

DEIVSON RAYNER TEIXEIRA DA COSTA

TEORIA DE REDES COMPLEXAS COMO ABORDAGEM PARA ANÁLISE
DA COBERTURA DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Brasília, Brasil, 2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE COLETIVA

DEIVSON RAYNER TEIXEIRA DA COSTA

TEORIA DE REDES COMPLEXAS COMO ABORDAGEM PARA
ANÁLISE DA COBERTURA DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Saúde Coletiva pelo Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, Universidade de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Barreto

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Sampaio

Brasília, DF, 2020

DEIVSON RAYNER TEIXEIRA DA COSTA

TEORIA DE REDES COMPLEXAS COMO ABORDAGEM PARA
ANÁLISE DA COBERTURA DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Dissertação ou Tese apresentada como
requisito parcial para a obtenção do título de Mestre
ou Doutor em Saúde Coletiva pelo Programa de
Pós-Graduação em Saúde Coletiva da Universidade
de Brasília.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Barreto
Universidade de Brasília
(Presidente)

Prof. Dr. Ricardo Chaim
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Everton Nunes da Silva
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Walter Massa Ramalho
Fundação Oswaldo Cruz
(Suplente)

Dedico este trabalho a minha esposa Mariella que
me inspira pela sua paixão pela vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Àquela força onipresente e sagrada que nos dá perseverança, energia e inspiração e que, embora segundo dito popular, escreva certo por linhas tortas, espero tenha me ajudado a escrever certo por linhas aceitavelmente dentro das normas.

À minha esposa Mariella e ao meu filho Nicolas, que foram pacientes e compreensivos permitindo que eu dedicasse praticamente todos os meus sábados ao longo de quase dois anos ao desenvolvimento desta pesquisa. Não deixando de fora, claro, meu “cachorro terapêutico” Beegoh, ótima ferramenta contra o estresse!

Ao meu orientador Prof. Jorge Barreto e sua dedicação, compromisso e disposição refletida nas dezenas de horas de debate em horários diversos, superando as dificuldades da pandemia. Sua postura, sempre aberto ao debate e a novas ideias permitiu que experimentássemos novas ideias e analisássemos a realidade sob uma diferente ótica. Agradeço também meu coorientador Prof. Ricardo Sampaio que apoiou no desenvolvimento deste bairão de dois entre Saúde e Teoria de Redes e foi peça fundamental dentre nossos debates durante o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha gerente e colega de trabalho Luciane Batista, sua compreensão e apoio durante meu mestrado foi fundamental para que eu fosse capaz de conciliar trabalho e estudos, eu sou bastante grato a sua atitude humana e amiga durante esta fase.

RESUMO

A pesquisa apresentada ao longo das próximas páginas emprega técnicas de modelagem e análise baseada na Teoria de Redes Complexas como ferramenta para compreender as relações espaciais de acessibilidade e disponibilidade de recursos e serviços de saúde dentro do Sistema Único de Saúde. Através de uma ótica com enfoque nos relacionamentos entre setores censitários e estabelecimentos de saúde, este trabalho buscou alcançar uma visão que desse ênfase aos diferentes níveis de cobertura e acessibilidade dentro de porções populacionais agregadas micro espacialmente.

Objetivos: Desenvolver uma abordagem metodológica baseada na Teoria de Redes para análise da acessibilidade e disponibilidade de serviços e recursos de saúde conforme disponível no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde com vínculo com os agregados socioeconômicos populacionais presentes no CENSO de 2010 e representados por setores censitários.

Métodos: Modelagem da rede através de informações geoespaciais estabelecendo um relacionamento de demanda potencial entre os setores censitários e os estabelecimentos de saúde mais próximos. Análise da estrutura da rede de relacionamentos através de técnicas e métricas de centralidade da Teoria de Redes Complexas dando ênfase a posição estrutural dos estabelecimentos de saúde dentro da cobertura dos serviços e recursos estudados.

Resultados: Esta pesquisa apresenta como resultado o desenvolvimento de um arcabouço teórico-metodológico que emprega um processo de aquisição, modelagem e análise de dados espaciais no formato de uma rede de relacionamentos entre população, estabelecimentos, serviços e recursos de saúde. O emprego deste método de análise evidenciou as variações na cobertura da acessibilidade geográfica e da disponibilidade de serviços e recursos de saúde dentro do espaço territorial utilizado como base para desenvolvimento e aplicação destas técnicas.

Palavras-chave: Acesso aos Serviços de Saúde, Assistência à Saúde, Saúde Pública, Ciência de Dados, Redes Complexas

ABSTRACT

The research presented over the next pages employs modeling and analysis techniques based on Complex Network Theory as a tool to understand the spatial relationships of accessibility and availability of health resources and services within the Brazilian Unified Health System (SUS). Through an approach focused on the relationships between census tracts and health facilities, this work sought to achieve a vision that emphasizes the different levels of coverage and accessibility within population areas aggregated micro spatially.

Objectives: To develop a methodological approach based on Network Theory to analyze the accessibility and availability of health services and resources as available in the National Registry of Health Establishments (CNES) with links with the population socioeconomic aggregates present in the 2010 CENSUS and represented by census tracts.

Methods: Modeling the network through geospatial information establishing a potential demand relationship between census tracts and the nearest health facilities. Analysis of the structure of the network of relationships through techniques and metrics of centrality from complex network theory, emphasizing the structural position of health facilities within the coverage of the services and resources studied.

Results: This research presents as a result the development of a theoretical-methodological framework that employs a process of acquisition, modeling and analysis of spatial data in the form of a network of relationships between population, health facilities, services and health resources. The use of this method of analysis highlighted the variations in the coverage of geographic accessibility and the availability of health services and resources within the territorial space used as a basis for the development and application of these techniques.

Keywords: Health Services Accessibility, Delivery of Health Care, Public Health, Data Science, Complex Network

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SÍNTESE TEÓRICA	35
FIGURA 2 - ÁREA METROPOLITANA DE BRASÍLIA	37
FIGURA 3 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE COLETA DE DADOS E MONTAGEM DA REDE	38
FIGURA 4 - CENTRALIDADE - PESO INDIFERENTE	43
FIGURA 5 - CENTRALIDADE - PESO POPULACIONAL E DISPONIBILIDADE	46

ARTIGO 1

FIGURA 1 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE COLETA DE DADOS E MONTAGEM DA REDE	54
---	----

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

TABELA 1 - ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE COM MAIOR CENTRALIDADE	60
TABELA 2 - CENTRALIDADE AGRUPADA POR TIPO DE UNIDADE	61

ARTIGO 2

TABELA 1 – DISTRIB. DOS INDICADORES E DO ÍNDICE DE VUL. SOCIAL NO TERRITÓRIO DA AMB	75
TABELA 2 – DISTRIB. DO ÍNDICE DE VUL. SOCIAL POR DES. PADRÃO NOS SET. CENSITÁRIOS DA AMB	75
TABELA 3 – ESTABEL. COM CENTRALIDADE NORMALIZADA DE ATÉ 3% DA REDE (RESPIRADORES)	79
TABELA 4 – ESTABEL. COM CENTRALIDADE NORMALIZADA DE ATÉ 3% DA REDE (LEITOS)	80

LISTA DE GRÁFICOS

ARTIGO 1

GRÁFICO 1 – DISTRIB. DA CENTRALIDADE DO SERVIÇO POR TIPO DE UNIDADE	63
GRÁFICO 2 – DISTRIB. DAS DISTÂNCIAS POR FAIXA	64

ARTIGO 2

GRÁFICO 1 – DISTRIB. DA DIST. PARA ACESSO À RESPIRADORES EM FUNÇÃO DA VUL. SOCIAL	81
GRÁFICO 2 – DISTRIB. DA DIST. PARA ACESSO À LEITOS DE UTI TIPO II EM FUNÇÃO DA VUL. SOCIAL	82
GRÁFICO 3 – DISTRIB. DA DIST. PARA ACESSO À LEITOS DE UTI TIPO III EM FUNÇÃO DA VUL. SOCIAL	83

Lista de Abreviaturas e Siglas

SUS	Sistema Único de Saúde
DATASUS	Departamento de Informática do SUS
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CONASS	Conselho Nacional de Secretários de Saúde
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
AMB	Área Metropolitana de Brasília
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
Acesso, Acessibilidade Geográfica e Disponibilidade	18
Redes de Atenção.....	21
CNES, Setores Censitários e Vulnerabilidade Social	22
Teoria de Redes Complexas.....	24
Teoria de Redes Complexas – Métricas de Centralidade	28
Síntese Teórica.....	35
4. MÉTODO.....	36
Formulação da Malha-Base da Rede	38
Formulação das Métricas de Análise da Rede de Serviços de Saúde	41
Formulação das Métricas de Análise da Rede de Recursos.....	43
5. RESULTADOS	47
Artigo 1 – Modelo Teórico- Metodológico baseado na Teoria de Redes Complexas para Análise da Oferta Potencial dos Serviços de Saúde.	48
Artigo 2 – Como estávamos antes? Uma análise da oferta potencial e desigualdade de acesso geográfico a recursos críticos para tratamento de COVID-19.	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
7. REFERÊNCIAS	90
8. ANEXO A	95

1. INTRODUÇÃO

A saúde pública do Brasil é organizada em redes regionalizadas e hierarquizadas, com uma estrutura crescente por nível de complexidade (atenção básica, atenção de média e de alta complexidade). Embora esta organização apresente forte capilaridade na estrutura de atenção básica, também possui um sistema integrado de pontos de atenção à saúde, prestando assistência contínua e integral a uma população bem definida (MENDES,2011).

O Sistema Único de Saúde (SUS) institui uma estrutura em formato de rede com características de unicidade e descentralização, onde desde o princípio, objetivou-se alterar a situação de desigualdade na assistência à saúde da população (VIEGAS e PENNA,2013). Tais condições de integralidade e desigualdade são em geral medidas e analisadas sobre a granularidade das regiões de saúde, que se caracterizam pelo agrupamento de municípios limítrofes, delimitando, espacialmente, unidades de planejamento e execução de ações e serviços de saúde (Brasil, 2011). Desta maneira, observa-se que o agregado social e econômico, base para o planejamento destas ações e constituição da oferta de serviços, tem como referência a organização da esfera municipal, sendo este o bloco de constituição da região de saúde e, portanto, empregando meios para descentralização destas ações, compartilhamento de responsabilidades e cooperatividade entre os gestores.

Ao analisar a distribuição dos serviços de saúde em função dos municípios e regiões de saúde, assume-se o risco de ignorar as diferenças sociais, econômicas e potencialmente culturais existentes dentro desta esfera região. Deste modo, a busca por ferramentas e técnicas que permitam a análise integral da complexidade social e econômica representa aspecto relevante para estabelecer igualdade de oportunidades no acesso à saúde (BRAVEMAN, GRUSKIN, 2003). Além disso, esta ótica pode favorecer a elaboração e execução de políticas públicas orientadas a uma distribuição de recursos e serviços de forma equitativa.

O SUS apoia seus processos de gestão em um conjunto de sistemas de informação que dão apoio às áreas: epidemiológica, ambulatorial, hospitalar e administrativa. Tais sistemas têm abrangência nacional e são mantidos pelo Departamento de Informática do SUS (DATASUS) (MORAIS e COSTA, 2014). Cada um destes sistemas apresenta perspectivas próprias e fragmentadas, levando o processo de gestão a lidar com diferentes fontes de informação, nem

sempre atendendo às demandas dos gestores em face da complexidade do setor e suas articulações intersetoriais (MORAES, 2010). Quando se observa o aspecto fragmentado destes sistemas, à luz do imperativo do SUS ser um sistema integrado de saúde pública, percebem-se lacunas. Há necessidade de desenvolver novas ferramentas e técnicas de acesso e análise destes dados permitindo: (A) Uma visão de sua realidade complexa; (B) A capacidade de integrar fontes adicionais externas ao ecossistema do DATASUS; (C) A capacidade de analisar o comportamento emergente oriundo do relacionamento de diferentes camadas de dados.

Tendo em vista as características apontadas a respeito da estrutura de regionalização do SUS – organização por regiões de saúde – e a dificuldade de se realizar análises integradas orientadas a diferentes fontes de dados – sejam estas fontes participantes do ecossistema do DATASUS ou externas – esta pesquisa propôs criar uma abordagem metodológica aplicada na representação e análise das entidades pertencentes ao Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) baseada na Teoria de Redes Complexas, integrando informações socioeconômicas oferecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através do CENSO de 2010 e agregadas em função de seus setores censitários, ou seja, a partir do menor recorte espacial possível disponível no levantamento censitário do IBGE. Além disto, esta modelagem empregou ferramentas de análise da acessibilidade geográfica tendo como base técnicas apresentadas e debatidas por Guagliardo (2004), Fortney *et al* (2000) e Delamater *et al* (2012) complementando a análise espacial com atributos socioeconômicos oriundos do CENSO e, desta maneira, permitindo a criação de um complexo mapa de relacionamentos entre entidades espacialmente localizadas (estabelecimentos de saúde, população residente em setores censitários, equipamentos, etc) e as respectivas condições de vulnerabilidade social observada nos recortes censitários analisados.

Esta pesquisa buscou criar, através do emprego de técnicas de análise e modelagem, uma nova perspectiva sobre os dados do CNES que auxilie na superação dos desafios encontrados pelos gestores da saúde ao longo da análise e busca de respostas para compreensão da complexa realidade da saúde pública. Espera-se, desta maneira, estabelecer novas formas de análise e de evolução do modelo do CNES baseado em um plano conceitual que permita a aquisição e sobreposição de novas camadas de dados seguido por um modelo de análise fortemente pautado nos relacionamentos desta rede e ancorado na premissa que a análise micro regional, proporcionada pelos setores censitários, é um fator importantes para estabelecer uma relação de

equidade no planejamento e distribuição de recursos de saúde. Deste modo, este trabalho se norteou pela seguinte questão de pesquisa:

Como a Teoria de Redes Complexas pode contribuir na análise da acessibilidade e disponibilidade dos serviços de saúde com base no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde com vínculo na malha de setores censitários do CENSO 2010?

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral: Desenvolver uma abordagem metodológica baseada na Teoria de Redes para análise da acessibilidade e disponibilidade de serviços e recursos de saúde presentes no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde vinculado à malha de setores censitários do CENSO de 2010.

Objetivos Específicos:

- a) Desenvolver um modelo de aquisição e preparação de dados que estabeleça o relacionamento entre os estabelecimentos de saúde e os setores censitários do CENSO de 2010 e que represente uma visão da distribuição da oferta potencial de serviços de saúde.
- b) Propor um modelo lógico de representação dos dados do CNES utilizando a teoria de redes e que permita uma incorporação evolutiva de novas camadas de dados.
- c) Explorar a estrutura de oferta de serviços de saúde sob a ótica da relação da malha de estabelecimentos de saúde e recursos de saúde com os agregados populacionais e suas variáveis socioeconômicas manifestadas na forma de um indicador de vulnerabilidade social.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho apoia-se sobre eixos teóricos que serão resumidos a seguir e detalhados nas próximas páginas:

- i. O conceito de ‘Acesso’ e o papel da acessibilidade geográfica e a disponibilidade como componentes do acesso potencial e limitadores do acesso à saúde, influenciando nas decisões de cuidado do indivíduo. (ANDERSEN, 1995; PENCHANSKY e THOMAS, 1981)
- ii. Revisão de técnicas de análise espacial para quantificar a acessibilidade geográfica e suas limitações. (GUAGLIARDO, 2004, FORTNEY *et al* 2000, DELAMATER *et al* 2012, entre outros)
- iii. Os componentes estruturais do sistema de saúde que podem ser representados dentro do modelo. A estrutura de serviços e recursos definidos (normatizada, ou não) pelas redes de atenção à saúde onde definem-se população participante da rede, estrutura operacional, recursos e modelo de atenção (BRASIL, 2015b). A rede de estabelecimentos de saúde gerido pelo CNES (BRASIL, 2018a). A estrutura demográfica, ecossistema econômico e estrutural contido no CENSO 2010 (BRASIL, 2018B). A representação da vulnerabilidade social através de um índice constituído de métricas do CENSO de 2010 (Drachler *et al*, 2014)
- iv. Conceitos e abordagens métricas da teoria de redes complexas que podem apoiar a análise de atributos emergentes dos relacionamentos entre aglomerados populacionais e serviços e recursos de saúde. (BORGATTI e EVERETT, 1997; EVERETT e BORGATTI, 1999 e

2005; FAUST, 1997, WASSERMAN e FAUST, 1994; NEWMAN, 2004, 2010; WILSON, 1982; FREMAN 1978)

Acesso, Acessibilidade Geográfica e Disponibilidade

A distribuição dos serviços de saúde no SUS é baseada em uma articulação entre diferentes níveis de atenção, havendo regionalização para os serviços de atenção básica e convergência em direção à centralização para os procedimentos de maior complexidade. Esta organização, embora seja hierarquizada em função da complexidade, estrutura-se na forma de redes integradas de apoio, oferecendo diferentes densidades de tecnologia e, buscando efetividade, organiza-se sobre fundamentos como: economia de escala, disponibilidade de recursos, qualidade e acesso, integração, processos de substituição, território sanitário e níveis de atenção (MENDES, 2011).

Esta pesquisa tem como foco o acesso aos serviços e recursos de saúde e a análise de sua disparidade, considerando-os distribuídos de forma regionalizada pela atenção básica e integralizados pelos demais níveis de atenção para formação de uma rede de atenção à saúde. Acesso será, portanto, entendido como um conceito chave para mensurar a disparidade na cobertura dos serviços e recursos, representando a ausência ou presença destes serviços e recursos de saúde dentro da dimensão geográfica da cobertura. Em sistemas de saúde onde a atenção primária atua como porta de entrada para articulação com os demais níveis de atenção, a acessibilidade física a estes locais é determinante para o acesso a serviços e recursos de maior especialização ou complexidade tecnológica (CAMPBELL, ROLAND e BUETOW, 2000).

Andersen (1995) utiliza o termo acesso potencial para definir a presença dos elementos necessários que capacitem a execução de um determinado serviço. Portanto, o acesso potencial caracteriza-se pela presença de fatores capacitantes e será diretamente afetado por elementos que limitam o uso destes serviços, sendo o acesso geográfico um destes fatores. Quanto mais presentes estiverem os fatores capacitantes e menores forem as barreiras para este acesso, maior será a probabilidade de uso do sistema de saúde ocorrer. Por outro lado, o uso em si não é explicado apenas pelos fatores capacitantes, devemos levar em consideração características demográficas, estrutura social e a própria percepção e crença do usuário a respeito das práticas

de saúde como determinantes do uso do serviço de saúde. Para Andersen (1995), os fatores capacitantes são apenas parte da fórmula, sua ausência denota a possibilidade de que o usuário pode não estar usando o sistema de saúde em virtude da presença de barreiras, o que indica, neste caso, a existência de inequidade no acesso à saúde.

Este debate torna-se especialmente relevante quando observamos no modelo de mutabilidade de Andersen que o componente “Fatores Capacitantes” tem maior propensão à mudança (mutabilidade) que componentes como características demográficas, estrutura social ou percepção e crenças, sendo, portanto, um fator chave para a constituição de políticas públicas que precisam agir sobre a redução de equidade de acesso de maneira rápida. Grosseiramente falando, em alguns casos, é muito mais rápido e prático instalar uma unidade de saúde e fortalecer as ações de atenção básica em uma região socialmente vulnerável do que tentar elevar sistematicamente toda renda e educação desta comunidade.

Penchansky e Thomas (1981) entendem ‘acesso’ como o grau de ajuste entre o sistema de saúde à dimensões como disponibilidade, acessibilidade, acolhimento e capacidade de compra. A atribuição do acesso geográfico como componente da avaliação do acesso aos serviços de saúde é componente da dimensão ‘acessibilidade’, sendo definida como a relação da localização da oferta do serviço de saúde com a população cliente deste serviço. Elementos capacitantes, como recursos de transporte disponíveis e tempo de deslocamento até o estabelecimento de saúde, são componentes preditores da relação de acessibilidade. Esta acessibilidade, portanto, representa a cobertura quanto a disponibilidade do acesso físico aos serviços e recursos de saúde para a população, sendo entendido aqui como cobertura da acessibilidade e tendo importante papel ao determinar a existência de barreiras para o acesso aos primeiros cuidados em saúde (HUERTA e KALLESTAL, 2012). Na dimensão da disponibilidade, Penchansky e Thomas (1981) descrevem a relação de ajuste entre a oferta de recursos de saúde às necessidades de uma dada população, descrevendo aqui uma relação entre volume de recursos oferecidos e volume de recursos necessários (ou potencialmente necessários se estivermos no plano do acesso potencial).

É relevante observar que, embora o conceito acesso seja multidimensional, a acessibilidade geográfica é, em si, um elemento importante para estudo isolado visto que a disposição geográfica do serviço é compreendido em vários estudos como fator determinante do uso de serviços de atenção básica (ABBAS e WALKER, 1986; HUERTA e KALLESTAL, 2012; FEIKIN *et al*, 2009).

