

Mineiros	Goiás	GO	101741	0	1
Quirinópolis	Goiás	GO	121352	0	1
Rio Verde	Goiás	GO	355017	0	1
Trindade	Goiás	GO	316382	0	1
Valparaíso de Goiás	Goiás	GO	3925303	6 (Brasília)	2
Açailândia	Maranhão	MA	415918	2 (imperatriz)	0
Bacabal	Maranhão	MA	283615	0	1
Balsas	Maranhão	MA	151965	0	1
Barra do Corda	Maranhão	MA	207373	0	1
Barreirinhas	Maranhão	MA	91245	0	1
Buriticupu	Maranhão	MA	106386	0	1
Caxias	Maranhão	MA	259390	0	1
Chapadinha	Maranhão	MA	282020	0	1
Codó	Maranhão	MA	315426	0	1
Grajaú	Maranhão	MA	104318	0	1
Itapecuru Mirim	Maranhão	MA	402537	0	1
Lago da Pedra	Maranhão	MA	234534	0	1
Paço do Lumiar	Maranhão	MA	1432529	0	3
Pinheiro	Maranhão	MA	401362	0	1
Santa Inês	Maranhão	MA	378440	0	1
Timon	Maranhão	MA	1277137	1 (Teresina)	2
Tutóia	Maranhão	MA	154845	0	1
Viana	Maranhão	MA	235214	0	1
Zé Doca	Maranhão	MA	67140	0	1
Alfenas	Minas Gerais	MG	247800	0	1
Araguari	Minas Gerais	MG	827904	0	2
Araxá	Minas Gerais	MG	176253	0	1
Barbacena	Minas Gerais	MG	298747	0	1
Betim	Minas Gerais	MG	1561473	0	4
Bom Despacho	Minas Gerais	MG	140369	0	1
Campo Belo	Minas Gerais	MG	147738	0	1
Caratinga	Minas Gerais	MG	234929	0	1
Cataguases	Minas Gerais	MG	119115	0	1
Congonhas	Minas Gerais	MG	98587	0	1
Conselheiro Lafaiete	Minas Gerais	MG	194107	0	1
Coronel Fabriciano	Minas Gerais	MG	216187	0	1
Curvelo	Minas Gerais	MG	208775	0	1
Divinópolis	Minas Gerais	MG	329338	0	1
Formiga	Minas Gerais	MG	173398	0	1

Frutal	Minas Gerais	MG	107193	0	1
Governador Valadares	Minas Gerais	MG	475674	0	1
Guaxupé	Minas Gerais	MG	165682	0	1
Ipatinga	Minas Gerais	MG	402250	0	1
Itabira	Minas Gerais	MG	163268	0	1
Itabirito	Minas Gerais	MG	51875	0	1
Itajubá	Minas Gerais	MG	494182	2 (Pouso Alegre)	0
Itaúna	Minas Gerais	MG	187686	0	1
Ituiutaba	Minas Gerais	MG	276555	0	1
Janaúba	Minas Gerais	MG	237668	0	1
Januária	Minas Gerais	MG	152406	0	1
João Monlevade	Minas Gerais	MG	200278	0	1
Juiz de Fora	Minas Gerais	MG	698543	0	2
Lagoa da Prata	Minas Gerais	MG	147356	0	1
Lavras	Minas Gerais	MG	223703	0	1
Leopoldina	Minas Gerais	MG	187615	0	1
Manhuaçu	Minas Gerais	MG	466646	0	1
Mariana	Minas Gerais	MG	171705	0	1
Muriae	Minas Gerais	MG	191881	0	1
Nova Lima	Minas Gerais	MG	121555	0	1
Nova Serrana	Minas Gerais	MG	172608	0	1
Pará de Minas	Minas Gerais	MG	132824	0	1
Paracatu	Minas Gerais	MG	156722	0	1
Passos	Minas Gerais	MG	236405	0	1
Patos de Minas	Minas Gerais	MG	314686	0	1
Patrocínio	Minas Gerais	MG	223464	0	1
Pirapora	Minas Gerais	MG	172459	0	1
Poços de Caldas	Minas Gerais	MG	288744	0	1
Ponte Nova	Minas Gerais	MG	149415	0	1
Sabará	Minas Gerais	MG	181062	0	1
Santa Luzia	Minas Gerais	MG	3414984	2 (Belo-Horizonte)	5
São Francisco	Minas Gerais	MG	195282	0	1
São João del Rei	Minas Gerais	MG	203143	0	1
São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	MG	139810	0	1
Sete Lagoas	Minas Gerais	MG	326497	0	1
Teófilo Otoni	Minas Gerais	MG	359717	0	1
Três Corações	Minas Gerais	MG	340773	0	1
Três Pontas	Minas Gerais	MG	139752	0	1