Embora o acesso potencial seja relevante, por ser sensível a fatores capacitantes que ajudam a determinar o uso do serviço de saúde, ele em si não é suficiente para determinar o uso de fato deste serviço. Andersen (1995) descreve este ‘uso de fato’ utilizando o conceito ‘acesso realizado’, postulando que esta variável incorporará os fatores predisponentes (características demográficas, imperativos biológicos, estrutura social, etc), fatores capacitantes e as necessidades de saúde do indivíduo. Assim, o ‘acesso potencial’ poderia ser medido pelo uso de fato do serviço saúde, isto é, ‘acesso realizado’, enquanto o ‘acesso realizado’, pelo uso efetivo, ou seja, que resulte em melhoria da condição de saúde do indivíduo e de sua satisfação com o uso do sistema de saúde.

Este trabalho utiliza ‘acessibilidade’ para representar a dimensão do ‘acesso geográfico’ e ‘acesso potencial’ como conceitos intercalados, representando o potencial de uso deste serviço ou de um dado volume de recursos em função da existência ou ausência de barreiras espaciais.

A análise da acessibilidade geográfica e o acesso potencial aos serviços de saúde, tal como a relação desta demanda potencial com o volume de recursos existente no sistema de saúde é objeto de vários estudos que aplicam técnicas de análise de dados geográficos com a distribuição de recursos de saúde dentro de um território. Guagliardo (2004) nos apresenta com um comparativo das técnicas mais utilizadas com destaque para:

- i. *Provider-to-population ratio*: técnica utilizada mais frequentemente pela sua simplicidade e fácil interpretação dos dados. Em geral, não requer conhecimento profundo em técnicas ou ferramentas de processamento espacial. É baseada na razão entre um recurso (numerador) e uma população restrita pelas bordas da região analisada (denominador). Embora esta técnica seja bastante empregada devido à sua simplicidade, apresenta limitações. Primeiro, não considera o aspecto de deslocamento entre bordas, ou seja, quando acontece mobilidade da população entre as bordas da área analisada ocorre uma mudança na dinâmica da relação ‘recurso / população’ (exemplo, capitais e áreas metropolitanas). Uma segunda limitação é o fato deste tipo de medida ignorar variações de acessibilidade geográfica dentro das bordas, ignorando, deste modo, condições de desigualdade do acesso aos recursos de saúde.

- ii. *Travel impedance to nearest provider*: Método intuitivo que estima a distância da residência de uma população, ou do centroide de uma área populacional, até o recurso de saúde ou estabelecimento de saúde mais próximo. Em geral este tipo de análise utiliza o conceito de impedância de deslocamento atribuindo um custo de deslocamento para a distância, que pode ser medida em função de uma linha reta (distância Euclidiana) ou deslocamento pela malha de ruas.

- iii. *Average travel impedance to provider*: Enquanto o ‘*Travel impedance to nearest provider*’ considera apenas o provedor mais próximo, esta métrica considera todos os provedores da área analisada, sendo, portanto mais adequado para áreas urbanas aonde existe uma grande concentração de recursos de saúde e, portanto, podendo atuar como uma métrica de acessibilidade e disponibilidade. Guagliardo alerta um problema típico desta métrica, recursos de saúde localizados na borda são tratados com a mesma importância que recursos próximos do centroide populacional, gerando, portanto, distorções nos resultados de acessibilidade geográfica.

- iv. *Gravity Model*: Tal como o ‘*Average travel impedance to provider*’, este modelo também é uma combinação de métrica de acessibilidade e disponibilidade, relacionando cada centroide populacional com cada um dos recursos disponíveis dentro da área delimitada para análise. A principal diferença do ‘*Gravity Model*’ é introduzir parte do modelo gravitacional newtoniano para dentro da fórmula, desta maneira, aplica-se um coeficiente de decaimento (ex. custo de deslocamento entre os pontos) que reduzirá o peso dos recursos mais distantes na acessibilidade espacial calculada do centroide populacional.

Redes de Atenção

As redes de atenção à saúde foram normativamente pactuadas no Brasil por meio da Portaria 4.279/2010 do Ministério da Saúde e representam organizações temáticas vinculadas numa missão comum e ação cooperativa para oferta contínua e integral de serviços de saúde

para uma determinada população (MENDES, 2011). Segundo o Conselho Nacional de Secretários de Saúde – CONASS, as redes de atenção são constituídas por três elementos: sua população adscrita, sua estrutura operacional e recursos, e seu modelo de atenção à saúde (BRASIL, 2015b).

O primeiro elemento constitutivo das redes de atenção, a população, pode ser diretamente entendido como a população cadastrada e vinculada às unidades de atenção básica, e sob sua responsabilidade. Esta população é organizada em função das regiões de saúde, do ponto de vista do planejamento das ações de saúde, e num nível granular, em setores censitários sob a ótica da atividade de recenseamento promovida pelo IBGE. A estrutura operacional, segundo elemento constituinte das redes de atenção, manifesta-se pelos nós da rede e suas ligações materiais e imateriais entre estes diferentes nós. Estes nós podem ser entendidos como a própria estrutura de atenção básica, as unidades que constituem os demais pontos de atenção, sua estrutura de comunicação, seus sistemas de apoio (sistemas de informação, apoio diagnóstico, teleassistência, etc), governança e sistemas logísticos (BRASIL, 2015b).

Por último, os modelos de atenção representam o terceiro elemento constitutivo das redes de atenção e são entendidos como suas articulações lógicas que organizam o funcionamento da rede e podem variar em função das características demográficas, epidemiológicas e dos determinantes sociais da saúde podendo ser classificados como modelos de atenção a eventos agudos e modelos de atenção às condições crônicas. (BRASIL, 2015b).

. No contexto desta pesquisa, as redes de atenção à saúde, normativamente estabelecidas ou não, foram objeto indireto de observação. A presença das redes está relacionada aos padrões de oferta de serviços utilizados durante a análise e representados através da malha destes serviços e suas interconexões com setores censitários pela afinidade da distância geográfica. Assim, como poderá ser visto na metodologia proposta, uma rede de atenção pode representar um padrão de escolha (critério de seleção dos dados) para desenvolvimento de uma perspectiva de análise dos serviços e recursos da rede de saúde.

CNES, Setores Censitários e Vulnerabilidade Social

O CNES tem a missão de ser o cadastro nacional dos estabelecimentos de saúde, sejam estes públicos, privados ou conveniados, seja pessoa física ou jurídica e tem como objetivo

estabelecer o controle sobre a infraestrutura desses estabelecimentos, dando visibilidade ao potencial assistencial brasileiro enquanto opera como um instrumento de gestão e tomada de decisão (BRASIL, 2018a). O CNES centraliza informações a respeito da rede de saúde, seus recursos e serviços oferecidos e tem, sob a responsabilidade dos gestores da saúde, a atualização cadastral das informações.

Os setores censitários representam uma peça importante da operação censitária por representar a unidade territorial estabelecida para o controle cadastral. Cada setor é constituído por uma área contínua em território rural ou urbano. Sua dimensão e número de domicílios visam organizar o território de levantamento de um recenseador (BRASIL, 2018b).

O setor censitário oferece um corte territorial granular dentro do espaço definido pela região de saúde, permitindo estabelecer relações mais próximas entre a localização dos estabelecimentos de saúde e a realidade socioeconômica agregada dentro deste setor, alcançando assim, uma visão mais detalhada da distribuição da rede de saúde em função das dezenas de variáveis coletadas pelo censo (BRASIL, 2018b).

A relação setor censitário e estabelecimento de saúde reflete, portanto, uma relação direta entre a distribuição da atenção básica e os determinantes sociais objetivamente descritos no CENSO. Tais determinantes são fundamentais para compreendermos as condições de saúde destas regiões e de suas respectivas comunidades. Além disso, fatores antecedentes como a inexistência de infraestrutura de esgoto e abastecimento de água representam, mesmo hoje, condições que integram a realidade de saúde destas comunidades (STARFIELD, 2004). O CENSO de 2010 nos oferece, portanto, uma oportunidade de análise da cobertura da atenção básica em função de uma gama de características socioeconômicas e ambientais sobre recortes granulares da população, permitindo uma visão da distribuição da vulnerabilidade social dentro do espaço territorial do município e das regiões de saúde.

O conceito de vulnerabilidade e sua derivação objetiva nas variáveis do CENSO não é novo. O Instituto Pesquisa Econômica Aplicado (IPEA) através de seu Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros (BRASIL, 2015a) expressa seu índice através de indicadores que traduzem o acesso, ausência ou insuficiência de determinados ativos que deveriam estar à disposição dos cidadãos. Portanto, uma região vulnerável materializa-se objetivamente pela ausência, insuficiência ou falta de acesso a estes determinados ativos. Deste modo, a vulnerabilidade no IPEA se traduzirá pela deficiência na oferta de serviços em três dimensões: Infraestrutura Urbana, Capital Humano, Renda e Trabalho.

Drachler *et al* (2014) também desenvolvem e aplicam um índice de vulnerabilidade social com base no CENSO 2010 com o objetivo de criar um indicador que expresse, a partir de informações públicas, as relações entre saúde e sociedade. A ideia da criação de um índice desta natureza buscava equilibrar a distribuição de recursos dos municípios do Rio Grande do Sul em função das necessidades populacionais e orientada no princípio de equidade. Segundo os autores, as variáveis consideradas para cálculo do índice de vulnerabilidade foram as seguintes: percentagem de domicílios com rendimento mensal per capita até meio salário mínimo, percentagem de domicílios não ligados à rede de distribuição de água, percentagem dos domicílios sem coleta de lixo, percentagem de domicílios sem banheiro ou sanitário ligado à rede geral de esgoto ou fluvial, percentagem de analfabetismo entre pessoas com mais de 15 anos de idade e, por último, densidade demográfica. Portanto, a utilização do CENSO 2010, como base para a definição de um índice de vulnerabilidade, sugere um alicerce oportuno de análise ao considerarmos que tais dados poderão ser atualizados e comparados longitudinalmente com a aplicação do próximo censo.

Teoria de Redes Complexas

A representação das entidades do CNES e os agregados socioeconômicos dos setores censitários com base na teoria de redes sugere uma oportunidade no campo da análise da complexa relação destas estruturas, além disto, permite a construção de modelos de sobreposição de diversas camadas de dados, ora antes, analisadas de forma fragmentada. Segundo Salton e Macgill (1983), um modelo representado sob a abordagem de redes oferece uma maneira fácil de manipulação e navegação entre diferentes tipos de entidades, característica presente dentro do CNES e especialmente relevante enquanto percebemos uma necessidade evolutiva deste modelo frente a complexidade de dados existente dentro e a ao redor do SUS. Uma representação baseada na teoria de redes oferecerá também uma nova dimensão na análise dos relacionamentos entre as entidades do CNES, CENSO e dos fluxos presentes nas redes de atenção à saúde.

A teoria de redes tem suas raízes na teoria de grafos da matemática, contudo, foi nas ciências sociais e na psicologia que encontrou seu significado mais profundo ao qualificar os elos que unem os indivíduos e organizações, buscando compreender os processos e comportamentos como produtos destas relações (WASSERMAN e FAUST, 1994;

BARABÁSI, 2016). Em 1932 Jacob Moreno desenvolveu uma abordagem metodológica para representar indivíduos e suas respectivas relações sociais conhecida como sociograma (MORENO, 1934). Seu trabalho é o marco do início da sociometria, abordagem percussora da moderna análise de redes sociais. O sociograma de Moreno era uma fotografia de como unidades sociais se relacionavam mutualmente em um plano bidimensional. Um relacionamento entre duas unidades sociais é basicamente representado por uma linha ligando uma unidade a outra (WASSERMAN e FAUST, 1994). Segundo Moreno, os relacionamentos desta rede representavam os fluxos de influência e as relações sociais entre indivíduos. Seu trabalho estabeleceu uma fronteira empírica na compreensão dos nós e elos de uma rede sob o prisma da psicologia social, e através de seu sociograma, o conceito de rede social se materializaria, tornando a estrutura social, até então abstrata, algo tangível (BORGATTI *et al*, 2009).

A teoria de redes posiciona-se, portanto, como uma abordagem que explicitamente tem foco nos aspectos sociais do comportamento dos atores analisados, ou seja, os padrões de formação das redes, manifestada pelos seus relacionamentos e na estrutura derivada destes relacionamentos, além de ser apoiada por fundamentos matemáticos que oferecem abordagens quantitativas próprias de análise (FREEMAN, 1984).

Na área da saúde, a teoria de redes vem sendo aplicada em diversos campos. No plano sociométrico, é possível identificar trabalhos onde o objetivo é mapear os fluxos de comunicação dentro de organizações de saúde evidenciando os processos de decisão ou indivíduos que exercem influência nestes processos, ou ainda, identificar relações pessoais entre membros de equipes de saúde ou identificar fluxo de influência social entre profissionais com diferentes níveis de experiência, as chamadas redes de colaboração (CHAMBERS *et al*, 2012; UDDIN *et al*, 2013). Alguns trabalhos abordam a rede formada pela relação entre os aglomerados populacionais e os serviços de saúde, traçando assim uma relação de acesso geográfico através de informações geoespaciais. Em geral estes trabalhos têm um enfoque na análise da relação espacial com a cobertura de serviços para diferentes perfis populacionais evidenciando a inequidade manifestada nas condições de acesso geográfico das populações mais vulneráveis aos serviços de saúde (OWEN *et al*, 2010; LAW *et al*, 2013; HUERTA e KALLESTAL, 2012)

Mais de 80 anos depois do trabalho de Moreno, a teoria de redes é hoje o coração de diversas soluções do nosso cotidiano, estando presentes em plataformas como Facebook,

Google, entre outras. Barabási (2016) defende que a teoria de redes se define como uma metodologia para compreensão de sistemas complexos, caracterizando sua abordagem em função das seguintes características:

Natureza Interdisciplinar: a teoria de redes oferece uma linguagem comum para representar problemas interdisciplinares, além disto, oferece um arcabouço de métricas que podem ser aplicadas nestes diferentes contextos. Uma mesma métrica que, por exemplo, num contexto social representa indivíduos com maior poder de intermediação entre diferentes grupos de pessoas, num outro contexto, pode representar páginas na internet com maior influência no referenciamento de conteúdo.

Natureza Empírica e orientada aos Dados: Embora tenha na teoria de grafos seu fundamento matemático, a teoria de redes manifesta-se muito além do potencial descritivo dos dados, estabelecendo uma ótica complementar para a compreensão da complexidade através de uma abordagem empírica que busca respostas complexas e com foco voltado para os relacionamentos, suas formações estruturais e seu comportamento emergente.

Natureza Quantitativa: A teoria de redes preserva um formalismo matemático fundamental para a construção de seu arcabouço teórico de técnicas quantitativas e estatísticas. Graças a este formalismo, foi possível o desenvolvimento de ferramentas de análise que simplificaram e popularizaram a utilização de suas técnicas.

Natureza Computacional: As redes sociais digitais, a expansão da internet, a redução do custo de armazenamento de dados, o aumento da taxa de transferência de dados, entre outros fatores, aumentaram sensivelmente a disponibilidade de fontes secundárias nos últimos anos. Somado a este cenário, técnicas de mineração de dados, ferramentas estatísticas e algoritmos computacionais, tem se tornado comum no desenvolvimento de estudos relacionado a teoria de redes, reforçando o caráter computacional desta ciência.

Em relação a seus conceitos fundamentais a análise de uma rede tem como base os seguintes elementos (WASSERMAN e FAUST, 1994):

O ator da rede, entidade, nó ou vértice: representam, em geral, indivíduos, organizações, comunidades, ou grupos diversos, contudo, sem se limitar exclusivamente a representações sociais. Sporn, Tononi e Kotter (2005), por exemplo, apresentam uma descrição estrutural da rede neural humana apresentando as entidades como neurônios e suas conexões como uma matriz de adjacência (representação matricial de uma rede onde as linhas e colunas

representam as entidades, quando uma célula de intersecção de linha e coluna apresenta um valor igual a 1, dizemos que há um relacionamento, se não, o valor é igual a 0). A existência de distintos conjuntos de entidades em uma rede determinará seu número de modos. Uma rede de um modo será uma rede onde todas as entidades pertencem ao mesmo conjunto, podemos observar estruturas deste tipo em uma rede neural ou em uma rede de relacionamentos entre alunos em uma sala de aula. Por outro lado, uma rede de dois ou mais modos é composta por mais de um conjunto distinto de entidades. Uma característica de tais estruturas é a natureza dos relacionamentos entre estes conjuntos, onde o relacionamento se dará entre entidades de diferentes tipos, havendo, portanto, um particionamento da rede. Estruturas com mais de um conjunto de entidades são tratadas por autores como Wilson (1982) e Borgatti e Everett (1997) onde abordam-se formas de modelagem de tais estruturas e a aplicação de métricas próprias para operação sobre estas representações.

Os relacionamentos ou links: é justo apontar os relacionamentos como elemento de maior importância na teoria de redes complexas. Isso se deve ao fato de a perspectiva de análise de rede ser orientada não sobre as entidades, mas sobre a coleção de relacionamentos que as envolve e conecta. Os relacionamentos operam como links entre as entidades, representando empiricamente fluxos de transferência de recursos materiais ou imateriais. Por meio destes relacionamentos é possível observar e analisar a importância das entidades dentro da rede e seu papel nesta estrutura. Outro aspecto relevante é o desafio de modelar sistemas de alta complexidade. Em tais condições, em geral, lidamos com diferentes tipos de interações entre entidades, podendo estas interações representar diferentes dimensões de relacionamentos. Relacionamentos multidimensionais representam um aspecto natural do mundo real, e seus fundamentos são apresentados por Berlingerio, Coscia e Giannotti *et al* (2013). Estes autores definem as dimensões de relacionamento como do tipo implícito e explícito. Relacionamentos implícitos tem caráter indireto e podem manifestar-se pela presença de características comuns entre duas entidades, enquanto que relacionamentos explícitos representam fluxos diretos de troca de informação. Este tipo de arranjo também é abordado por Boccaletti e Bianconi *et al* (2014) e é caracterizado por apresentar diversos canais de conectividade entre as entidades da rede, sendo estas conexões representadas por diferentes categorias de relacionamentos. Peguemos, por exemplo, a relação da população de um setor censitário com a oferta potencial de serviços na rede de saúde, diferentes dimensões de relacionamentos podem ser estabelecidas em função de diferentes temas de construção desta rede de serviços de saúde. Em um recorte

poderíamos ter, por exemplo, uma estrutura dedicada a representar os serviços de urgência e emergência, em um outro poderíamos representar apenas a malha potencial da atenção básica. Para cada uma destas redes, os relacionamentos representariam seus diferentes fluxos, e seus critérios de análise teriam como base diferentes enfoques. No primeiro caso, pesa sobre os relacionamentos conhecer sua impedância de deslocamento e espera-se que as entidades do tipo estabelecimento de saúde tenham uma centralidade muito maior como referência de porta de entrada de urgência e emergência. No segundo caso, espera-se uma capilaridade muito maior na distribuição espacial dos estabelecimentos de saúde, o que levaria a uma menor distância de deslocamento e menor centralidade nestes estabelecimentos, deste modo, teoricamente, diferentes redes de atenção poderiam ter diferentes características estruturais no plano de análise.

Por fim, a teoria de redes oferece um campo de análise de dados e estudo dos fenômenos sociais ou estruturais, que se distingue dos modelos tradicionais de análise. Segundo Wasserman e Faust (1994) esta abordagem oferece ferramentas distintas das usualmente utilizadas para descrever e analisar dados nas ciências sociais. Desta maneira, o foco do estudo será a relação entre os pares de indivíduos, ou entidades, e portanto, tendo como elemento atômico de estudo suas relações. Ao contrário da análise tradicionalmente utilizada na ciência social, onde o foco está na descrição da própria entidade objeto de estudo (BORGATTI *et al*, 2009). Deste modo, este trabalho dará ênfase nas relações, seus atributos e agregações destes relacionamentos enquanto interagindo com as características demográficas presentes no território delimitado para estudo.

Teoria de Redes Complexas – Métricas de Centralidade

Uma das mais básicas métricas utilizadas para descrever a importância de determinados vértices dentro de uma rede é o grau de centralidade. O grau de centralidade mede a importância relativa de um determinado vértice em função do seu número de relacionamentos com demais atores da rede (FREEMAN, 1978). A seguir serão descritas a formulação teórica das métricas e técnicas básicas de análise de centralidade:

Medidas de Centralidade - O estudo da centralidade dentro da teoria de redes tem sido observado em diversos estudos sociais. Beauchamp (1965) utilizou a centralidade para explorar

a estrutura das organizações sugerindo uma possível correlação entre potencial de eficiência organizacional e o índice de centralidade dos nós desta rede, Borgatti *et al* (2009), por sua vez, revisaram os típicos problemas que os cientistas sociais tem tentado explicar utilizando a análise de redes sociais, um rico campo da teoria de redes complexas com ênfase nos fenômenos sociais, com destaque para as medidas de centralidade e sua importância na análise da posição estrutural dos nós de uma rede. A centralidade apresenta-se como métrica que avalia a importância de um nó dentro da estrutura na qual esta inserido (FREEMAN, 1978), portanto, é uma medida orientada ao nó e à sua importância relativa, medida pela quantificação das relações com seus nós vizinhos, permitindo, por exemplo, um enfoque em termos de importância e potencial intermediação da comunicação dentro da rede.

A análise da centralidade de um nó baseia-se em três diferentes propriedades estruturais: o grau de centralidade (*degree centrality*), sua intermediação (*betwensness*) e sua proximidade (*closeness*). A posição estrutural do nó em uma rede tem um número de graus de centralidade em função da soma de todos os relacionamentos deste nó e normalizado pela divisão pela quantidade de todos os relacionamentos possíveis dentro desta rede. Portanto, segundo Freeman (1978), dado um ponto p_k seu grau de centralidade será dado por $C_D(p_k)$ e, sua normalização, $C'_D(p_k)$, conforme a seguir:

$$C_D(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k) - \text{Grau de Centralidade Não Normalizada.}$$

$$C'_D(p_k) = \frac{C_D(p_k)}{n-1} - \text{Grau de Centralidade Normalizado}$$

sendo, n o total de nós desta rede e $a(p_i, p_k) = 1$ se, e somente se p_i e p_k são relacionados entre si e 0 no caso de não haver relacionamento.

Contudo ao trabalharmos com redes bipartidas, ou seja, redes constituídas de dois diferentes conjuntos de nós, o grau de centralidade deverá ser ajustado. Se considerado, por exemplo, uma rede que relacione profissionais de saúde, representados pelo grupo P de nós, e unidades de saúde, representado pelo grupo U de nós, o total de profissionais desta rede será dado por m e o total de unidades será n , desta maneira, o grau de centralidade de um profissional se dará em função do número de relacionamentos deste profissional representado pelo ponto p_p com as unidades de saúde do grupo U. Por sua vez, o grau de centralidade de uma unidade de

saúde se dará em função do número de relacionamentos desta unidade representada pelo ponto p_u com os profissionais do grupo P. Desta maneira, o cálculo do grau de centralidade para redes bipartidas (*two-mode*) se dará por (EVERETTI e BORGATTI, 2005; BORGATTI e EVERETTI, 1997):

Centralidade normalizada dos profissionais de saúde:

$$C'_D(p_p) = \frac{C_D(p_p)}{n}$$

sendo, n o total de nós do tipo unidade de saúde.

Centralidade normalizada das unidades de saúde:

$$C'_D(p_u) = \frac{C_D(p_u)}{m}$$

sendo, m o total de nós do tipo profissionais de saúde.

O grau de centralidade pode ser aplicado também para identificar a importância de grupos de entidades dentro de uma rede, tais grupos podem ser representados por tipos distintos de entidades, ou entidades do mesmo modo, mas que compartilham características comuns ou posições estruturais comuns dentro de uma rede. O grau de centralidade de um grupo de nós será, portanto, calculado em função do número de nós de fora do grupo que mantém relacionamento com algum membro do grupo (EVERETT e BORGATTI, 2005), portanto, dado D sendo o grupo que se deseja calcular a centralidade e N(D) o conjunto de nós que não fazem parte de D, a centralidade normalizada de um grupo D se dará por $C'_D(D)$ podendo ser calculado da seguinte maneira,

$$C'_D(D) = \frac{\sum_{i=1}^n a(p_i D)}{n} \quad p_i \in N(D)$$

Sendo, n o total de nós que não pertencem ao grupo D , e p_i os nós que não fazem parte deste grupo e $a(p_i, D) = 1$ se, e somente se o nó p_i tiver um relacionamento com qualquer nó do grupo D e 0 se não possuir um relacionamento com este grupo.

O grau de centralidade pode também ser balanceado em função de um peso, em geral associado a um atributo do relacionamento, desta maneira, uma rede com peso entre os relacionamentos pode ser representada por uma matriz de adjacência onde os valores entre os relacionamentos são diferentes de zero e um, assumindo, portanto, um valor w_{ik} representando o peso deste relacionamento (NEWMAN, 2004). O que poderia ser, por exemplo, a distância entre um agregado populacional e um estabelecimento de saúde, ou um custo de deslocamento medido em unidade de tempo, etc.

Desta maneira, poderíamos acrescentar o peso às formulações originais de Freeman adicionando o ajuste w_{ik} representando um atributo que balancearia cada relação $a(p_i, p_k)$, ajustando o grau de centralidade $C_D(p_k)$ para:

$$C_D(p_k) = \sum_{i=1}^n w_{ik} a(p_i, p_k)$$

Portanto, o ajuste acima seria reproduzido para as demais formas de cálculo de grau de centralidade, seja baseado em grupo de nós ou redes bipartidas.

A centralidade pela métrica da intermediação (*betweenness*) quantifica o potencial de controle de um nó na intermediação da comunicação entre outros nós de uma rede. Desta forma, segundo Freeman (1978), para calcularmos o potencial de intermediação de um ponto p_k entre dois pontos dados por p_i e p_j precisamos calcular a probabilidade do ponto p_k ser aleatoriamente selecionado como caminho geodésico entre p_i e p_j . Sendo, portanto, $g_{ij}(p_k)$ o número de caminhos geodésicos entre p_i e p_j que passam por p_k . A intermediação de p_k entre p_i e p_j será dado por $b_{ij}(p_k)$:

$$b_{ij}(p_k) = \frac{1}{g_{ij}} \times g_{ij}(p_k)$$

Sendo g_{ij} o número de caminhos geodésicos entre p_i e p_j e $\frac{1}{g_{ij}}$ a probabilidade de se pegar um destes caminhos. O resultado de $b_{ij}(p_k)$ representa a intermediação de p_k entre os pontos p_i e p_j , para que esta métrica represente a intermediação geral de p_k em relação a toda rede e de forma normalizada devemos primeiro calcular intermediação de p_k dentro da rede, dado por $C_B(p_k)$, conforme segue:

$$C_B(p_k) = \sum_i^n \sum_j^n b_{ij}(p_k)$$

Sendo n o número de nós da rede.

Por último, Freeman (1978) descreve o processo de normalização dado por $C'_B(p_k)$ postulando que o máximo valor de $C_B(p_k)$ é alcançado apenas por uma posição estruturalmente equivalente ao ponto central em uma estrutura em forma de estrela, sendo representado pela fórmula de normalização:

$$C'_B(p_k) = \frac{2C_B(p_k)}{n^2 - 3n + 2}$$

Sendo n , o número total de nós da rede.

Embora Everett e Borgatti (2005) postulem extensões das fórmulas originalmente apresentadas por Freeman (1978) para aplicação em redes bipartidas, uma alternativa a esta abordagem seria a projeção da matriz de afiliação para uma rede de apenas um modo, permitindo assim a aplicação das fórmulas originais, contudo, segundo este mesmo autor, projeções de redes bipartidas para redes de um único modo causam uma natural perda de informação ao remover a intermediação original do relacionamento. Por exemplo, uma população num setor censitário tem um relacionamento de acesso potencial com dois estabelecimentos de saúde. O primeiro relacionamento se dá em função do acesso potencial a um serviço A, o segundo relacionamento se dá em função do acesso potencial a um serviço B.

Teoricamente poderíamos projetar um relacionamento entre ambos estabelecimentos de saúde diretamente, buscando representar, por exemplo, o potencial teórico de colaboração na atenção desta dada população, contudo ao fazer esta projeção, o modelo perderá o relacionamento com a população, e portanto, perderá informação.

Por último, a terceira medida de centralidade é a proximidade (*closeness*) que se caracteriza pela soma das distâncias geodésicas de um ponto para todos os outros pontos na rede (FREEMAN, 1978). Deste modo, o cálculo da métrica de proximidade de um ponto p_k se dará pelo somatório das distâncias geodésicas entre p_k e todos os pontos p_i que constituem a rede, sendo representado por $C_C(p_k)$ (FREEMAN, 1978; BEAUCHAMP, 1965):

$$C_C(p_k) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n d(p_i, p_k)}$$

Na sua forma normalizada acrescentamos um dividendo n representando o número de nós da rede, assumindo, portanto, a seguinte formula:

$$C'_C(p_k) = \frac{n - 1}{\sum_{i=1}^n d(p_i, p_k)}$$

O trabalho de Freeman (1978) apresentou um importante marco na caracterização das métricas de centralidade estabelecendo as três métricas descritas até aqui. Este trabalho utilizou parte destas métricas em conjunto com expansões desenvolvidas por Everett e Borgatti (2005, 1997) como base para formulações mais sofisticadas para cálculos de centralidade baseados em relações de grupo ou representações de redes bipartidas.

Autovetor (Eigenvector) e PageRank – O autovetor expande a visão de grau de centralidade ao postular que muitas vezes um conjunto de nós em uma rede assume maior importância por ter conexões com outros grupos de nós onde eles próprios são importantes (NEWMAN, 2010). Portanto, podemos avaliar a importância de um nó criando um índice de segunda ordem calculado com base no número de relacionamentos existentes nos nós diretamente conectado ao nó em análise, desta forma, estabelecendo um peso sobre o grau de

centralidade para cada um destes relacionamentos de entrada, gerando, portanto, um grau de centralidade relativo. Importante notar que, recursivamente, todas as ordens de relacionamento influenciarão no cálculo da centralidade (BONACICH, 1972 e 1987). Por outro lado, o autovetor pode apresentar uma anomalia propagando um alto grau de centralidade aos demais nós de uma rede. Um exemplo concreto seria imaginarmos um site na internet com alto grau de centralidade por receber um número grande de referências, como o que ocorre com um grande jornal ou portal de conteúdo. Não é raro, nesta situação, que este mesmo site referencie inúmeras outras páginas na internet, contudo, seria disfuncional considerarmos que todas estas referências transferissem a mesma importância em termos de centralidade. Como fórmula de ajuste deste comportamento, a métrica de *PageRank* (PAGE *et al*, 1999) introduz como solução a transferência de um peso relativo baseado na razão desta centralidade pelo número de referências, ou conexões de saída deste nó, criando, portanto, uma medida proporcional de propagação desta importância (NEWMAN, 2010). Desta maneira, podemos representar as duas modalidades de autovetor, para situações em que a centralidade dos nós vizinhos pode ser transferida de forma absoluta, utilizaremos o autovetor conforme descrito por Bonacich (1972, 1987), onde o autovetor de um nó p_k será dado pela função $C_E(p_k)$, conforme segue:

$$C_E(p_k) = \sum_{j=1}^n a(p_j, p_k) C_E(p_j) + \beta$$

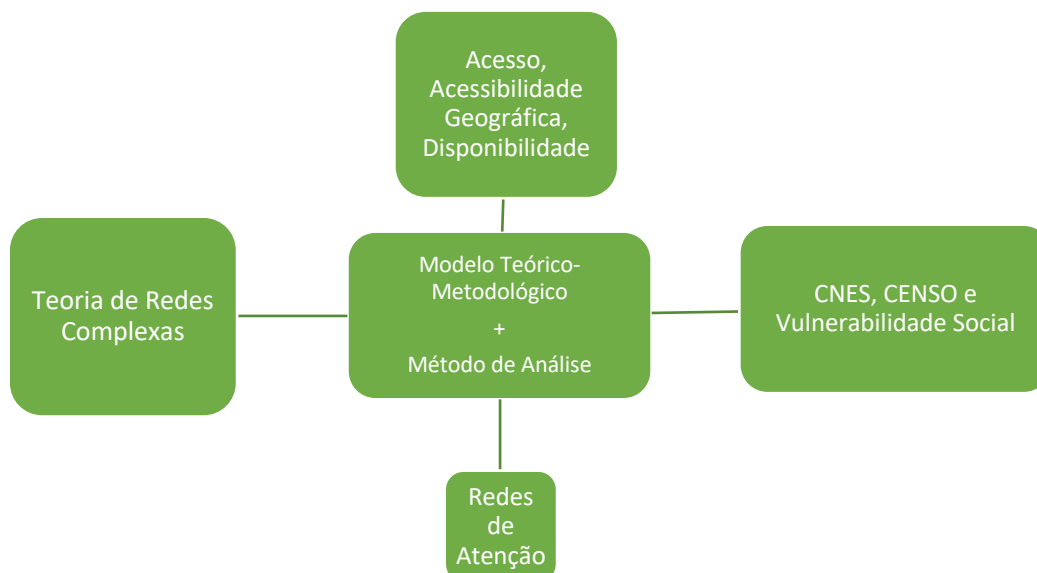
Sendo, β uma constante para evitar que a função seja igual a zero e o nó tenha uma centralidade mínima β , sendo $a(p_i, p_k) = 1$ se, e somente se o nó p_i apresentar um relacionamento com o nó p_k , do contrário o valor será 0, por sua vez $C_E(p_i)$ é a função de autovetor aplicada recursivamente ao nó p_i . No caso em que a importância da centralidade do autovetor for diluída pelas conexões de saída, utilizaremos equação acima descrita adicionando como divisor o número de conexões de saída representado por p_i^{out} sobre a função recursiva, conforme a seguir:

$$C_E(p_k) = \alpha \sum_{j=1}^n a(p_j, p_k) \frac{C_E(p_j)}{p_j^{out}} + \beta$$

Síntese Teórica

A síntese teórica apresentada na figura a seguir representa os 4 principais elementos que foram apresentados até aqui e que figuram como alicerce principal do desenho da metodologia e das práticas de análise utilizadas. Vulnerabilidade Social, CNES e CENSO representam as principais fontes de dados e atributos trabalhados na pesquisa, a Teoria de Redes Complexas, por sua vez, representa a base teórica de como representar e analisar a realidade complexa sob o recorte e ênfase do fenômeno do relacionamento entre os elementos do modelo. Os conceitos de ‘Acesso’, ‘Acessibilidade Geográfica’ e ‘Disponibilidade’ representam os elementos da avaliação dos serviços de saúde que norteiam as técnicas de análise da teoria de redes, como foi citado a pouco, a teoria de redes é interdisciplinar e necessita que sua natureza empírica seja preenchida com outra ciência, neste caso o arcabouço teórico presente dentro da teoria do acesso e suas experiências aplicadas na avaliação de serviços e recursos dentro do plano da acessibilidade e disponibilidade geográfica preenchem este vazio. Por fim, o conceito de ‘Redes de Atenção’ é apresentado como norte de construção da rede, orientando a modelagem e o recorte do sistema de saúde em uma dimensão que possa ser isoladamente observada.

Figura 1 - Síntese Teórica



Fonte: Próprio Autor (2020)

4. MÉTODO

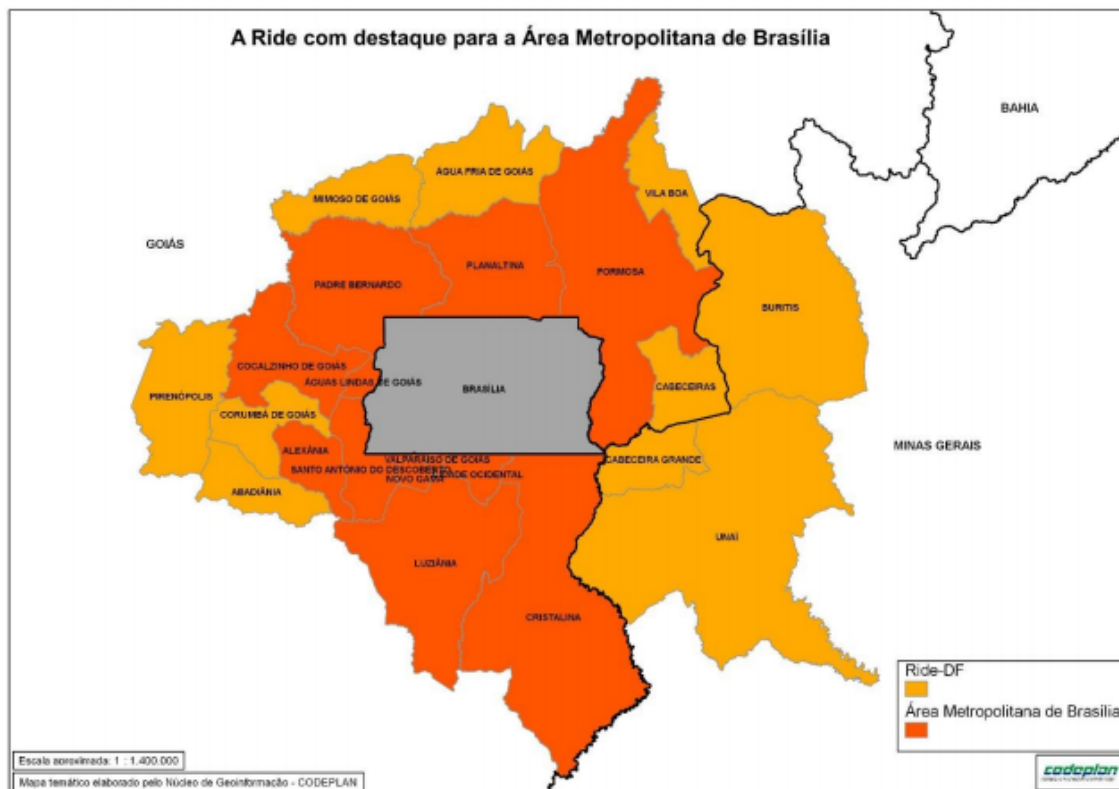
A pesquisa é de natureza aplicada, descritiva, exploratória e quantitativa (GIL, 1994) e buscou, através de uma abordagem empírica indutiva, desenvolver as técnicas de análise e aplicá-las tendo o Distrito Federal como laboratório e utilizando os dados inseridos no CNES de Dez/2017 (primeiro artigo), CNES de Dez/2019 (segundo artigo) e do CENSO 2010 à luz do arcabouço oferecido pela teoria de redes complexas. A pesquisa exploratória se manifestou na investigação das técnicas e teorias no campo de redes que contribuiriam para a análise quantitativa dos dados do CNES. Por sua vez, esta pesquisa se caracterizou também do ponto de vista descritivo devido a aplicação de técnicas quantitativas de descrição dos fenômenos representados pelo modelo construído.

A pesquisa coletou dados secundários em bancos de dados públicos disponíveis na internet. O estudo de redes baseado em fontes secundárias vem tornando-se uma tendência dada a quantidade abundante de dados disponíveis atualmente (EVERETT, BORGATTTI e JOHNSON, 2013). No caso desta pesquisa, este fato é refletido na disponibilidade e publicidade abundante de dados disponibilizado pelo DATASUS, IBGE e Secretaria de Saúde do Distrito Federal. Dito isto, as seguintes fontes de dados foram utilizadas:

- i. O Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (BRASIL, 2018a);
- ii. Os dados agregados por setor censitário do CENSO de 2010 (BRASIL, 2018b);
- iii. Os dados de geolocalização de estabelecimentos de saúde disponibilizados pela Secretaria de Saúde do Distrito Federal (BRASIL, 2018d);
- iv. Os dados de geolocalização de estabelecimentos de saúde disponibilizados pelo serviço on-line de consulta do DATASUS (BRASIL, 2018c);

O recorte espacial utilizado foi a Área Metropolitana de Brasília, conforme instituída pela Nota Técnica 1/2014 da CODEPLAN (Companhia de Planejamento do Distrito Federal), fundamentalmente compreendida pelo Distrito Federal e 12 cidades do entorno localizadas no estado de Goiás (BRASIL, 2014). A decisão por este recorte espacial se deve por trata-se da região de residência do pesquisador e pela qualidade dos dados de localização geográfica dos estabelecimentos de saúde disponibilizados pela Secretaria de Saúde do Distrito Federal.