Ubá	Minas Gerais	MG	266807	0	1
Uberaba	Minas Gerais	MG	426876	0	1
Unaí	Minas Gerais	MG	110801	0	1
Varginha	Minas Gerais	MG	193835	0	1
Viçosa	Minas Gerais	MG	200148	0	1
Corumbá	Mato Grosso do Sul	MS	134766	0	1
Dourados	Mato Grosso do Sul	MS	388838	0	1
Naviraí	Mato Grosso do Sul	MS	147335	0	1
Nova Andradina	Mato Grosso do Sul	MS	135317	0	1
Ponta Porã	Mato Grosso do Sul	MS	153027	0	1
Sidrolândia	Mato Grosso do Sul	MS	1047851	2 (Campo Grande)	1
Três Lagoas	Mato Grosso do Sul	MS	139789	0	1
Alta Floresta	Mato Grosso	MT	73312	0	1
Barra do Garças	Mato Grosso	MT	123239	0	1
Cáceres	Mato Grosso	MT	169183	0	1
Lucas do Rio Verde	Mato Grosso	MT	124617	0	1
Primavera do Leste	Mato Grosso	MT	86416	0	1
Rondonópolis	Mato Grosso	MT	293177	0	1
Sorriso	Mato Grosso	MT	261125	1 (Sinop)	0
Tangará da Serra	Mato Grosso	MT	178086	0	1
Várzea Grande	Mato Grosso	MT	1002329	0	3
Acará	Pará	PA	118041	0	1
Altamira	Pará	PA	176411	0	1
Bragança	Pará	PA	266046	0	1
Breves	Pará	PA	102701	0	1
Cametá	Pará	PA	166825	0	1
Capanema	Pará	PA	296170	0	1
Capitão Poço	Pará	PA	182206	0	1
Castanhal	Pará	PA	2893288	4 (Belém)	2
Dom Eliseu	Pará	PA	171286	0	1
Igarapé-Miri	Pará	PA	458306	0	1
Ipixuna do Pará	Pará	PA	240645	0	1
Jacundá	Pará	PA	75833	0	1
Marabá	Pará	PA	403966	0	1
Novo Repartimento	Pará	PA	123625	0	1
Óbidos	Pará	PA	139626	0	1

Parauapebas	Pará	PA	260010	0	1
Portel	Pará	PA	89697	0	1
Redenção	Pará	PA	201078	0	1
Rurópolis	Pará	PA	81492	0	1
Santarém	Pará	PA	338405	0	1
São Félix do Xingu	Pará	PA	168083	0	1
Tucuruí	Pará	PA	227151	0	1
Bayeux	Paraíba	PB	1448946	4 (João Pessoa)	0
Cajazeiras	Paraíba	PB	283609	0	1
Campina Grande	Paraíba	PB	953856	0	2
Guarabira	Paraíba	PB	532635	0	2
Patos	Paraíba	PB	437165	0	1
Sousa	Paraíba	PB	364420	0	1
Abreu e Lima	Pernambuco	PE	3997140	4 (Recife)	4
Araripina	Pernambuco	PE	259837	0	1
Arcoverde	Pernambuco	PE	319578	0	1
Brejo da Madre de Deus	Pernambuco	PE	220923	0	1
Garanhuns	Pernambuco	PE	581783	0	2
Gravatá	Pernambuco	PE	952938	3 (Caruaru)	0
Ouricuri	Pernambuco	PE	237490	0	1
Palmares	Pernambuco	PE	810933	0	1
Pesqueira	Pernambuco	PE	330068	0	1
Petrolina	Pernambuco	PE	710910	0	2
Salgueiro	Pernambuco	PE	225615	0	1
Serra Talhada	Pernambuco	PE	456519	0	1
Surubim	Pernambuco	PE	442955	0	1
Timbaúba	Pernambuco	PE	540606	0	2
Florianópolis	Piauí	PI	217743	0	1
Parnaíba	Piauí	PI	334900	0	1
Picos	Piauí	PI	329829	0	1
Piripiri	Piauí	PI	349398	0	1
Apucarana	Paraná	PR	331051	0	1
Campo Largo	Paraná	PR	744376	0	2
Campo Mourão	Paraná	PR	274286	0	1
Cascavel	Paraná	PR	641614	0	2
Castro	Paraná	PR	125942	0	1
Cianorte	Paraná	PR	176048	0	1
Foz do Iguaçu	Paraná	PR	395468	0	1