Figura 2 - Área Metropolitana de Brasília



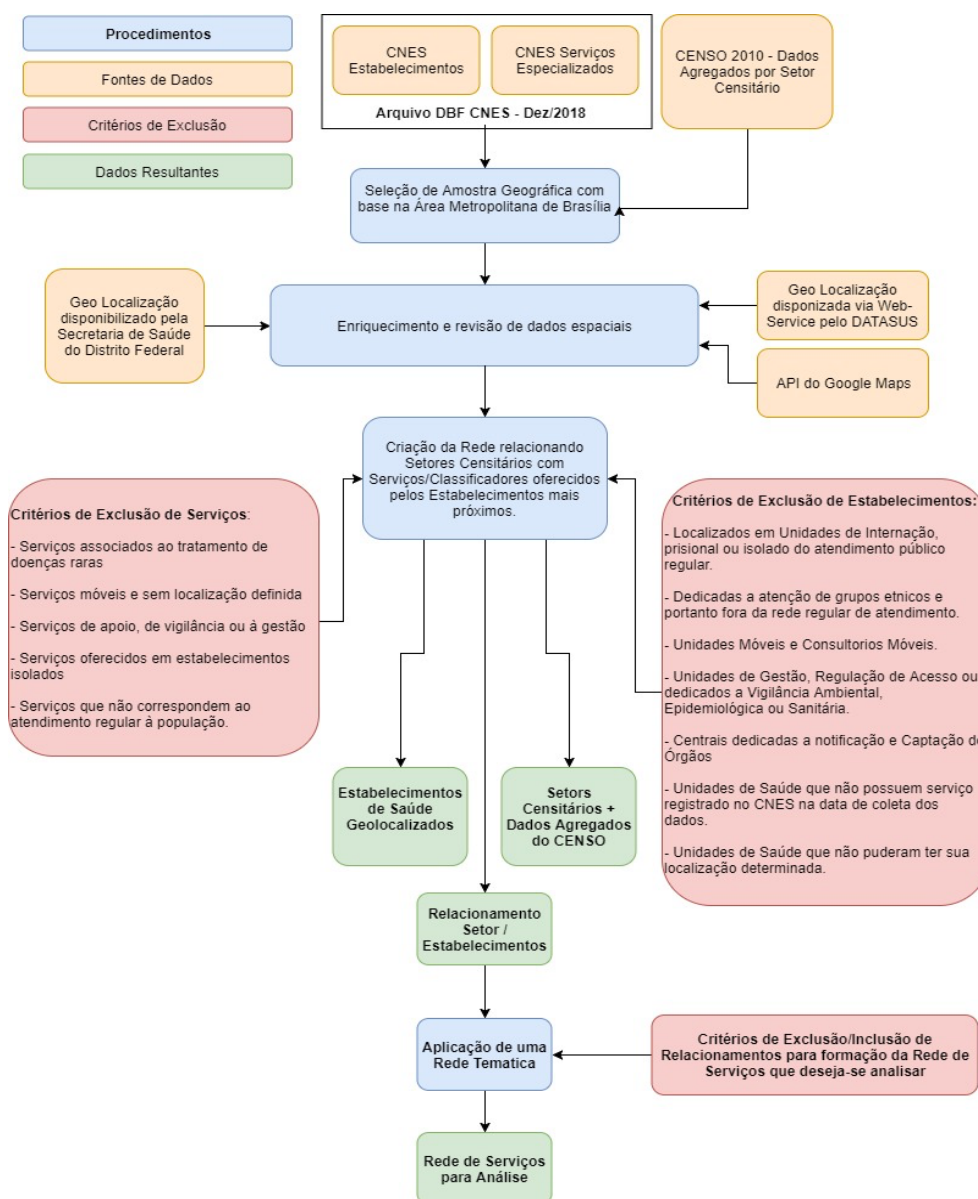
Fonte: CODEPLAN (BRASIL, 2014)

Ao longo do processo de aquisição, transformação e exploração dos dados foi utilizada a plataforma RStudio (RSTUDIO TEAM, 2015) com base na linguagem R (R CORE TEAM, 2020) com o objetivo de preparação dos dados e cálculo das métricas de rede. Todo o processamento de dados geoespaciais foi desenvolvido utilizando algoritmos na linguagem Java desenvolvidos pelo próprio pesquisador. O resultado do processo de preparação dos dados é a malha-base da rede, composta pelo relacionamento de todos os setores censitários com pelo menos um recurso ou serviço/classificador, conforme descrito e disponível nas bases do CNES. As projeções para exploração visual da rede foram realizadas utilizando Gephi (BASTIAN, HEYMANN, JACOMY, 2009).

Formulação da Malha-Base da Rede

A fim de estabelecer as bases teóricas metodológicas que orientariam o processo de construção e análise da rede, foi desenvolvido e publicado um primeiro artigo que tinha como objetivo definir estes princípios e experimentá-los em uma rede temática construída com base na oferta de serviços presente na rede de atenção básica. Os tópicos a seguir descrevem os passos de preparação e montagem desta rede e a figura 3 sintetiza todo o processo.

Figura 3 - Diagrama do processo de coleta de dados e montagem da rede



Fonte: Próprio Autor (2020)

- i. Criação de uma base de dados de estabelecimentos de saúde pertencentes a AMB com base nos dados do CNES de dezembro de 2018. Foram adicionados também os estabelecimentos de saúde pertencentes a municípios adjacentes aos 12 municípios do Goiás membros da AMB. Esta região foi denominada ‘zona de escape’ da rede e tem o objetivo eliminar o viés descrito por Fortney, Rost e Warren (2000) como ‘*border cross problem*’ e que é caracterizado pela baixa acessibilidade de espaços geográficos localizados na borda da região estudada.
- ii. Complementação dos dados de latitude e longitude do CNES com dados oriundos da Secretaria de Saúde do Governo do Distrito Federal (BRASIL, 2018d).
- iii. Para as unidades de saúde que não possuíam geolocalização, foi criado um *script* na linguagem R para pesquisa na ferramenta *online* Google Maps (GOOGLE, 2020), baseado nas informações de endereço disponíveis no cadastro CNES.
- iv. Para cada geolocalização resolvida na pesquisa do Google Maps foi realizado um processo de triagem e verificação baseado nos seguintes critérios:
 - a. Para cidades de mais de 100.000 habitantes, verificou-se se a geolocalização resolvida pelo Google Maps refere-se, pelo menos, ao bairro designado pelo endereço, para as demais cidades, verificou-se se é referente à área do município.
 - b. Para unidades rurais que não possuíam a geolocalização indicada na base do CNES, e que não puderam ser encontradas no mapa utilizando-se o Google Maps, foi realizada uma visita física ao local.
- v. Das unidades localizadas, foram removidas as que se enquadrassem nos critérios de exclusão (Figura 3), restando 914 estabelecimentos (1,4% das unidades foram removidas pelos critérios de exclusão). A lista de estabelecimentos encontra-se publicada em http://rpubs.com/costa_/estabelecimentos, espaço online construído pelo autor para navegação dinâmica.

O processo de construção da rede de relacionamentos foi baseado na distância euclidiana de cada setor censitário com a localização de cada estabelecimento de saúde, formando tantas dimensões quanto fossem necessárias para análise. Por exemplo, no caso do primeiro artigo publicado nesta pesquisa, cada relacionamento estava associado a presença de um dado serviço/classificador, o que levava, portanto, a possibilidade de vários relacionamentos entre o setor e o estabelecimento de saúde (um relacionado para cada serviço de saúde oferecido

baseado no registro do CNES). A sobreposição resultante tinha como resultado 73 dimensões, aonde cada uma representava um distinto classificador que poderia ser agrupado em 27 tipos de serviço, a seleção destas dimensões e a definição de uma rede temática de serviços representa o marco da definição do escopo de análise. No caso do segundo artigo, a relação estaria relacionada com a presença de um tipo de recurso, deste modo, cada tipo de recurso selecionado para análise poderia gerar um diferente relacionamento entre as entidades, a seleção dos tipos de recursos que seriam analisados determina o escopo de análise, e neste caso, foram escolhidos os recursos indicados como críticos na literatura para tratamento do COVID-19.

Embora o modelo utilize a distância euclidiana como uma variável *proxy* para a real impedância de deslocamento, o que representa uma evidente simplificação no modelo, esta métrica tem direta correlação com a distância percorrida na malha viária, podendo, portanto, ser ajustada caso um modelo médio de custo de deslocamento seja conhecido. Jones *et al* (2010) apontam que a diferença entre o deslocamento na malha viária e a distância euclidiana tendem a se tornar menor em áreas de maior urbanização e com reduzidos acidentes geográficos. Fortney, Rest e Warren (2000) confirmam este ponto ao compararem diferentes técnicas de medida de acesso geográfico destacando similaridade, em termos de acurácia, da distância euclidiana e a distância obtida através de ferramentas de cálculo de navegação na malha de estradas e rodovias. Portanto, a utilização da distância euclidiana para regiões metropolitanas com reduzido impacto de acidentes geográfico sugere uma abordagem simples e com baixo custo computacional, técnica regularmente utilizada no campo de estudo de acesso geográfico na área de saúde (JONES *et al*, 2010; HIGGS, 2009)

Por este estudo operar em uma área urbana, onde a existência de um congestionamento de oferta de serviços e recursos similares entre diferentes unidades de saúde é um fenômeno esperado, o modelo de relacionamento assumiu uma faixa de tolerância de 20% em relação à distância mínima do relacionamento. Esta prática visou construir uma coleção de opções de acessibilidade geográfica para um determinado serviço ou recurso oferecido por cada estabelecimentos de saúde com distâncias similares, aspecto debatido por Guagliardo (2004) como ponto de atenção da métrica de proximidade dos provedores mais próximos em áreas urbanas. O valor de tolerância é uma variável configurada no modelo, quanto maior o seu valor, maior a área de captura de serviços/classificadores similares na oferta potencial.

O último passo da montagem da malha-base da rede é a aplicação dos critérios de seleção dos relacionamentos, a fim de atribuir um tema à rede constituída e, desta maneira,

isolar a dimensão destes relacionamentos em um escopo que faça sentido para análise. Por exemplo, se o objetivo da rede é analisar a cobertura de serviços associados à atenção básica (como foi feito no primeiro artigo) um critério de seleção deverá ser feito a fim de identificar esta rede de atenção dentro dos parâmetros de oferta de serviço e classificadores. Nesta pesquisa foram desenvolvidas duas seleções temáticas, uma com enfoque nos serviços e classificadores da atenção básica e outro com base na oferta e distribuição de recursos críticos para o tratamento de COVID-19.

Por se tratar de pesquisa baseada em dados secundários e de domínio público, este projeto não foi submetido ao Comitê de Ética de Pesquisa, conforme os termos da resolução 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

A seguir serão detalhadas as formulações matemáticas e métricas utilizadas para as análises realizadas nos artigos.

Formulação das Métricas de Análise da Rede de Serviços de Saúde

A análise da rede apoiou-se na distância entre os vértices e a centralidade como ferramentas para avaliar a importância relativa dentro da estrutura da rede de serviços de saúde. O grau de centralidade mede a importância relativa de um determinado vértice em função do seu número de relacionamentos com demais atores da rede (FREEMAN, 1978). Desta maneira, o grau de centralidade de um estabelecimento de saúde reflete a quantidade de setores censitários que tem este estabelecimento como mais próximo na oferta potencial de um determinado serviço/classificador.

Como o primeiro artigo buscava apresentar e analisar uma rede de forma simplificada, com o objetivo de explicar uma aplicação do modelo teórico metodológico, cada setor censitário foi representado com o peso de 1 (um) na contribuição geral da centralidade, aplicando-se, assim, um princípio de indiferença quanto a importância de cada setor na análise desta rede. No segundo artigo, no entanto, cada setor censitário fora atribuído com um diferente peso que corresponde à sua população e vulnerabilidade social relativa dentro do território.

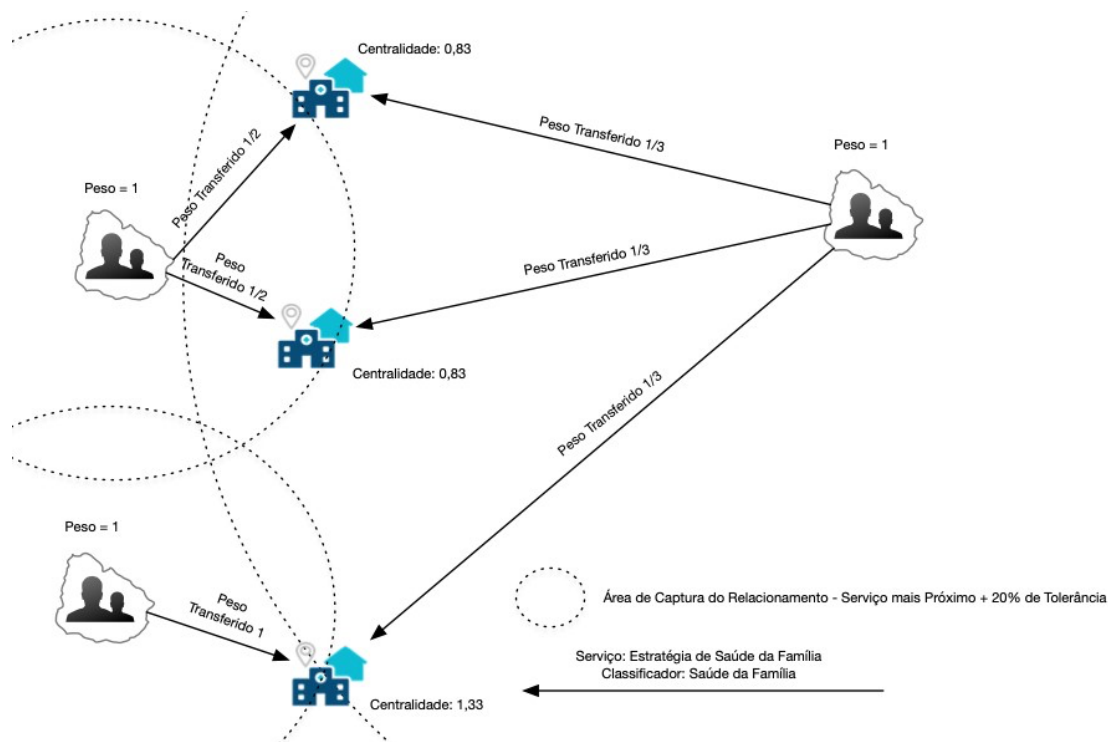
Para o cálculo de centralidade optou-se pela utilização da métrica de *PageRank* (PAGE *et al*, 1999) por estabelecer um equilíbrio entre a oferta potencial e a disponibilidade do serviço. Duas abordagens de centralidade foram utilizadas, primeiro foi aplicado sobre vértices

individuais e, em seguida, para análise de grupos de vértices da rede, ou seja, que apresentem características comuns (EVERETT e BORGATTI, 1999). Desta forma, a centralidade por *PageRank* de um estabelecimento de saúde p_k será dado por $C_{PR}(p_k)$ conforme a formulação:

$$C_{PR}(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k) \frac{C_{PR}(p_i) + \beta}{p_i^{out}}$$

Sendo $a(p_i, p_k) = 1$ se, e somente se o vértice p_i (um setor censitário) apresentar um relacionamento com o vértice p_k (um estabelecimento de saúde), do contrário o valor será 0, por sua vez $C_{PR}(p_i)$ é a função de *PageRank* aplicada recursivamente ao nó p_i , o que, neste caso, será sempre 1 pois os setores censitários não recebem relacionamento, apresentando centralidade por *PageRank* igual a zero, e desta forma, é aplicado uma constante β de valor 1, representando o peso constante e indiferente deste setor. Em seguida dividimos a centralidade do peso β pelo total de conexões de saída do setor censitário, representando aqui a situação em que um mesmo setor tem diferentes opções de acesso ao serviço em distâncias similares dentro do parâmetro de tolerância. Para o cálculo da centralidade de *PageRank* para grupo de vértices será usada a definição de Everett e Borgatti (1999) sumarizando o número de relacionamentos de p_i para com p_k , sendo, neste caso, p_k o conjunto de estabelecimentos que se deseja medir a centralidade.

Figura 4 - Centralidade - Peso Indiferente



Fonte: Próprio Autor (2020)

Formulação das Métricas de Análise da Rede de Recursos

A formulação empregada no segundo artigo produzido nesta pesquisa teve como base os conceitos já utilizados no primeiro, acrescentando dois aspectos novos. Primeiro, os setores censitários não teriam mais um peso mutuamente indiferentes de valor constante igual a 1 (um), ao contrário disto, a cada setor seria atribuído um peso populacional e um peso relativo de vulnerabilidade social para esta população. O uso da métrica de vulnerabilidade tinha como objetivo identificar e analisar disparidades na distribuição dos recursos, deste modo, buscando-se compreender a realidade de acesso e disponibilidade de recursos entre diferentes condições de vulnerabilidade no território. O segundo aspecto novo empregado na modelagem da rede foi a regra de constituição dos relacionamentos, enquanto no primeiro artigo os relacionamentos são estabelecidos na procura pelo provedor mais próximo de um dado Serviço/Classificador e todos os demais provedores dentro da área de captura de tolerância de 20%, o segundo artigo acrescentou a este algoritmo uma relação de equilíbrio entre uma demanda simulada e a quantidade de recursos disponível para o SUS presente em cada estabelecimento de saúde.

Para cálculo da vulnerabilidade social relativa dentro do território da AMB foi utilizado o modelo criado por Drachler *et al* (2018), chamado IVS-5, que se apresentou como ferramenta adequada por utilizar métricas presentes no CENSO 2010 (portanto, recalculáveis micro regionalmente utilizando os setores censitários) e capturar características básicas de carência de infraestrutura que normalmente se destacam dentro do contexto urbano. O primeiro passo para o cálculo do IVS-5 foi identificar o percentual de carência de cada um dos seus indicadores base, em seguida, foi atribuído a cada setor censitário um IVS equivalente ao número de desvios padrão em escore Z, acima e abaixo da média dos 5.616 setores utilizados no estudo (186 setores foram descartados devido à ausência de dados, correspondendo a 3,2% do total de setores).

A modelagem do acesso geográfico e disponibilidade dos recursos críticos foi baseado no relacionamento partindo dos setores censitários para as unidades de saúde considerando o cenário aonde 1% da população do setor demandasse este recurso. Portanto, partindo de cada setor censitário, o algoritmo de relacionamento buscou os estabelecimentos de saúde mais próximos que possuíssem a quantidade de recursos equivalente ou maior que a demanda potencial do setor. Por exemplo, se um setor censitário possuir 1.000 moradores, este setor demandaria 10 unidades dos recursos (1% da população). Se, num raio de 2.500 metros, fossem encontrados 3 estabelecimentos de saúde, com a soma dos recursos disponíveis destes estabelecimentos maior ou igual a demanda potencial do setor censitário, entende-se que esta demanda foi atendida e a busca do algoritmo se encerra.

A métrica de centralidade utilizada para estabelecer a importância dos estabelecimentos de saúde, em função de relação entre demanda potencial e recursos, é baseada na métrica de *PageRank* da teoria de redes. Assim, o cálculo de centralidade de um vértice p_k (um estabelecimento de saúde), ou de um grupo de vértices de estabelecimento de saúde correlacionados (do mesmo tipo estabelecimento), se dará sob a seguinte formulação:

$$C_{PR}(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k) \frac{C_{PR}(p_i) + (p_i^{IVS} * p_i^{Pop})}{p_i^S} p_k^S$$

$$p_i^S = \sum_{j=1}^n a(p_i, p_j) p_j^S$$

Sendo $a(p_i, p_k) = 1$ se, e somente se o vértice p_i (um setor censitário) apresentar um relacionamento com o vértice p_k (o estabelecimento de saúde ou o grupo de vértices em análise), do contrário será igual a 0, indicando que não há relacionamento entre p_i e p_k . Para

cada relacionamento de p_k com p_i (um setor censitário do vetor de relacionamentos), p_i terá os seguintes atributos:

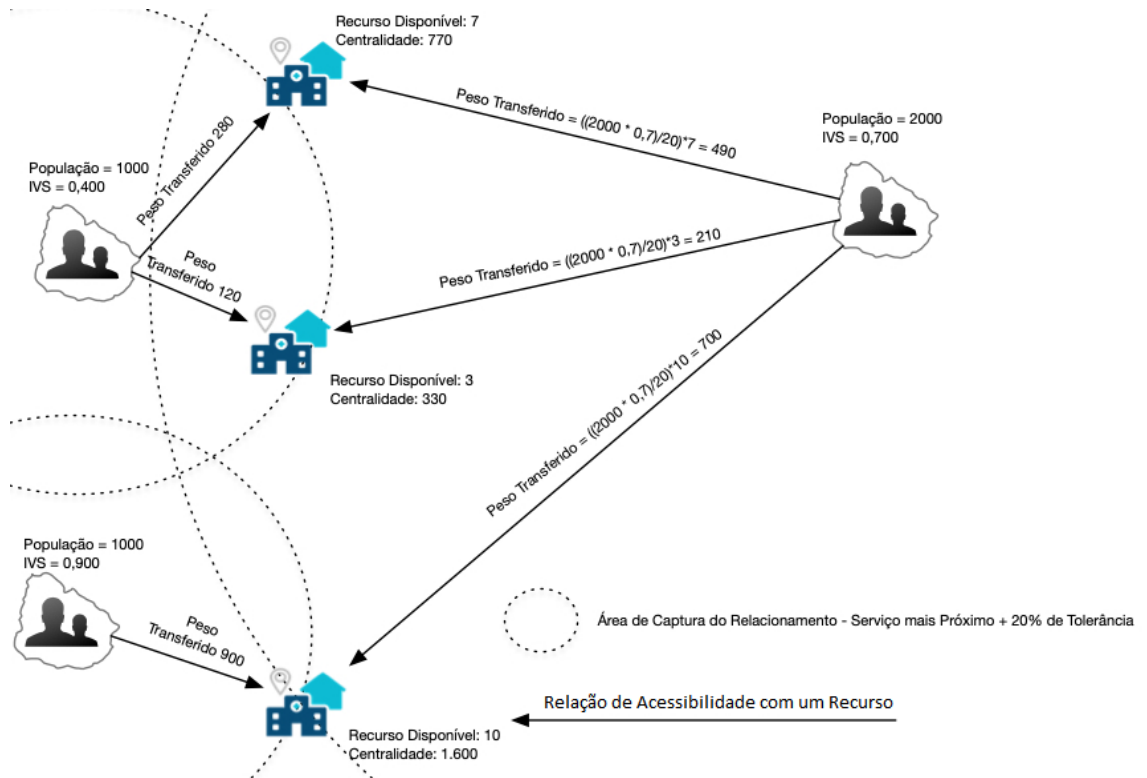
p_i^{IVS} = Indicador de Vulnerabilidade social do setor p_i , quando calculado com este componente estamos avaliando a importância do estabelecimento de saúde para população vulnerável, quando removemos estamos considerando a população como um todo.

p_i^{Pop} = População de Moradores do setor p_i

p_i^S = Disponibilidade Total de Recursos para o Setor p_i , ou seja, o somatório de recursos disponíveis em todos os estabelecimentos de saúde que se relacionam com o setor censitário p_i . Este valor é dado pela função somatória da função de relacionamento $a(p_i, p_j)$, onde, mas uma vez, o resultado será 0 ou 1, e a quantidade de recursos p_j^S existente em cada estabelecimento de saúde representado por p_j .

Por último, a variável p_k^S representa o total de recursos disponíveis no estabelecimento (ou conjunto de estabelecimentos) p_k , em análise. Portanto a centralidade, ou a medida de importância de um estabelecimento no provimento destes recursos, se dará na relação de população do setor censitário, dividida pelo total de recursos disponíveis para aquele setor (dentro da regra de relacionamento por proximidade) e multiplicado pela quantidade de recursos disponíveis no estabelecimento em análise. O componente $C_{PR}(p_i)$, por sua vez, representa centralidade do autovetor, que opera de forma recursiva na fórmula, caso o setor censitário tenha relacionamentos, para esta formulação, representará uma constante de valor igual a 0, visto que não existem relacionamentos de entrada nos setores censitários.

Figura 5 - Centralidade - Peso Popacional e Disponibilidade



Fonte: Próprio Autor (2020)

5. RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa serão apresentados na forma de dois artigos científicos. O primeiro artigo descreve as bases teórico metodológicas empregadas na construção e análise da rede apresentando um modelo simples de análise. Este artigo, denominado ‘Modelo Teórico-Metodológico baseado na Teoria de Redes Complexas para Análise da Oferta Potencial de Serviços de Saúde’ (COSTA, BARRETO, SAMPAIO, 2020), foi aceito para publicação pelo periódico Ciência e Saúde Coletiva e encontra-se publicado em ‘*ahead-of-print*’ no momento de escrita deste documento. O segundo artigo, denominado ‘Como estávamos antes? Uma análise da oferta potencial e desigualdade de acesso geográfico à recursos críticos para o tratamento de COVID-19’, foi submetido para o mesmo periódico e encontra-se em revisão pelos pareceristas.

Artigo 1 – Modelo Teórico-Metodológico baseado na Teoria de Redes Complexas para Análise da Oferta Potencial dos Serviços de Saúde.

TÍTULO

Modelo Teórico-Metodológico baseado na Teoria de Redes Complexas para Análise da Oferta Potencial dos Serviços de Saúde.

Theoretical-methodological model based on the complex network theory for the analysis of the potential supply of health services.

RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar um modelo teórico-metodológico como base para a análise da oferta potencial de serviços de saúde pública brasileira a partir de uma abordagem baseada na teoria de redes complexas. O modelo analisou a oferta potencial de serviços de saúde através da relação da distância euclidiana entre setores censitários e serviços/classificadores oferecidos pelos estabelecimentos de saúde, conforme definidos no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES). São propostos dois tipos de métrica para análise dos relacionamentos: a distância média dos serviços de saúde para com os setores censitários e a importância da unidade de saúde na oferta potencial de cada tipo de serviço com base na centralidade e na disponibilidade deste serviço. Para demonstrar a aplicação do modelo foi construída uma rede com base na Área Metropolitana de Brasília, incluindo o Distrito Federal e 12 Municípios do entorno. O modelo demonstrou-se capaz de mapear e analisar os dados do CNES com os setores censitários definidos no CENSO, abrindo a possibilidade de construção de novas óticas de análise na compreensão da distribuição potencial de recursos e serviços em função de variáveis socioeconômicas, bem como, uma importante ferramenta de gestão informada por evidências.

Acesso aos Serviços de Saúde, Assistência à Saúde, Saúde Pública, Ciência de Dados, Redes Complexas

ABSTRACT

The purpose of this article is to present a theoretical-methodological model as the basis for the analysis of the potential offer of Brazilian public health services (SUS) from an approach based on complex network theory. The model sought to analyze the potential provision of health services through the relationship of Euclidean distance between census sectors and services offered by health facilities, as defined in the National Register of Health Establishments (CNES). Two types of metrics are proposed for the analysis of the relationship network: the average distance of health services to the census sectors and the importance of the health unit in the potential offer of each type of service based on the centrality and availability of this service. To demonstrate the application of the model, a network was built based in the Metropolitan Area of Brasilia, including the Federal District and 12 surrounding municipalities. The model was able to map and analyze CNES data with census sectors defined in the CENSUS, opening the possibility of constructing new perspectives of analysis in the understanding of the potential distribution of health resources and services according to socioeconomic variables, as well as an important evidence-informed management tool.

Health Services Accessibility, Delivery of Health Care, Public Health, Data Science, Complex Network

INTRODUÇÃO

O Sistema Único de Saúde (SUS) consiste de uma estrutura baseada em redes de atenção, com características de unicidade e descentralização, e a distribuição de seus serviços de saúde é resultado da articulação organizada entre diferentes níveis de atenção, desde os serviços de atenção básica e até os de alta complexidade¹. Embora esta organização seja hierarquizada em função da complexidade, estrutura-se na forma de redes integradas, tendo como foco uma população e territórios definidos. É papel desta rede, que tem a atenção básica como porta de entrada, buscar uma ampla compreensão das necessidades e preferências da população e determinar a oferta de serviços e ações de saúde. Desta maneira, a atenção básica desempenha um importante papel como porta de entrada e primeiro contato com a rede de saúde, e como articuladora dos demais níveis de atenção, atuando longitudinalmente e centrada na organização familiar e comunitária².

No aspecto da regionalização, o SUS emprega as Regiões de Saúde como unidades de planejamento e articulação de recursos, bem como para estabelecer condições materiais para a integralidade da cobertura de serviços de saúde³. Contudo, ao utilizarmos este recorte espacial para analisar a distribuição dos serviços de saúde, o emprego das regiões de saúde pode induzir à perda de informação devido à agregação de diferentes condições sociais e econômicas presentes neste espaço geográfico, portanto, é oportuno a utilização de um recorte espacial mais localizado abrindo espaço para a possibilidade de desagregação das características socioeconômicas da região de saúde.

A distribuição da oferta de serviços de saúde em um território geográfico constitui uma das dimensões do acesso à saúde. Andersen⁴ utiliza o termo ‘acesso potencial’ para definir a presença dos elementos necessários que permitem a execução de um determinado serviço. Desta maneira, o acesso potencial se caracteriza pela presença de fatores capacitantes e será diretamente afetado por barreiras que limitam a capacidade de uso destes serviços. Embora a presença ou ausência de um serviço em uma dada localidade não seja suficiente para se compreender de forma ampla as condições de acesso com equidade, esta variável é parte da fórmula. Portanto, ao avaliarmos acesso na perspectiva da barreira geográfica, o acesso com equidade será resultado da relação entre a distância geográfica do serviço em conjunto de variáveis que indicam a necessidade de acesso a este serviço⁴.

A perspectiva do acesso geográfico como um componente da avaliação do acesso dos serviços de saúde também foi abordada por Penchansky e Thomas⁵. Estes autores definiram ‘acessibilidade’ sendo a relação da localização da oferta do serviço de saúde com a população potencial usuária deste serviço. Observa-se aqui elementos capacitantes, tais como recursos de transporte disponíveis e tempo de deslocamento até o estabelecimento de saúde, como componentes preditores da relação de acessibilidade. Esta acessibilidade, portanto, representa a cobertura quanto à disponibilidade do acesso físico aos serviços e recursos de saúde para a população, sendo entendido aqui como cobertura da acessibilidade e podendo contribuir para a compreensão da performance do sistema de saúde e potenciais falhas de sua cobertura⁶.

É relevante observar que, embora o conceito de ‘acesso’ seja multidimensional, a acessibilidade geográfica é, em si, um elemento importante para estudo isolado visto que a disposição geográfica do serviço é compreendida em vários estudos como fator determinante do uso de serviços de atenção básica^{6,7,8}. Evidências demonstram que, quanto maior a barreira geográfica, menor a probabilidade de utilização de serviços de saúde, tais como o tratamento de câncer de mama e tratamento do alcoolismo, bem como maior é a incidência de problemas de saúde em crianças vivendo em áreas com falha na cobertura geográfica de serviços de atenção básica⁹. Desta maneira, este artigo utiliza a noção de ‘acessibilidade’ para representar a dimensão do ‘acesso geográfico’ e ‘acesso potencial’ como conceitos intercalados, representando o potencial de uso deste serviço em função da existência ou ausência de barreiras espaciais, apoiando-se nos modelos teóricos apresentados por Andersen⁴ e Penchansky e Thomas⁵.

Considerando três premissas fundamentais: (A) O SUS estrutura-se como uma rede de atenção descentralizada que busca integrar diferentes níveis de complexidade, (B) o planejamento desta rede opera de forma descentralizada sobre uma região e população, (C) a presença de um determinado serviço de saúde, independentemente do conhecimento de sua real necessidade é caracterizado pela oferta potencial deste serviço, fator predisponente para determinar o uso, e por seguinte, a equidade; o objetivo deste artigo é apresentar um modelo teórico-metodológico como base para análise da oferta potencial de serviços de saúde brasileira a partir da ótica do acesso geográfico, utilizando métricas oriundas da teoria de redes complexas e baseado na distribuição geográfica de setores censitários, permitindo um relacionamento direto aos dados censitários.

MÉTODOS

Para o desenvolvimento do modelo proposto neste artigo utilizou-se os dados da Área Metropolitana de Brasília¹⁰ (AMB), espaço geográfico instituído pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN) e composto pelo Distrito Federal e 12 municípios adjacentes pertencentes ao Goiás. Além disto, a modelagem utilizou como fontes secundárias as bases disponíveis publicamente pelo Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde¹¹ (CNES) e o CENSO¹² de 2010, estes dados foram utilizados para modelagem dos estabelecimentos de saúde, serviços oferecidos e distribuição da população no território analisado.

Os setores censitários representam a unidade territorial estabelecida para controle cadastral. Cada setor é constituído por uma área territorial urbana ou rural com dimensão e número de domicílios determinados em função da organização do trabalho do recenseador¹². Desta maneira, o setor censitário oferece um recorte territorial granular dentro do espaço definido pela região de saúde, permitindo oferecer uma relação mais próxima entre a localização de um serviço de saúde e a realidade socioeconômica presente neste setor.

A análise e construção conceitual do modelo baseou-se na Teoria de Redes Complexas, arcabouço teórico que sugere uma oportunidade no campo da compreensão das complexas relações entre a disposição dos setores censitários e a localização de serviços e recursos de saúde. A análise e modelagem sob esta ótica parte da premissa que existe relevância nas relações entre as entidades participantes do modelo, desta maneira, a unidade de análise não será individualmente cada unidade (ou seus agregados), mas sim o coletivo de suas relações^{13,14}. Assim, em sua forma mais simples, uma rede é caracterizada por uma coleção de pontos (vértices) relacionados por ligações (*links*), permitindo o estudo de aspectos estruturais, fluxos de comunicação ou padrões de relacionamentos. Sendo, portanto, uma abstração de um sistema reduzido ao padrão de relacionamento entre suas entidades¹⁵.

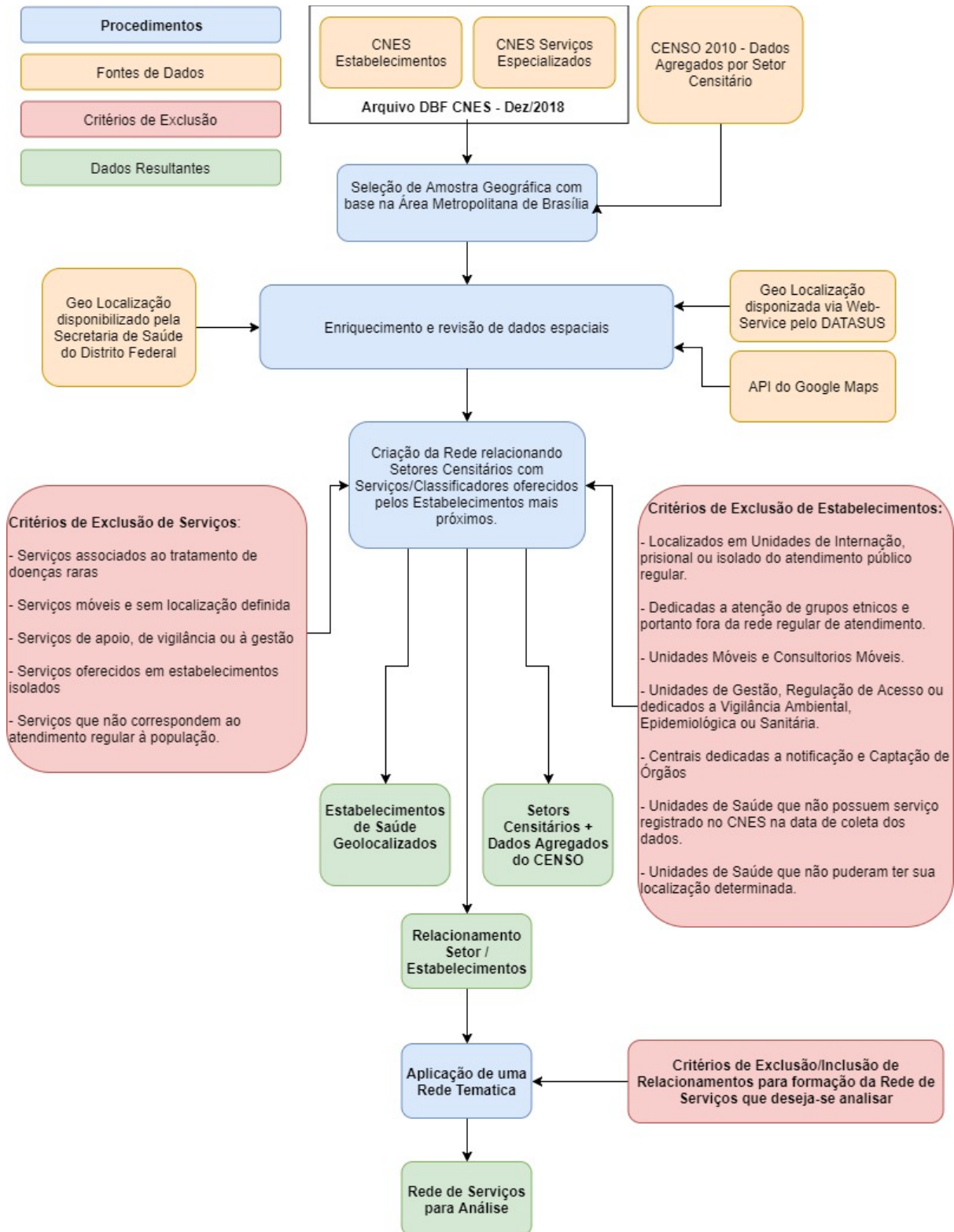
- **Os vértices da rede** – representam, em geral, indivíduos, organizações ou comunidades, e no contexto deste artigo é representado pelo setor censitário e pelos estabelecimentos de saúde. A existência de distintos conjuntos de entidades em uma rede determinará seu número de modos. Neste modelo foi observado a existência de entidades do tipo Setor Censitário e do tipo Estabelecimento de Saúde, caracterizando a rede como uma estrutura bipartida. Uma característica de tais estruturas multimodais é a natureza dos

relacionamentos entre conjuntos de entidades, vértices pertencentes ao mesmo conjunto não se relacionarão mutuamente, havendo, portanto, um particionamento da rede¹⁵. Estruturas com mais de um conjunto de entidades são tratadas por autores como Wilson¹⁶, Borgatti e Evertti¹⁷ onde abordam formulações estatísticas próprias para operação sobre estas estruturas.

- **Os relacionamentos (*links*) da rede** – Os relacionamentos operam como *links* entre os vértices representando empiricamente fluxos de transferência de recursos, materiais ou imateriais. Neste modelo, os relacionamentos foram estabelecidos pela relação potencial de acesso geográfico (distância euclidiana) entre um setor censitário e um, ou mais, estabelecimentos de saúde, sendo estes relacionamentos categorizados pelo tipo de serviço/classificador associado à cada relação. Boccaletti e Biaconi et al¹⁸ discutem este tipo de arranjo multidimensional caracterizado por apresentar diversos canais de conectividade entre os vértices da rede, estrutura que aqui representa os direntes arranjos temáticos de análise.

Na Figura 1, é descrito o fluxo adotado para o processo de coleta e preparação destes dados e modelagem da rede.

Figura 1 - Diagrama do processo de coleta de dados e montagem da rede



Fonte: Autoria própria, 2020

O resultado final do processo de preparação dos dados é a malha-base da rede, composta pelo relacionamento de todos os setores censitários com pelo menos um serviço/classificador de cada tipo, disponível nos dados do CNES. O processo de transformação e manipulação dos dados utilizou scripts construídos na ferramenta RStudio¹⁹ e visualização da rede utilizando a ferramenta Gephi²⁰.

A preparação de dados e formação dos relacionamentos para construção da rede foram seguidos pelos seguintes passos:

- a) Criação de uma base de dados de estabelecimentos de saúde pertencentes a AMB com base nos dados do CNES de dezembro de 2018. Foram adicionados também os estabelecimentos de saúde pertencentes a municípios adjacentes aos 12 municípios do Goiás membros da AMB. Esta região foi denominada ‘zona de escape’ da rede e tem o objetivo eliminar o viés descrito por Fortney, Rost e Warren²¹ como ‘*border cross problem*’ e que é caracterizado pela baixa acessibilidade de espaços geográficos localizados na borda da região estudada.
- b) Complementação dos dados de latitude e longitude do CNES com dados oriundos da Secretaria de Saúde do Governo do Distrito Federal²².
- c) Para as unidades de saúde que não possuíam geolocalização, foi criado um *script* na linguagem R para pesquisa na ferramenta *online* Google Maps²³, baseado nas informações de endereço disponíveis no cadastro CNES.
- d) Para cada geolocalização resolvida na pesquisa do Google Maps foi realizado um processo de triagem e verificação baseado nos seguintes critérios:
 - Para cidades de mais de 100.000 habitantes, verificou-se se a geolocalização resolvida pelo Google Maps refere-se, pelo menos, ao bairro designado pelo endereço, para as demais cidades, verificou-se se é referente à área do município.
 - Para unidades rurais que não possuíam a geolocalização indicada na base do CNES, e que não puderam ser encontradas no mapa utilizando-se o Google Maps, foi realizada uma visita física ao local.

- e) Das unidades localizadas, foram removidas as que se enquadrassem nos critérios de exclusão (Figura 1), restando 914 estabelecimentos (1,4% das unidades foram removidas pelos critérios de exclusão). A lista de estabelecimentos encontra-se publicada em http://rpubs.com/costa_/estabelecimentos.

Finalizada a coleta e preparação dos dados, foi iniciado o processo de montagem da rede relacional. O critério de construção dos relacionamentos foi a distância euclidiana do setor censitário com a geolocalização da unidade de saúde, excluindo os serviços/classificadores que não representassem serviços de uso pela população geral (Figura 1). Esta técnica de mensuração da acessibilidade geográfica é conhecida e bastante utilizada por apresentar uma abordagem simples e intuitiva, sendo baseada no cálculo da distância euclidiana entre o centro de massa do polígono²⁴ que delimita o centro populacional e a localização geográfica do serviço de saúde, podendo ser utilizadas outras medidas de custo de viagem e atribuindo-se diferentes impedâncias de deslocamento⁹.

Por este estudo operar em uma área urbana, onde a existência de um congestionamento de oferta de serviços similares entre diferentes unidades de saúde é um fenômeno esperado, o modelo de relacionamento assumiu uma faixa de tolerância de 20% em relação à distância mínima do relacionamento. Esta prática visou construir uma coleção de opções de acessibilidade geográfica para um determinado serviço que é oferecido por estabelecimentos de saúde com distâncias similares a um mesmo ponto de referência, aspecto debatido por Guagliardo⁹, como ponto de atenção da métrica de proximidade dos provedores mais próximos em áreas urbanas. O valor de tolerância é uma variável configurada no modelo, quanto maior o seu valor, maior a área de captura de serviços/classificadores similares na oferta potencial.

A distância euclidiana tem direta correlação com a distância percorrida na malha viária, contudo, este modelo pode ser considerado um preditor frágil da distância entre duas coordenadas geográficas. Jones *et al*²⁵ comparou as duas técnicas de determinação de distância demonstrando que em regiões urbanas esta diferença tende a se tornar menor que a encontrada em áreas rurais, especialmente em regiões com malha de ruas com reduzido impacto de acidentes geográficos. Fortney, Rest e Warren²¹ também apresentam uma comparação de diferentes abordagens de medidas de acesso geográfico e destacam a similaridade, em termos de acurácia, da distância euclidiana e a distância obtida através de ferramentas de cálculo de navegação pela malha de estradas e rodovias através de processos heurísticos. Portanto, a

utilização da distância euclidiana para regiões metropolitanas com reduzido impacto de acidentes geográfico sugere uma abordagem simples e com baixo custo computacional, técnica regularmente utilizada no campo de estudo de acesso geográfico na área de saúde^{26,27}.