Francisco Beltrão	Paraná	PR	223841	0	1
Guarapuava	Paraná	PR	362472	0	1
Ibiporã	Paraná	PR	910134	3 (Londrina)	0
Irati	Paraná	PR	256225	0	1
Marechal Cândido Rondon	Paraná	PR	351733	0	1
Maringá	Paraná	PR	753863	0	2
Palmas	Paraná	PR	50986	0	1
Paranaguá	Paraná	PR	309969	0	1
Paranavaí	Paraná	PR	309250	0	1
Pato Branco	Paraná	PR	353481	0	1
Rolândia	Paraná	PR	425929	0	1
São José dos Pinhais	Paraná	PR	3153645	2 (Curitiba)	4
Telêmaco Borba	Paraná	PR	222434	0	1
Umuarama	Paraná	PR	317082	0	1
União da Vitória	Paraná	PR	159014	0	1
Angra dos Reis	Rio de Janeiro	RJ	246950	0	1
Barra do Piraí	Rio de Janeiro	RJ	155884	0	1
Cabo Frio	Rio de Janeiro	RJ	423530	0	1
Campos dos Goytacazes	Rio de Janeiro	RJ	637347	0	2
Guapimirim	Rio de Janeiro	RJ	364525	0	1
Itaperuna	Rio de Janeiro	RJ	361669	0	1
Japeri	Rio de Janeiro	RJ	484133	0	1
Macaé	Rio de Janeiro	RJ	492605	0	1
Mesquita	Rio de Janeiro	RJ	3212943	0	6
Niterói	Rio de Janeiro	RJ	8478533	10 (Rio de Janeiro)	7
Nova Friburgo	Rio de Janeiro	RJ	292889	0	1
Petrópolis	Rio de Janeiro	RJ	306191	0	1
Resende	Rio de Janeiro	RJ	251514	2 (Passa Quatro)	0
Rio Bonito	Rio de Janeiro	RJ	622630	0	2
Teresópolis	Rio de Janeiro	RJ	204389	0	1
Três Rios	Rio de Janeiro	RJ	172113	0	1
Valença	Rio de Janeiro	RJ	94433	0	1
Volta Redonda	Rio de Janeiro	RJ	541744	0	2
Açu	Rio Grande do Norte	RN	244605	0	1
Caicó	Rio Grande do Norte	RN	358174	0	1
Ceará-Mirim	Rio Grande do Norte	RN	290117	0	1