O resultado final da modelagem foi uma rede de setores censitários e estabelecimentos com 2.167.111 relacionamentos sob o critério de proximidade. A complexidade desta malha impede uma análise objetiva dos dados, desta maneira, a modelagem é conduzida para sua última etapa: a definição de um conjunto de relacionamentos que descrevem uma rede temática de análise e a aplicação das métricas de análise.

Para análise da rede este trabalho apoia-se na distância entre os vértices e a centralidade como ferramenta para avaliar a importância relativa dentro da estrutura modelada. Uma das mais básicas métricas utilizadas para descrever a importância de determinados vértices dentro de uma rede é o grau de centralidade. O grau de centralidade mede a importância relativa de um determinado vértice em função do seu número de relacionamentos com demais atores da rede²⁷. Traduzido para o contexto deste artigo, o grau de centralidade de um estabelecimento de saúde é refletido na quantidade de setores censitários que tem este estabelecimento como mais próximo na oferta potencial de um determinado serviço/classificador.

Como simplificação do modelo para aplicação inicial, cada setor censitário será representado com o peso de 1 (um) na contribuição geral da centralidade, aplicando-se assim um princípio de indiferença quanto a importância de cada setor na análise desta rede – embora cada setor possa variar em função de população, características socioeconômicas, culturais e epidemiológicas. O objetivo deste artigo se limita a apresentar as bases teóricas metodológicas de construção e análise da rede de oferta potencial de serviços de saúde utilizando a teoria de redes complexas.

Para o cálculo de centralidade optou-se pela utilização da métrica de *PageRank*²⁸ por estabelecer um equilíbrio entre a oferta potencial e a disponibilidade do serviço. Duas abordagens de centralidade foram utilizadas, primeiro é aplicado sobre vértices individuais e, em seguida, para análise de grupos de vértices da rede, ou seja, que apresentem características comuns. A aplicação de métricas de centralidade para grupos em uma rede é abordado por Everett e Borgatti²⁹ para métricas como Grau de Centralidade, Proximidade e Intermediação. Neste trabalho foram aplicadas as formulações apresentadas por estes autores para a

centralidade de *PageRank*. Desta forma, a centralidade por *PageRank* de um estabelecimento de saúde p_k será dado por $C_{PR}(p_k)$ conforme a formulação:

$$C_{PR}(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k) \frac{C_{PR}(p_i) + \beta}{p_i^{out}}$$

Sendo $a(p_i, p_k) = 1$ se, e somente se o vértice p_i (um setor censitário) apresentar um relacionamento com o vértice p_k (um estabelecimento de saúde), do contrário o valor será 0, por sua vez $C_{PR}(p_i)$ é a função de *PageRank* aplicada recursivamente ao nó p_i , o que, neste caso, será sempre 1 pois os setores censitários não recebem relacionamento, apresentando centralidade por *PageRank* igual a zero, e desta forma, é aplicado uma constante β de valor 1, representando o peso constante e indiferente deste setor. Em seguida dividimos a centralidade do peso β pelo total de conexões de saída do setor censitário, representando aqui a situação onde um mesmo setor tem diferentes opções de acesso ao serviço em distâncias similares dentro do parâmetro de tolerância. Para o cálculo da centralidade de *PageRank* para grupo de vértices será usada a definição de Everett e Borgatti²⁹ resumizando o número de relacionamentos de p_i para com p_k , sendo, neste caso, p_k o conjunto de estabelecimentos que se deseja medir a centralidade.

Para ilustrar a aplicação da metodologia aqui apresentada, será analisada uma rede constituída de serviços tipicamente ofertados por unidades de atenção básica. Assim, será possível refletir o arranjo estrutural adotado no modelo de atenção básico à saúde do ponto de vista da oferta de serviços de saúde no território da AMB.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Para construção da rede para análise foram selecionados apenas serviços / classificadores oferecidos por estabelecimentos do tipo Posto de Saúde ou Centro de Saúde / Unidade Básica. Com base nos serviços oferecidos por estabelecimentos deste tipo, conforme cadastrado no CNES na competência de dezembro de 2018, foram selecionados os relacionamentos que apontam para este tipo de serviço/classificador, independentemente do tipo do estabelecimento que oferece esta modalidade de serviço. Portanto, o modelo não excluí

unidades de nível hospitalar e ambulatorial que tenham serviços da natureza selecionada como parte de sua oferta.

Do ponto de vista estrutural, a rede foi constituída num formato bipartida, resultando numa coleção de 5.802 vértices do tipo setor censitário relacionando-se com 914 vértices do tipo estabelecimento de saúde, e *multiplex*, manifestado através de 73 tipos de relacionamento, sendo cada tipo um distinto serviço/classificador que caracteriza o tipo de serviço oferecido pelo estabelecimento, formando um total de 697.504 relacionamentos onde apresentam-se diferentes camadas de ofertas potenciais de redes de atenção à saúde. Dado o número de relacionamentos, a visualização da rede constitui-se uma tarefa bastante difícil, cabendo uma descrição numérica das suas características e métricas como ferramenta de análise.

Do ponto de vista da centralidade individual dos vértices do tipo estabelecimento de saúde (Tabela 1), foram isolados os 10 estabelecimentos com maior centralidade. Neste aspecto percebe-se um protagonismo dos hospitais, característica fundamentalmente explicada pela abrangente oferta de serviços de saúde e a localização em áreas de maior densidade demográfica. Contudo, é observado também, a existência de uma concentração de centralidade para alguns serviços específicos em algumas destas unidades. No Hospital Regional de Ceilândia, por exemplo, o serviço de “110 – Serviço de Atenção à Saúde Reprodutiva” concentra 35% de todos os relacionamentos possíveis para este tipo de serviço sendo 21% da demanda potencial tendo origem setores censitários dos municípios do entorno pertencentes a AMB. Entende-se “total de relacionamentos possíveis para este tipo de serviço”, como forma de normalização da métrica de centralidade de *PageRank*, criando, portanto, um índice de centralidade relativo para cada vértice dentro da rede, desta maneira, uma unidade de saúde com 100% de todos os relacionamentos possíveis representaria a única unidade oferecendo um dado serviço e, portanto, cobriria todos os relacionamentos oriundos da demanda potencial dos setores censitários.

Outra unidade que apresenta forte concentração em ofertas específicas é o Hospital Materno Infantil de Brasília. Nesta unidade observamos uma concentração 93% de todos os relacionamentos possíveis para o serviço de “139 – Serviço de Triagem Neonatal” (aqui inclui apenas o classificador “001 – Tratamento de Recém Nascido com Hipotireoidismo e Fenilcetonúria” por se encontrar entre a oferta de serviços oferecidos pela rede de unidades básicas), 31% de todos os relacionamentos possíveis para o serviço “110 – Serviço de Atenção à Saúde Reprodutiva” e 23% de todos os relacionamentos possíveis para o serviço “107 –

Serviço de Atenção à Saúde Auditiva”, com distância média entre os setores censitários relacionados e o estabelecimento de saúde onde o serviço é oferecido de 22, 25 e 27 quilômetros, respectivamente. Por último, uma acentuada centralidade foi encontrada na unidade UBS 02 Guará com o serviço “134 – Serviço de Práticas Integrativas e Complementares” com 34% de todos os relacionamentos possíveis e distância média de 20 quilômetros.

Tabela 1 - Estabelecimentos de Saúde com maior centralidade

CNES	Estabelecimento de Saúde	Distância Média (km)	Centralidade por PageRank			
			Absoluta	Normalizada	DF / %	GO / %
0010480	Hospital Regional de Ceilandia	10,2	25.205	0,060	0,055 / 92%	0,005 / 08%
0010499	Hospital Regional de Taguatinga	11,1	20.843	0,049	0,046 / 94%	0,003 / 06%
0010537	Hospital Materno Infantil de Brasília	20,5	18.890	0,045	0,039 / 87%	0,006 / 13%
2814897	Hospital Regional do Guara	8,3	14.907	0,036	0,035 / 97%	0,001 / 03%
0010464	Hospital Regional da Asa Norte	14,2	13.612	0,033	0,031 / 94%	0,002 / 06%
0011266	UBS 02 Guara	19,7	12.813	0,031	0,026 / 84%	0,005 / 16%
2672197	Hospital Regional de Samambaia	7,2	11.919	0,029	0,028 / 97%	0,001 / 03%
0010529	Hospital Regional de Planaltina	11,1	11.211	0,027	0,023 / 85%	0,004 / 15%
5717515	Hospital Regional de Santa Maria	8,5	11.151	0,027	0,015 / 56%	0,012 / 44%
2645157	Hospital da Região Leste	14,9	10.118	0,024	0,023 / 96%	0,001 / 04%

Fonte: Autoria própria, 2019

Quando observamos a centralidade sob a perspectiva do agrupamento dos estabelecimentos em função de sua classificação no CNES por tipo de unidade (Tabela 2), notamos, mais uma vez, o protagonismo dos hospitais como principais centralizadores da oferta potencial de serviços com 45% de todos os relacionamentos possíveis dentro da rede temática de serviços oferecidos por unidades de atenção básica. Portanto, embora os estabelecimentos de saúde do tipo Centro de Saúde / Unidade Básica apresentem maior capilaridade e implementação descentralizada, este tipo de unidade responde apenas por 24% da demanda potencial, o que significa que, neste modelo, os hospitais capturam grande parte da demanda por estarem mais próximos ou por estarem entre as poucas unidades que ofertam os serviços selecionados para montagem desta rede. É importante notar que as unidades do tipo “Centro de Saúde / Unidade Básica” respondem por mais de 95% de todos os relacionamentos quando o serviço é “101 – Estratégia de Saúde da Família” e “147 – Serviço de Apoio à Saúde da Família”, com distância média de 6,6 e 6,4 quilômetros respectivamente. Embora as Unidades

Básicas respondam apenas por 35% dos relacionamentos para o serviço “112 – Serviço de Atenção ao Pré-Natal, Parto e Nascimento”, observamos mais de 80% de concentração quando tratamos especificamente do classificador “001 – Acompanhamento do Pré-Natal de Risco Habitual”, com distância média de 6 quilômetros.

É possível observar algumas potenciais falhas de cobertura ou um indicativo de políticas públicas em fase de implantação, por exemplo, os serviços “134 – Práticas Integrativas e Complementares”, “158 – Serviço de Atenção Integral a Hanseníase” e “165 – Atenção às Pessoas em Situação de Violência Sexual” embora respondam por mais de 65% dos relacionamentos na rede de Unidades Básicas, estes serviços apresentam distância média superior a 20 quilômetros, potencialmente indicando uma baixa oferta na rede de saúde de forma geral e uma baixa cobertura na atenção básica.

Quando analisamos a distribuição dos principais serviços que compõe a oferta potencial das unidades do tipo “Hospital Geral” observamos uma concentração de mais de 80% dos relacionamentos possíveis na rede para os seguintes serviços/classificadores: “110 Serviço de Atenção à Saúde Reprodutiva / 001 - Atenção a Infertilidade” (98% dos relacionamentos, distância média 21 Km), “139 – Serviço de Triagem Neonatal / 001 – Tratamento Recém Nascido com Hipotireoidismo e Fenilcetonúria” (94% dos relacionamentos, distância média 25 Km), “112 – Serviço de Atenção ao Pré-Natal, Parto e Nascimento / 003 – Gestação em Risco Habitual” (92% dos relacionamentos, distância média 19 Km), “113 – Serviço de Atenção Domiciliar / 002 – Internação Domiciliar” (84% dos Relacionamentos, distância média 10 Km), “140 – Serviço de Urgência e Emergência / 019 – Pronto Socorro Geral/Clínico” (83% dos relacionamentos, distância média 8 Km) e “135 – Serviço de Reabilitação / 004 – Reabilitação Visual, Mental, Múltiplas Deficiências” (80% dos relacionamentos, distância média 24 Km).

Tabela 2 - Centralidade Agrupada por Tipo de Unidade

Tipo do Estabelecimento	Total Estabelecimentos	Distância Média (km)	Centralidade do Grupo por PageRank			
			Absoluta	Normalizada	DF / %	GO / %
Hospital Geral	50	12,4	189.806	0,448	0,381 / 85%	0,067 / 15%
Centro de Saúde / Unidade Básica	484	16,2	99.791	0,236	0,178 / 75%	0,058 / 25%
Clínica / Centro de Especialidade	87	14,0	32.285	0,076	0,041 / 53%	0,036 / 47%
Policlínica	54	12,9	29.535	0,070	0,056 / 80%	0,014 / 20%
Unidade de Apoio Diagnose e Terapia	67	9,5	19.426	0,046	0,024 / 52%	0,022 / 48%
Pronto Atendimento	14	7,2	16.512	0,039	0,032 / 80%	0,008 / 20%
Hospital Especializado	9	14,4	9.123	0,022	0,019 / 86%	0,003 / 14%

Farmácia	18	17,0	7.752	0,018	0,013 / 68%	0,006 / 32%
Polo Academia da Saúde	16	34,1	4.302	0,010	0,008 / 80%	0,002 / 20%
Hospital/Dia – Isolado	4	12,1	4.179	0,010	0,005 / 50%	0,005 / 50%
Outros	111	15,8	10.767	0,025	0,012 / 48%	0,013 / 52%

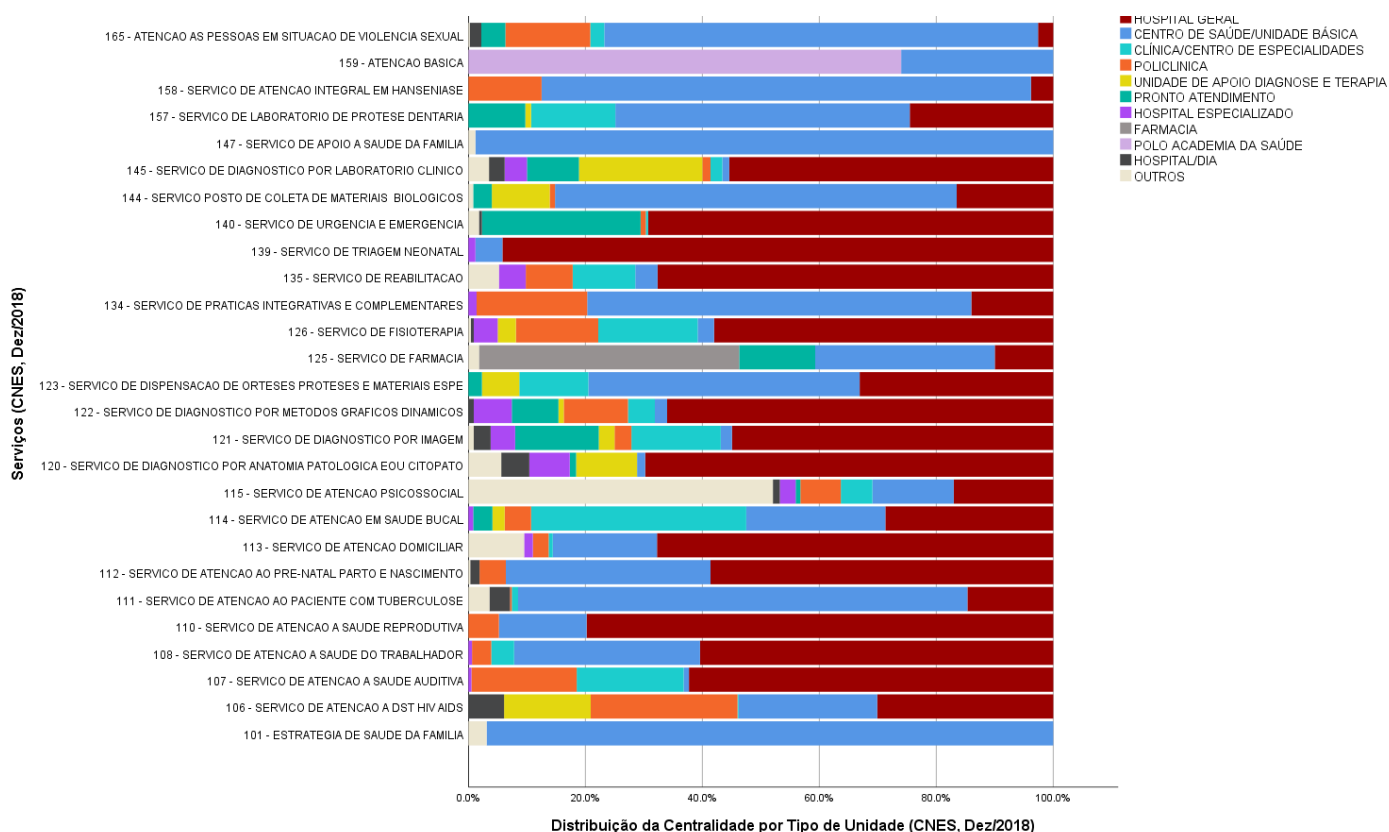
Fonte: Autoria própria, 2019

A perspectiva agrupada permite entender a distribuição dos relacionamentos potenciais em função da relação do tipo de serviço com o tipo da unidade, destacando assim como a oferta potencial de serviços é constituída dentro do espaço geográfico da AMB. O Gráfico 1 ilustra esta distribuição destacando serviços tais como: Diagnostico por Laboratório Clínico, Urgência e Emergência, Triagem Neonatal, Reabilitação, Fisioterapia, Diagnostico por Métodos Dinâmicos, Diagnóstico por Imagem, Diagnostico por Anatomia Patológica e/ou Citopato, Atenção Domiciliar, Atenção ao Pré-Natal / Parto / Nascimento, Atenção à Saúde Reprodutiva, Atenção à Saúde do Trabalhador e Atenção à Saúde Auditiva, tem mais de 50% de sua oferta potencial coberta por estabelecimentos hospitalares quando observamos a dimensão da acessibilidade geográfica à estes serviços, denotando, portando, uma acessibilidade que favorece a centralização destes serviços em unidades de maior densidade de atendimento e menor grau de regionalização. Por outro lado, observamos que os serviços: Atenção às Pessoas em Situação de Violência Sexual, Serviço de Atenção Integral em Hanseníase, Laboratório de Prótese Dentária, Coleta de Materiais Biológicos, Práticas Integrativas e Complementares, Dispensação de Órteses / Próteses / Materiais Especiais, Atenção ao Paciente com Tuberculose e Estratégia da Saúde da Família, tem sua oferta potencial em grande parte representada por unidades do tipo Centro de Saúde/Unidade Básica.

Embora os resultados sugerem uma centralização da oferta potencial em alguns hospitais, característica que denota ausência do serviço na plataforma capilar e descentralizada de unidades básicas, ainda assim, observamos que vários dos serviços encontram em uma faixa de distância média inferior a 10 quilômetros da demanda potencial (Gráfico 2), havendo uma distância média maior para serviços como: Atenção Integral a Hanseníase (31 KM), Triagem Neonatal (28 KM), Atenção à Saúde Auditiva (25 KM), Atenção à DST / HIV / AIDS (21 KM), Práticas Integrativas e Complementares (20 KM), Atenção à Saúde Reprodutiva (20 KM), Atenção às Pessoas em Situação de Violência Sexual (19 KM) e Reabilitação (16 KM), todos os demais serviços apresentam distância média inferior a 16 quilômetros. Embora o serviço “159 – Atenção Básica” apresente uma distância média de 33 quilômetros. Esta aparente anomalia

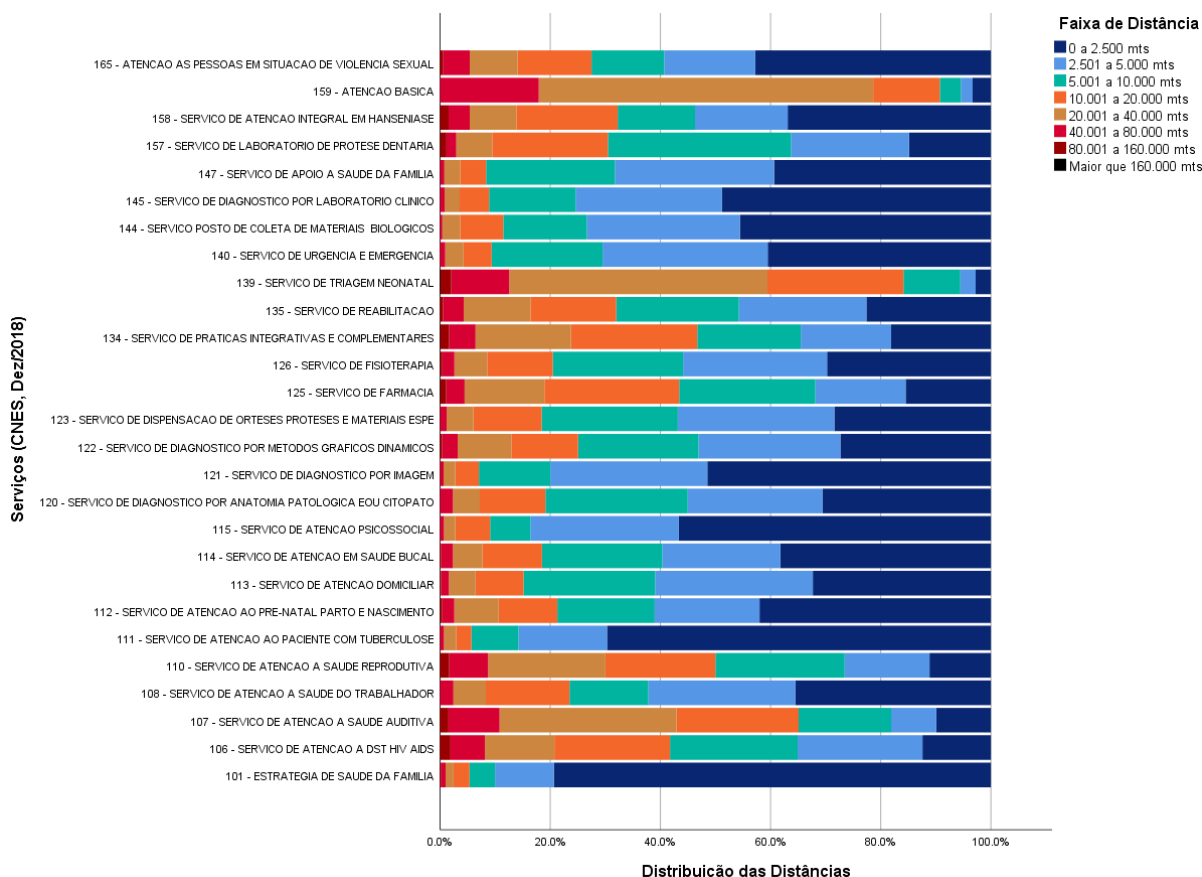
pode ser explicada pelo fato da portaria que normaliza esta classificação no CNES ter sido publicada apenas em janeiro de 2019³⁰.