Macaíba	Rio Grande do Norte	RN	1826763	2 (Natal)	2
Mossoró	Rio Grande do Norte	RN	600166	0	2
Ariquemes	Rondônia	RO	165595	0	1
Jaru	Rondônia	RO	286711	0	1
Porto Velho	Rondônia	RO	556237	0	2
Rolim de Moura	Rondônia	RO	341355	0	1
Vilhena	Rondônia	RO	115736	0	1
Boa Vista	Roraima	RR	399213	0	1
Alegrete	Rio Grande do Sul	RS	80888	0	1
Bagé	Rio Grande do Sul	RS	195118	0	1
Bento Gonçalves	Rio Grande do Sul	RS	930338	3 (Caxias do Sul)	0
Camaquã	Rio Grande do Sul	RS	193692	0	1
Canguçu	Rio Grande do Sul	RS	91374	0	1
Canoas	Rio Grande do Sul	RS	3255874	5 (Porto Alegre)	2
Capão da Canoa	Rio Grande do Sul	RS	291637	0	1
Carazinho	Rio Grande do Sul	RS	561207	1 (Passo Fundo)	1
Cruz Alta	Rio Grande do Sul	RS	245352	0	1
Erechim	Rio Grande do Sul	RS	280539	0	1
Estância Velha	Rio Grande do Sul	RS	989489	0	2
Ijuí	Rio Grande do Sul	RS	141746	0	1
Lajeado	Rio Grande do Sul	RS	503727	0	2
Pelotas	Rio Grande do Sul	RS	617253	0	2
Santa Cruz do Sul	Rio Grande do Sul	RS	468817	0	1
Santa Maria	Rio Grande do Sul	RS	467615	0	1
Santa Rosa	Rio Grande do Sul	RS	329077	0	1
Santo Ângelo	Rio Grande do Sul	RS	177154	0	1
São Borja	Rio Grande do Sul	RS	159840	0	1
São Gabriel	Rio Grande do Sul	RS	197957	0	1
Taquara	Rio Grande do Sul	RS	380006	0	1
Uruguaiana	Rio Grande do Sul	RS	153872	0	1
Vacaria	Rio Grande do Sul	RS	172064	0	1
Araranguá	Santa Catarina	SC	246623	0	1
Caçador	Santa Catarina	SC	131278	0	1
Canoinhas	Santa Catarina	SC	176428	0	1
Chapecó	Santa Catarina	SC	466811	1 (Maravilha)	0
Concórdia	Santa Catarina	SC	207497	0	1
Içara	Santa Catarina	SC	746602	2 (Tubarão), 2 (Criciúma)	0

Indaial	Santa Catarina	SC	598121	0	2
Itapema	Santa Catarina	SC	999819	2 (Brusque), 2 (Itajaí)	0
Jaraguá do Sul	Santa Catarina	SC	1137817	0	3
Lages	Santa Catarina	SC	334604	0	1
Mafra	Santa Catarina	SC	269701	0	1
Palhoça	Santa Catarina	SC	1131196	0	3
Rio do Sul	Santa Catarina	SC	302111	0	1
Videira	Santa Catarina	SC	224087	0	1
Xanxerê	Santa Catarina	SC	111445	0	1
Estância	Sergipe	SE	415554	0	1
Itabaiana	Sergipe	SE	507574	0	2
Nossa Senhora do Socorro	Sergipe	SE	1206461	2 (Aracaju)	1
Americana	São Paulo	SP	433072	0	1
Amparo	São Paulo	SP	116356	0	1
Andradina	São Paulo	SP	371141	0	1
Araçatuba	São Paulo	SP	287419	0	1
Araraquara	São Paulo	SP	315904	0	1
Araras	São Paulo	SP	162286	0	1
Artur Nogueira	São Paulo	SP	256857	0	1
Assis	São Paulo	SP	301962	0	1
Atibaia	São Paulo	SP	227256	0	1
Avaré	São Paulo	SP	265733	0	1
Batatais	São Paulo	SP	166830	0	1
Bauru	São Paulo	SP	480087	0	1
Bebedouro	São Paulo	SP	164397	0	1
Bertioga	São Paulo	SP	63249	0	1
Birigui	São Paulo	SP	195828	0	1
Boituva	São Paulo	SP	147079	0	1
Botucatu	São Paulo	SP	244209	0	1
Bragança Paulista	São Paulo	SP	200505	0	1
Campo Limpo Paulista	São Paulo	SP	236532	0	1
Campos do Jordão	São Paulo	SP	69777	0	1
Capivari	São Paulo	SP	86109	0	1
Caraguatatuba	São Paulo	SP	121532	0	1
Catanduva	São Paulo	SP	289086	0	1
Cruzeiro	São Paulo	SP	128198	0	1
Fernandópolis	São Paulo	SP	274188	0	1
Franca	São Paulo	SP	427758	0	1

Franco da Rocha	São Paulo	SP	531982	0	2
Guaratinguetá	São Paulo	SP	219753	0	1
Guarujá	São Paulo	SP	320459	0	1
Guarulhos	São Paulo	SP	1379182	0	3
Ibitinga	São Paulo	SP	150716	0	1
Ibiúna	São Paulo	SP	78878	0	1
Itanhaém	São Paulo	SP	158518	0	1
Itapeçerica da Serra	São Paulo	SP	855737	0	2
Itapetininga	São Paulo	SP	228084	0	1
Itapeva	São Paulo	SP	257189	0	1
Itapevi	São Paulo	SP	611847	0	2
Itapira	São Paulo	SP	142463	0	1
Itararé	São Paulo	SP	78599	0	1
Itatiba	São Paulo	SP	134480	0	1
Jaboticabal	São Paulo	SP	146520	0	1
Jaguariúna	São Paulo	SP	143647	0	1
Jaú	São Paulo	SP	409380	1 (Jaú)	0
Jundiaí	São Paulo	SP	605900	0	2
Leme	São Paulo	SP	112889	0	1
Lençóis Paulista	São Paulo	SP	101985	0	1
Limeira	São Paulo	SP	330349	0	1
Lins	São Paulo	SP	228013	0	1
Lorena	São Paulo	SP	140828	0	1
Marília	São Paulo	SP	353897	0	1
Matão	São Paulo	SP	96857	0	1
Mirassol	São Paulo	SP	209555	0	1
Mococa	São Paulo	SP	97575	0	1
Mogi das Cruzes	São Paulo	SP	495579	0	1
Mogi Guaçu	São Paulo	SP	256381	0	1
Monte Alto	São Paulo	SP	76952	0	1
Olímpia	São Paulo	SP	241775	1 (Barretos)	0
Osasco	São Paulo	SP	1400236	0	3
Ourinhos	São Paulo	SP	246711	0	1
Penápolis	São Paulo	SP	105270	0	1
Peruíbe	São Paulo	SP	97051	0	1
Piedade	São Paulo	SP	63155	0	1
Pindamonhangaba	São Paulo	SP	168328	0	1
Piracicaba	São Paulo	SP	492933	0	1
Poá	São Paulo	SP	980186	0	2

Porto Ferreira	São Paulo	SP	308211	0	1
Registro	São Paulo	SP	251524	0	1
Ribeirão Pires	São Paulo	SP	647151	0	2
Rio Claro	São Paulo	SP	286641	0	1
Salto	São Paulo	SP	647034	0	2
Santa Isabel	São Paulo	SP	156744	0	1
Santana de Parnaíba	São Paulo	SP	158342	0	1
São Bernardo do Campo	São Paulo	SP	14394743	São Paulo (18)	11
São Carlos	São Paulo	SP	318463	0	1
São João da Boa Vista	São Paulo	SP	228825	0	1
São Joaquim da Barra	São Paulo	SP	319318	0	1
São José do Rio Pardo	São Paulo	SP	148440	0	1
São José do Rio Preto	São Paulo	SP	619126	0	2
São José dos Campos	São Paulo	SP	1029669	0	3
São Roque	São Paulo	SP	231755	0	1
São Sebastião	São Paulo	SP	123950	0	1
São Vicente	São Paulo	SP	1254887	0	3
Sertãozinho	São Paulo	SP	1058668	3 (Ribeirão Preto)	0
Sumaré	São Paulo	SP	633238	0	2
Taquaritinga	São Paulo	SP	65569	0	1
Tatuí	São Paulo	SP	283933	0	1
Taubaté	São Paulo	SP	477571	0	1
Tupã	São Paulo	SP	659197	1 (Presidente Prudente)	1
Ubatuba	São Paulo	SP	90799	0	1
Valinhos	São Paulo	SP	1411994	1 (Campinas)	2
Votorantim	São Paulo	SP	920896	0	2
Votuporanga	São Paulo	SP	202318	0	1
Araguaína	Tocantins	TO	312151	0	1
Gurupi	Tocantins	TO	132582	0	1
Palmas	Tocantins	TO	335715	0	1
Paraíso do Tocantins	Tocantins	TO	115495	0	1
Porto Nacional	Tocantins	TO	78701	0	1
Total					512