Gráfico 1 - Distribuição da Centralidade do Serviço por Tipo de Unidade



Fonte: Autoria própria, 2019

Gráfico 2 - Distribuição das Distâncias por Faixa



Fonte: Autoria própria, 2019

É importante notar que o resultado de maior centralização em unidades de nível hospitalar não reflete uma disfunção na implementação de políticas voltadas para atenção básica. Este é um fenômeno natural para os serviços selecionados para análise, visto que todos os setores censitários estabelecem relacionamentos com todos os tipos de serviço, independentemente da demanda oriunda do perfil epidemiológico destes setores. Contudo, o Gráfico 1 nos oferece uma ideia de como cada serviço será distribuído dentro da oferta potencial das unidades e considerando a menor distância percorrida. Esta métrica é um bom indicativo se um determinado tipo de serviço está sofrendo uma influência de falhas de cobertura. Um exemplo que poderia indicar boa cobertura potencial da atenção básica está refletido no serviço “111 – Serviço de Atenção ao Paciente com Tuberculose”, onde observamos uma cobertura potencial majoritariamente promovida por unidades básicas (Centralidade de 75%, Gráfico 1) e distância média com mais de 80% dos relacionamentos com até 5 quilômetros de distância.

Embora o conceito de acesso à saúde implique um complexo encadeamento de dimensões para análise dos determinantes do uso dos serviços de saúde³¹, o acesso geográfico

é fator chave para compreensão das decisões que levam o indivíduo estabelecer relações de cuidado com sua própria saúde e estar situado no processo de cuidado contínuo e latitudinal da atenção básica. Higgs²⁶ destaca o efeito da distância sobre as baixas taxas de utilização dos serviços de saúde, implicando uma inversa relação entre distância e a taxa de utilização, contudo o autor destaca que esta relação pode variar em função da natureza do serviço utilizado. Fortney, Rost, Zhang et al³², destacam a correlação entre acessibilidade geográfica e a continuidade no tratamento da depressão, campo que sugere oportunidades de estudo aplicando este modelo utilizando um recorte da rede temática de atenção psicossocial. Rocha, Da Silva, Amaral et al³³ estudam a acessibilidade geográfica de serviços de urgência e emergência através de um recorte nacional demonstrando a relação entre unidades e municípios, outra perspectiva que é oportuna para análise no contexto espacial de setores censitários, permitindo observar lacunas assistenciais dentro dos municípios.

Por estarmos representando um recorte da realidade através de um modelo, é importante reconhecer algumas limitações. Delamater, Messina e Shortridge et al³⁴, discutem a respeito de como métodos de avaliação de acessibilidade geográfica são submetidos a simplificações, necessárias e inerentes ao processo de modelagem, mas que devem ser claramente reconhecidas. Para o modelo sugerido aqui, simplificações foram assumidas no que se refere a uniformização da impedância de deslocamento e indiferença quanto o modal de transporte. Desta maneira, assume-se a distância euclidiana como uma aproximação para o esforço de deslocamento entre os pontos mapeados, independentemente de qualquer outra variável como trânsito, tipo de estrada ou meio de transporte.

O processo de construção de um modelo implica em decisões de modelagem que configuram a realidade estudada. Este processo de decisão, que aqui demos o nome de ‘definição da rede temática’, implica na capacidade de analisar diferentes arranjos do sistema de saúde, podendo dar apoio à criação de métricas especializadas para monitoração de diferentes políticas públicas e redes de atenção à saúde. No exemplo de análise demonstramos a aplicação ao selecionar serviços que estão disponíveis entre as unidades básicas da AMB, embora não seja objetivo desta análise servir de instrumento de avaliação da cobertura da atenção básica neste território pudemos observar como tais serviços estão distribuídos, tanto do ponto de vista espacial, como do ponto de vista da oferta por tipo de estabelecimento, dados que, quando triangulados com outros instrumentos metodológicos podem orientar a análise da implementação de políticas públicas relacionadas à atenção básica.

Por fim, percebe-se que as informações demográficas e sociais contidas nos dados agregados do CENSO e as informações de recursos de saúde mantidas no CNES conferem uma ampla plataforma de análise para compreensão dos arranjos estruturais e organizacionais dos fatores capacitantes e predisponentes, tais como apresentados por Andersen⁴, Penchansky e Thomas⁵. Futuras aplicações do modelo poderão incluir a visão do acesso realizado observando os procedimentos executados por cada unidade e comparando com a centralidade das unidades de saúde ponderada pela população origem da demanda potencial, tal visão poderia auxiliar na identificação de desequilíbrios na cobertura dos serviços e indicar possibilidade da existência de outras barreiras para acesso à saúde. Sob esta ótica, há ainda muito trabalho a ser feito no aprofundamento do estudo das relações espaciais observando a distribuição de serviços e recursos de saúde tendo foco a equidade social destes arranjos.

REFERÊNCIAS

1. Mendes EV. As redes de atenção à Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde 2011. P 75-85
2. Brasil. Ministério da Saúde, Portaria 2.436 de 21 de Setembro de 2017. Disponível em http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prt2436_22_09_2017.html
3. Brasil. Ministério da Saúde, Resolução 1 de 29 de Setembro de 2011. Disponível em http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cit/2011/res0001_29_09_2011.html
4. Andersen RM. Revisiting the Behavioral Model and Access to Medical Care: Does It Matter? *Journal of Health and Social Behavior* 1995; 36(1):1-10.
5. Penchansky R, Thomas JW. The concept of access – definition and relationship to consumer satisfaction. *Med Care* 1981; 19(2):127-140.
6. Huerta Munoz U, Källestål C. Geographical accessibility and spatial coverage modeling of the primary health care network in the Western Province of Rwanda. *Int J Health Geogr.* 2012;11:40.
7. Abbas AA, Walker GJ. Determinants of the utilization of maternal and child health services in Jordan. *Int J Epidemiol* 1986; 15(3):404–407.
8. Feikin DR, Nguyen LM, Adazu K, Ombok M, Audi A, Slutsker L, Lindblade KA. The impact of distance of residence from a peripheral health facility on pediatric health utilisation in rural western Kenya. *Trop Med Int Health* 2009, 14(1):54–61

9. Guagliardo MF. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges. *International Journal of Health Geographics* 2004; 3(1):3
10. Brasil. Delimitação do Espaço Metropolitano de Brasília, Nota Técnica 1/2014, CODEPLAN, 2014. [acessado 2019 Fev 20]. Disponível em <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/NT-N%C2%BA-01-2014-Delimita%C3%A7%C3%A3o-do-Espa%C3%A7o-Metropolitando-de-Bras%C3%ADlia-%C3%81rea-Metropolitanda-de-Bras%C3%ADlia.pdf>
11. Brasil. Ministério da Saúde, Departamento de Informática do SUS. CNES, Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (Sítio institucional). Disponível em <http://cnes.datasus.gov.br/pages/sobre/institucional.jsp> 2018.
12. Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Guia do Censo. [acessado 2018 Abr 12]. Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>
13. Freeman LC. Turning a profit from mathematics: The case of social networks. *The Journal of Mathematical Sociology* 1984; 10(3–4):343–360.
14. Wasserman S, Faust K. *Social Network Analysis Methods and Applications*, Cambridge University Press, 1994
15. Newman MEJ. *Networks: An Introduction*, Oxford University Press, 2010, p122-123.
16. Wilson TP. Relational networks: An extension of sociometric concepts. *Social Networks* 1982, 4(2):105–116.
17. Borgatti SP, Everett MG. Network analysis of 2-mode data. *Social Networks* 1997; 19(3):243–269.
18. Boccaletti S, Bianconi G, Criado R, Del Genio CI, Gómez-Gardeñes J, Romance M, Sendiña-Nadaj I, Wang Z, Zanin M. The structure and dynamics of multilayer networks. *Physics Reports* 2014; 544(1):1-122.
19. RStudio Team *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Inc. Boston, MA, 2015. [computer program]. Disponível em: <https://www.rstudio.com/>.
20. Bastian M., Heymann S, Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks [computer program]. *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009
21. Fortney J, Rost K, Warren J. Comparing Alternative Methods of Measuring Geographic Access to Health Services, *Health Services and Outcomes Research Methodology* 2000, 1(2): 173–184.
22. Brasil. Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal, Mapa das Unidades de Saúde. [acessado 2019 Fev 20]. Disponível em: <https://salasit.saude.df.gov.br/mapa-unidades-de-saude/>

23. Google Maps. Google Maps Directions API [computer program]. Disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/start>.
24. Bourke P. Calculating The Area and Centroid of Polygon, 1988. [acessado 2019 Set 10]. Disponível em: https://www.seas.upenn.edu/~sys502/extra_materials/Polygon%20Area%20and%20Centroid.pdf.
25. Jones SG, Ashby AJ, Momin SR, Naidoo A. Spacial Implications Associated with Using Euclidean Distance Measurements and Geographic Centroid Imputation in Health Care Research; Health Service Research 2010; 45(1):316-327
26. Higgs G. The role of GIS for health utilization studies: literature review; Health Services and Outcomes Research Methodology 2009; 9(2):84-99.
27. Freeman LC. Centrality in Social Network Conceptual Clarification. Social Networks 1978; 1(3):215-239.
28. Page L, Brin S, Motwani R, Winograd T. The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. Technical Report. Stanford InfoLab 1999. [acessado 2019 Jun 10]Disponível em: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>.
29. Everett MG, Borgatti SP. The Centrality of Groups and Classes. Journal of Mathematical Sociology 1999; 23(3): 181-201.
30. Brasil. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Portaria Número 18, de 7 de Janeiro de 2019. [acessado 2019 Fev 20]. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/sas/2019/prt0018_10_01_2019.html
31. Wheat B. Patterns of Utilization: The Patient Perspective. Medical Care 1985; 23(5):438-460.
32. Fortney J, Rost K, Zhang M, Warren J. The Impact of Geographic Accessibility on The Intensity and Quality of Depression Treatment. Medical Care 1999, 37(9):884-893.
33. Rocha TAH, Da Silva NC, Amaral PV, Barbosa ACQ, Rocha JVM, Alvares V, de Almeida DG, Thumé E, Thomaz EBAF, de Souza Queiroz RC, de Souza MR, Lein A, Lopes DP, Staton CA, Vissoci JRN, Facchini LA. Addressing geographic access barriers to emergency care services: A national ecologic study of hospitals in Brazil. International Journal for Equity in Health 2017; 16(1):149
34. Delamater PL, Messina JP, Shortridge AM, Grady SC. Measuring geographic access to health care: raster and network-based methods. International Journal of Health Geographics 2012, 11(1).

Artigo 2 – Como estávamos antes? Uma análise da oferta potencial e desigualdade de acesso geográfico a recursos críticos para tratamento de COVID-19.

TÍTULO

Como estávamos antes? Uma análise da oferta potencial e desigualdade de acesso geográfico à recursos críticos para tratamento de COVID-19.

How were we before? An analysis of the potential supply and inequality of geographic access to critical resources for the treatment of COVID-19.

RESUMO

Objetivo: analisar a situação da Área Metropolitana de Brasília (AMB) antes do início da pandemia de COVID-19 com foco na disponibilidade e acessibilidade geográfica dos recursos críticos para o tratamento da crise aguda respiratória causada pelo vírus SARS-CoV-2.

Métodos: mapeamento geográfico da população dentro do território e geolocalização dos estabelecimentos de saúde e recursos de saúde, construção de rede de relacionamento entre a demanda potencial simulada ao sistema de saúde público e a oferta de recursos existente no período de Dez/2019. Análise dos relacionamentos baseada na teoria de redes complexas cruzando dados socioeconômicos disponíveis no CENSO e informações do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES).

Resultados: análise do micro relacionamento da população dos setores censitários com o estoque de recursos de saúde Leito de UTI Adulto Tipo II/III e Respiradores/Ventiladores, destacando as diferenças de acesso geográfico e disponibilidade de recursos entre as diferentes áreas da AMB e entre diferentes classes de vulnerabilidade social relativa no território.

ABSTRACT

Objective: to analyze the situation of the Metropolitan Area of Brasília (AMB) before the beginning of the COVID-19 pandemic, focusing on the availability and geographical accessibility of critical resources for the treatment of acute respiratory crisis caused by the SARS-CoV-2 virus.

Methods: geographic mapping of the population within the territory and geolocation of health facilities and health resources, construction of a relationship network between the potential demand simulated to the public health system and the supply of resources existing in the period of Dec/2019. Relationship analysis based on the theory of complex networks crossing socioeconomic data available in the CENSUS and information from the National Registry of Health Establishments (CNES).

Results: analysis of the micro relationship of the population of census tracts with the stock of health resources Adult ICU Bed Type II/III and Respirators/Ventilators, highlighting the differences in geographic access and availability of resources between the different areas of AMB and between different classes of relative social vulnerability in the territory.

INTRODUÇÃO

No dia 26 de fevereiro, quando o Brasil reportou seu primeiro caso de COVID-19, iniciou-se uma corrida entre a capacidade assistencial do sistema de saúde e a ascendente curva de novos casos de síndrome respiratória aguda causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2), conhecida como COVID-19. Leitos de Unidades de Tratamento Intensivo (UTI) e equipamentos como respiradores são recursos críticos para o tratamento dos pacientes graves e a escassez destes recursos tem levado vários países a experimentar dificuldades no enfrentamento da pandemia, sendo a Itália o exemplo mais extremado, onde os profissionais de saúde precisaram priorizar os pacientes que deveriam ter acesso ao cuidado devido durante o pico da pandemia em algumas regiões do país^{1,2}.

A proporção entre o número de pacientes que requerem tratamento intensivo na população infectada é um importante indicador do impacto desta síndrome viral. No período de 01 de março a 01 de maio de 2020, a Itália reportou 205.700 novos casos de infecção³, enquanto a demanda por assistência intensiva foi em torno de 9-11% do total de casos notificados⁴. Em março de 2020, o sistema de saúde italiano já apresentava uma ocupação de 1.028 leitos de terapia intensiva para o cuidado de pacientes com SARS-CoV-2, frente ao total de aproximadamente 5.200 leitos existentes⁴.

A distribuição de recursos críticos para o tratamento dos casos graves da COVID-19 no Brasil apresenta diferentes realidades. Enquanto a dependência da assistência pública à saúde encontra-se em grande parte do território nacional acima de 80%, a distribuição de leitos e respiradores é desigual, gerando diferentes desafios para o enfrentamento da pandemia no nível local⁵.

O Distrito Federal, até abril de 2020, apresentava boa disponibilidade de recursos de UTI, em comparação às demais unidades federativas, com 30 leitos de UTI e 62 respiradores para cada 100.000 habitantes⁶. Outra realidade pode ser percebida, no entanto, quando os números são analisados na perspectiva dos recursos disponíveis e oferecidos pelo Sistema Único de Saúde (SUS), ou seja, respectivamente, 6 leitos de UTI e 32 respiradores para cada 100.000 habitantes⁶. Contudo, quando se diz 'leitos/população' no Distrito Federal, não está incluída a população de quase um milhão de habitantes de 12 municípios que integram a Área Metropolitana de Brasília (AMB), na qual 86% da população não possui acesso à saúde

suplementar privada e, destes, 33% desta população buscam assistência à saúde prioritariamente na rede de serviços do Distrito Federal⁷.

Ao se observar a realidade da AMB, coloca-se em debate os indicadores apresentados pela abordagem “*Provider-to-Population Ratio*”, onde a disponibilidade de um determinado recurso (neste caso leitos e respiradores) é calculada em função da razão deste recurso com a população dentro de uma área geograficamente delimitada. Embora esta métrica seja tradicionalmente utilizada pela sua simplicidade e facilidade de se transmitir a informação, conforme explica Guagliardo⁸, ainda assim, possui reconhecidas limitações que escondem disparidades, ocultando o reconhecimento de barreiras no acesso à saúde, as quais podemos citar:

- i) Transposição de bordas entre o recorte espacial analisado, ou seja, ao considerar a relação recurso/população do Distrito Federal, é desconsiderada a população do entorno, que embora não pertença a região delimitada, representa uma população de quase 400.000 habitantes, potenciais usuários da rede de saúde, conforme estudo da Companhia de Planejamento do Distrito Federal⁷ (CODEPLAN);
- ii) Desconsideração das variações da disponibilidade dos recursos dentro da região analisada, ou seja, como o Distrito Federal tem diferentes características com regiões expostas a diferentes determinantes sociais, existe a necessidade de entender a distribuição dos recursos para estas diferentes realidades;
- iii) Não incorporação explícita de indicadores de acessibilidade geográfica, portanto, a desigualdade no acesso geográfico tende a passar despercebida, não destacando de forma objetiva barreiras geográficas de acesso entre a população e o recurso.

Analisar a distribuição de recursos de saúde utilizando métricas que destaquem as desigualdades intrarregionais e as barreiras geográficas de acesso é fundamental para compreender as decisões de uso do sistema de saúde e de cuidado com a saúde^{9,10} e, por último, sustentar o planejamento informado por evidências nas políticas públicas.

Este estudo teve o objetivo de analisar a distribuição intrarregional de recursos críticos para o tratamento dos casos graves da COVID-19, especificamente Leitos de UTI e Respiradores Mecânicos, dentro da AMB utilizando o menor nível de agregação possível, a fim de destacar aspectos relacionados com o acesso geográfico e disponibilidade de recursos.

Os objetivos do estudo também incluíram testar ferramentas de análise baseados na Teoria de Redes Complexas aplicadas ao contexto da COVID-19 no DF, no nível de setores censitários e estabelecimentos de saúde, permitindo destacar áreas de maior concentração de recursos e a desigualdade entre populações, com diferentes níveis de vulnerabilidade social dentro da AMB, respondendo, portanto, a seguinte questão “Qual seria o arranjo em termos de disponibilidade, acesso geográfico e demanda potencial ao sistema público de saúde se 1% da população da AMB necessitasse de recursos críticos ao tratamento de crise aguda respiratória?”

MÉTODOS

Este estudo realizou uma análise transversal de dados secundários do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde¹¹ (CNES) e dos dados agregados do CENSO de 2010¹². Foram usados os dados do CNES referentes a dezembro de 2019, para extrair a geolocalização dos estabelecimentos de saúde e a disponibilidade de leitos de UTI e equipamentos do tipo ‘Respirador Mecânico’, dentro da rede vinculada ao SUS e com recursos a disposição do sistema de saúde público. Por sua vez, o CENSO de 2010 foi utilizado como fonte da malha de setores censitários e socioeconômicos agregados referente a população que vive dentro destes recortes espaciais. Assim, a utilização da malha apresentada pela distribuição dos setores censitários dentro da AMB permitiu uma análise intrarregional da vulnerabilidade da população e o acesso aos recursos de saúde através de coordenadas espaciais providas pelas duas bases citadas.

Na análise dos dados, foi aplicada a Teoria de Redes Complexas, apoiando-se na modelagem descrita por Costa, Barreto e Sampaio¹³, onde foi apresentado um conjunto de métricas baseado em um modelo de relacionamento entre setores censitários e estabelecimentos de saúde, empregando os conceitos de centralidade e distância geográfica entre estas entidades. Este modelo permitiu avaliar a importância de determinados estabelecimentos e tipos de estabelecimentos na cobertura do acesso potencial aos serviços e recursos de saúde. O modelo apresentado aqui, portanto, complementa estas ideias analisando a distribuição do estoque de recursos oferecidos pelos estabelecimentos de saúde para uma população que demanda um acesso potencial a estes recursos, empregando o conceito de acesso potencial desenvolvido por Andersen⁹ e de disponibilidade de recursos descrito por Penchansky e Thomas¹⁰.

A fim de identificar e analisar disparidades na distribuição dos recursos, foi empregada uma métrica de vulnerabilidade social, buscando-se compreender a realidade de acesso e

disponibilidade de recursos entre diferentes condições de vulnerabilidade. Para cálculo da vulnerabilidade social relativa dentro do território da AMB foi utilizado o modelo criado por Drachler *et al*¹⁴. Este índice, denominado de IVS-5, é composto pelos seguintes indicadores: (A) percentagem de domicílios com rendimento mensal per capita até meio salário-mínimo, (B) percentagem de domicílios não ligados a rede de distribuição de água, (C) percentagem de domicílios sem banheiro ou sanitário ligado à rede geral de esgoto ou fluvial, (D) percentagem de domicílios sem coleta de lixo, (E) densidade demográfica. Para este trabalho foi excluído o componente (E), densidade demográfica. Este componente representa a dificuldade operacional de provisão à saúde em municípios com reduzida densidade demográfica, quando avaliamos esta condição dentro da análise intrarregional da AMB observamos regiões de baixa densidade demográfica que não representam condições de vulnerabilidade, como a existente nas regiões organizadas em condomínios horizontais.

Por fim, o modelo do IVS-5 apresenta-se como ferramenta adequada, por utilizar métricas presentes no CENSO 2010 (portanto, recalculáveis micro regionalmente utilizando os setores censitários) e capturar características básicas de carência de infraestrutura que normalmente se destacam dentro do contexto urbano.

O primeiro passo para o cálculo do IVS-5 foi identificar o percentual de carência de cada um dos indicadores, a Tabela 1 reflete a distribuição de cada indicador em função de percentis, em seguida, foi atribuído a cada setor censitário um IVS equivalente ao número de desvios padrão em escore *Z*, acima e abaixo da média dos 5.616 setores utilizados no estudo (186 setores foram descartados devido à ausência de dados, correspondendo a 3,2% do total de setores). Como o IVS é normalizado pelo uso do escore *Z*, a média e o desvio padrão do IVS será representada, respectivamente, por 0 e 1. Desta maneira, ao normalizar pelo desvio padrão, conclui-se a construção do índice, criando faixas para cada nível de vulnerabilidade aplicadas por setor censitário e agrupadas por município da AMB na Tabela 2. É importante ressaltar que o índice trata de vulnerabilidade relativa dentro do território, não sendo, portanto, um índice universal de vulnerabilidade.

Tabela 1 - Distribuição dos Indicadores e do índice de vulnerabilidade social no território da AMB

AMB	(A) % Domicílios com renda per capita < 0,5 salário-mínimo.				(B) % Domicílios sem água da rede pública.				(C) % Domicílios sem sanitário em rede de esgoto ou pluvial.				(D) % Domicílios sem coleta de lixo.				% Relativo de Vulnerabilidade Social do Setor (A + B + C + D) / 4			
	Percentis																			
	25	50	75	95	25	50	75	95	25	50	75	95	25	50	75	95	25	50	75	95
Brasília	3	13	25	41	0	0	1	88	0	0	2	95	0	0	0	20	1	4	8	46
Luziânia	25	32	40	51	4	45	92	100	64	96	98	100	0	1	5	99	31	38	58	82
Águas Lindas de Goiás	28	34	40	51	1	6	22	92	87	97	99	100	0	2	10	73	31	35	41	72
Valparaíso de Goiás	12	22	30	44	1	16	48	81	1	12	87	99	0	0	0	36	9	20	32	53
Formosa	18	32	46	58	1	3	21	100	35	69	92	98	0	0	13	100	15	27	41	84
Novo Gama	25	33	39	51	0	3	16	93	8	85	96	99	0	0	3	78	12	32	38	72
Planaltina	27	35	44	56	0	2	30	100	74	92	98	99	0	2	25	98	26	34	50	81
Sto Ant. de Descoberto	28	37	42	51	1	8	95	99	11	68	95	99	0	3	32	99	15	34	59	81
Cidade Ocidental	17	28	36	49	0	3	24	100	1	61	93	99	0	1	10	92	6	26	39	74
Cristalina	22	31	39	54	1	12	100	100	12	81	97	100	0	5	96	100	19	41	72	83
Padre Bernardo	36	42	47	57	2	68	97	100	70	95	99	100	2	45	91	100	36	61	78	85
Alexânia	31	37	44	50	8	19	97	100	86	98	99	99	0	2	43	96	33	38	62	82
Cocalzinho de Goiás	30	36	41	56	1	82	97	100	85	94	98	100	1	3	83	99	32	53	76	83
Total	5	18	30	46	0	0	3	98	0	0	49	99	0	0	0	68	2	6	27	65

Nota 1: Distribuição dos percentis de cada indicador, por exemplo, para o indicador (A) Brasília apresenta 41% dos domicílios com renda per capita < 0,5 salário-mínimo para o percentil 95

Fonte: os autores, com base nos dados do CENSO 2010 (IBGE)

Tabela 2 - Distribuição do índice de vulnerabilidade social por desvio padrão nos setores censitários da AMB

AMB	Desvios Padrão da Média da Vulnerabilidade no Território										Total Setores
	-1 a -0,51		-0,5 a 0		0,01 a 1		1,01 a 2		> 2		
Brasília	2.590	60%	1018	24%	390	9%	164	4%	131	3%	4293
Luziânia	11	5%	21	9%	80	33%	68	28%	62	25%	242
Águas Lindas de Goiás	1	1%	18	10%	90	50%	54	30%	16	9%	179
Valparaíso de Goiás	31	18%	41	23%	77	44%	20	12%	6	3%	175
Formosa	7	5%	30	22%	60	44%	9	7%	30	22%	136
Novo Gama	15	12%	23	19%	49	40%	26	22%	9	7%	122
Planaltina	1	1%	13	12%	49	45%	23	21%	22	21%	108
Sto Ant. de Descoberto	1	1%	20	25%	23	29%	15	19%	21	26%	80
Cidade Ocidental	18	23%	10	13%	28	37%	11	14%	10	13%	77
Cristalina	4	5%	13	17%	19	25%	10	13%	29	40%	75
Padre Bernardo	6	12%	1	2%	9	17%	9	17%	27	52%	52
Alexânia	0	0	3	7%	17	38%	10	23%	14	32%	44
Cocalzinho de Goiás	1	3%	0	0	12	36%	8	24%	12	36%	33
Total	2.686	47%	1.211	22%	903	16%	427	8%	389	7%	5616

Fonte: os autores, com base nos dados do CENSO 2010 (IBGE)

Para modelagem do acesso geográfico e disponibilidade dos recursos críticos foram estabelecidos relacionamentos partindo dos setores censitários para as unidades de saúde considerando um cenário aonde 1% da população do setor demandasse este recurso. Portanto, partindo de cada setor censitário, o algoritmo de relacionamento buscou os estabelecimentos de

saúde mais próximos que possuíssem a quantidade de recursos equivalente ou maior que a demanda potencial do setor. Por exemplo, se um setor censitário possuir 1.000 moradores, este setor demandaria 10 unidades dos recursos (1% da população) e, se num raio de 2.500 metros fossem encontrados 3 estabelecimentos de saúde com distâncias euclidianas menores que o raio de busca e com a soma dos recursos disponíveis destes estabelecimentos maior ou igual a demanda potencial do setor censitário, entende-se que esta demanda foi atendida e a busca do algoritmo se encerra. Além disso, o algoritmo admite a variação de 20% na distância, portanto, se a menor distância de um estabelecimento para o setor for 1.000 metros, estabelecimentos localizados em até 1.200 metros são admitidos como dentro do raio de busca.

Assim, o modelo de demanda potencial de 1% da população responderia a questões sobre acessibilidade geográfica, ou seja, onde estariam os recursos mais próximos se 1% da população do setor precisasse deles, enquanto a disponibilidade, descreveria a proporção de recursos existente para esta demanda potencial. Em seguida, foi formulada uma métrica que emprega a relação População-Recursos por estabelecimento de saúde e, portanto, destacando os estabelecimentos mais sobrecarregados e onde estão localizados. Por último, ponderou-se a população atendida em função de sua vulnerabilidade geográfica, demonstrando a acessibilidade e a disponibilidade à recursos em função do índice de IVS-5 calculado.

A métrica de centralidade utilizada para estabelecer a importância dos estabelecimentos de saúde, em função de relação entre demanda potencial e recursos, é baseada na métrica de *PageRank*¹⁵ da teoria de redes. Centralidade representa uma importante ferramenta analítica para determinar o papel e a importância estrutural de um nó dentro de uma rede¹⁶. Dentro do contexto deste trabalho, os nós representam os estabelecimentos de saúde e os setores censitários sendo, portanto, uma rede caracterizada pela existência de duas partições de nós que se relacionam unidirecionalmente, partindo do setor censitário para o estabelecimento de saúde, e desta maneira, estabelecendo uma estrutura de rede bimodal¹⁷. Assim, o cálculo de centralidade de um vértice p_k (um estabelecimento de saúde), ou de um grupo de vértices¹⁸ de estabelecimento de saúde correlacionados (do mesmo tipo estabelecimento), se dará sob a seguinte formulação:

$$C_{PR}(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k) \frac{C_{PR}(p_i) + (p_i^{IVS} * p_i^{Pop})}{p_i^S} p_k^S$$

$$p_i^S = \sum_{j=1}^n a(p_i, p_j) p_j^S$$

Sendo $a(p_i, p_k) = 1$ se, e somente se o vértice p_i (um setor censitário) apresentar um relacionamento com o vértice p_k (o estabelecimento de saúde ou o grupo de vértices em análise), do contrário será igual a 0, indicando que não há relacionamento entre p_i e p_k . Para cada relacionamento de p_k com p_i (um setor censitário do vetor de relacionamentos), p_i terá os seguintes atributos:

p_i^{IVS} = Indicador de Vulnerabilidade social do setor p_i , quando calculado com este componente estamos avaliando a importância do estabelecimento de saúde para população vulnerável, quando removemos estamos considerando a população como um todo.

p_i^{Pop} = População de Moradores do setor p_i

p_i^S = Disponibilidade Total de Recursos para o Setor p_i , ou seja, o somatório de recursos disponíveis em todos os relacionados que partem de setor censitário p_i para os estabelecimentos de saúde e dado pela função somatória entre a função de relacionamento entre p_i e cada setor p_j (onde, mas uma vez, o resultado será 0 ou 1) e a quantidade de recursos p_j^S existente em cada estabelecimento de saúde.

Por último, a variável p_k^S representa o total de recursos disponíveis no estabelecimento (ou conjunto de estabelecimentos) p_k , em análise. Portanto a centralidade¹⁸, ou a medida de importância de um estabelecimento no provimento destes recursos, se dará na relação de população do setor censitário, dividida pelo total de recursos disponíveis para aquele setor (dentro da regra de relacionamento por proximidade) e multiplicado pela quantidade de recursos disponíveis no estabelecimento em análise. O componente $C_{PR}(p_i)$, por sua vez, representa centralidade do autovetor, que opera de forma recursiva na fórmula, caso o setor censitário tenha relacionamentos, para esta formulação este componente representou uma constante de valor igual a 0, visto que não existem relacionamentos de entrada nos setores censitários. Para preparação dos dados, aplicação do cálculo às tabelas, análise e visualização de dados foram empregadas as ferramentas Gephi¹⁹ e a linguagem R²⁰.

Para finalizar, o modelo foi aplicado para os recursos críticos desejados informados na base de dados do CNES, sendo primeiro o equipamento ‘64-RESPIRADOR/VENTILADOR’ e, em seguida, os leitos do tipo: ‘75-UTI ADULTO – TIPO II’, ‘76-UTI ADULTO – TIPO III’. Concluída a modelagem da rede e o cálculo das métricas, os seguintes dados foram obtidos para análise:

- i) Distância euclidiana média entre os setores censitários e as unidades de saúde que oferecem Respiradores e Leitos considerando uma demanda potencial de 1% da população do setor.
- ii) Distribuição da distância de acesso geográfico por classe de vulnerabilidade social para cada recurso
- iii) Diferenças do acesso geográfico aos recursos quando considerado setores censitários do Distrito Federal e setores dos municípios do entorno pertencentes a AMB.
- iv) Importância dos Estabelecimentos de Saúde em função da população potencial coberta (vulnerável e população geral) e relação recurso / população por estabelecimento (incluindo distância média da cobertura dos relacionamentos).

RESULTADOS

Duas redes foram construídas para análise, a primeira baseada na busca de respiradores constituída de 16.884 relacionamentos entre 5.616 setores censitários com 71 estabelecimentos que apresentaram equipamentos em uso disponíveis para o SUS. A segunda rede foi baseada na disponibilidade à leitos de UTI Adulto tipo II e Tipo III, conforme critério utilizado pelo IBGE para estudo de disponibilidade regional destes recursos⁶. Na rede de disponibilidade de leitos foram formados 24.617 relacionamentos entre 5.616 setores censitários e 21 estabelecimentos, formando uma rede dividida em duas camadas, a primeira, constituída pela procura de leitos tipo II, e a segunda, pela procura de leitos tipo III.

Na rede de respiradores, as maiores concentrações de relacionamentos foram observadas entre os Hospitais Regionais das regiões administrativas de Brasília, com destaque para o Hospital Regional de Santa Maria que possui uma centralidade normalizada que representa o atendimento de 12% dos relacionamentos possíveis desta rede. O conceito de centralidade normalizada é um determinante da importância de um nó dentro da estrutura da rede, um estabelecimento que tenha 100% dos relacionamentos (Centralidade Normalizada igual a 1)

possui relacionamento com todos os setores censitários e é responsável pela exclusividade na oferta do recurso para estes setores. Portanto, como podemos observar na Tabela 3, doze estabelecimentos de saúde concentram 75,2% da centralidade normalizada da população do Distrito Federal e dos 12 municípios do estado do Goiás pertencentes à AMB.

A população dos municípios do entorno de Brasília representa 38% do total da população da AMB de 3.529.346 (conforme Censo IBGE de 2010), enquanto isto, embora os estabelecimentos de saúde listados na Tabela 3 estejam localizados no Distrito Federal, 22% dos relacionamentos destes estabelecimentos são com setores censitários localizados em municípios do entorno de Brasília, demonstrando, portanto, a sensibilidade destes estabelecimentos na cobertura de lacunas de disponibilidade de respiradores localizadas nas cidades do Estado de Goiás.

Tabela 3 - Estabelecimentos com Centralidade Normalizada de até 3% da Rede (Respiradores)

Estabelecimento	Cobertura de Respiradores sobre a Demanda Potencial de 1% da População					
	Distância P50/P75 (KM) (A)	Demanda Potencial (Centralidade) (B)	Demanda / Respiradores (C)	Centralidade Normalizada (D = E + F)	Centralidade Normalizada DF (E)	Centralidade Normalizada Entorno (F)
Hospital Reg. Sta Maria	5,4 / 7,9	4.402,87	22,24	0,124	0,037	0,087
Hospital São Francisco (Ceilândia)	5,3 / 19,6	4.219,40	210,97	0,119	0,091	0,028
Hospital Reg. Samambaia	6,0 / 7,3	4.043,22	122,52	0,114	0,112	0,002
Hospital Reg. Taguatinga	3,2 / 5,4	2.196,40	27,80	0,062	0,060	0,002
Hospital Reg. Planaltina	4,7 / 15,6	2.178,67	217,87	0,062	0,043	0,018
Hospital Reg. Sobradinho	5,2 / 7,7	1.831,69	32,71	0,051	0,050	0,001
Hospital Reg. Ceilândia	9,0 / 22,2	1.618,69	43,75	0,045	0,031	0,014
Hospital Reg. Gama	3,1 / 20,6	1.524,37	56,46	0,043	0,035	0,008
Hospital da Região Leste	7,2 / 14,4	1.240,52	62,03	0,035	0,034	> 0,001
Hospital DOMED (Ceilândia)	11,1 / 21,7	1.215,49	63,97	0,034	0,025	0,009
Hospital São Mateus (Cruzeiro)	5,3 / 6,5	1.193,31	51,88	0,033	0,033	> 0,001
Hospital Reg. Asa Norte	3,7 / 5,2	1.066,99	62,76	0,030	0,030	> 0,0001

Nota 1: Uma versão interativa do mapa com as unidades de saúde e a projeção da vulnerabilidade no território pode ser acessado em: https://rpubs.com/costa_/heatmapvul02

Fonte: os autores, com base nos dados do CENSO 2010 (IBGE) e CNES Dez/2019

Quando observamos a rede de relacionamentos para leitos de UTI Adulto Tipo II (Tabela 4), observamos uma concentração de 95,8% de todos os relacionamentos em 11 estabelecimentos de saúde, mais uma vez, todos localizados no Distrito Federal, ao mesmo tempo, 27,7% de todos os relacionamentos destes estabelecimentos tem como origem setores censitários localizados nos municípios do entorno de Brasília. Os relacionamentos baseados na procura de leitos de UTI Adulto Tipo III demonstram ainda mais concentração, tendo 99,8% da rede sendo atendida por 3 estabelecimentos de saúde (Tabela 4), todos localizados em Brasília, com 27% destes relacionamentos tendo origem setores censitários com origem no entorno.

Tabela 4 - Estabelecimentos com Centralidade Normalizada de até 3% da Rede (Leitos)

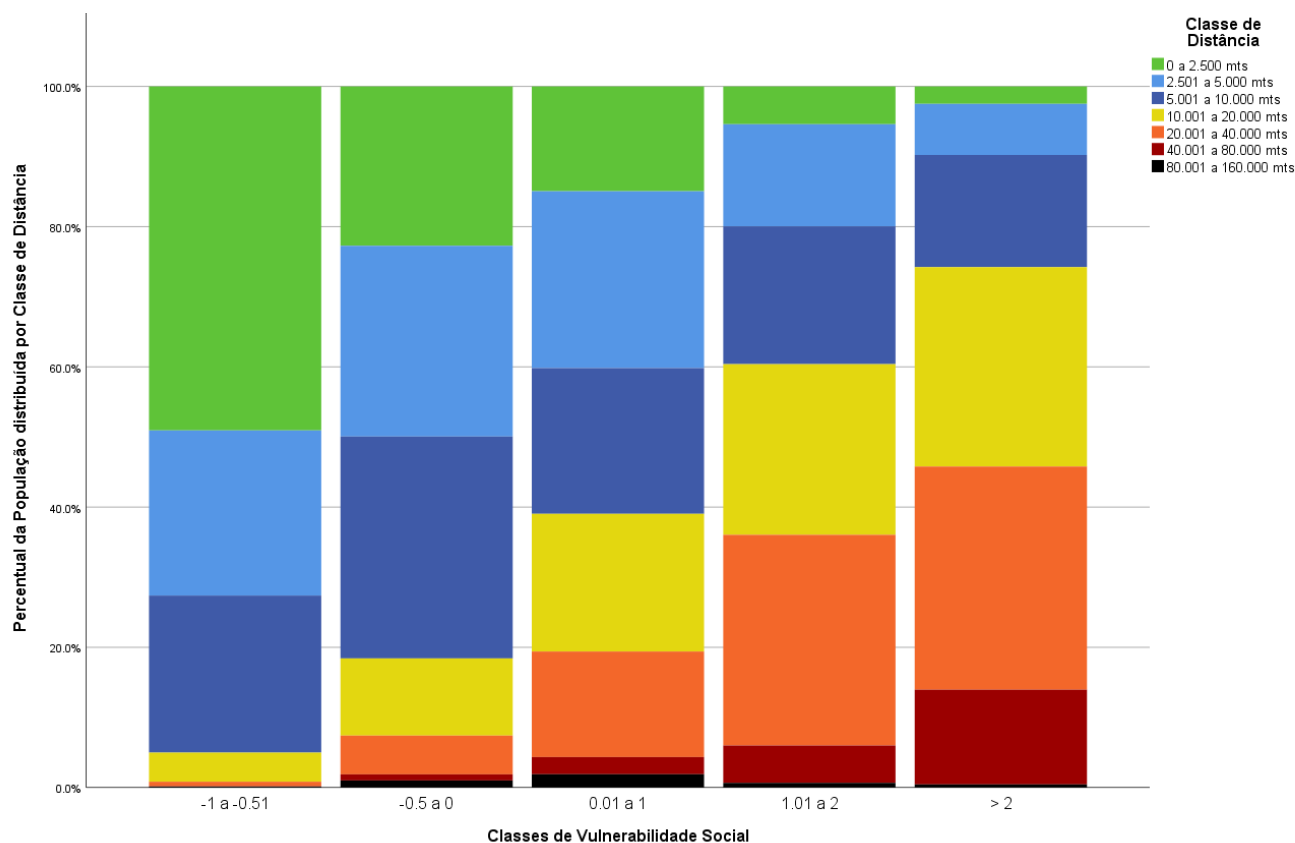
Cobertura de Leitos UTI Adulto Tipo II sobre a Demanda Potencial de 1% da População						
Estabelecimento	Distância P50/P75 (KM) (A)	Demanda Potencial (Centralidade) (B)	Demanda / Leito (C)	Centralidade Normalizada (D = E + F)	Centralidade Normalizada DF (E)	Centralidade Normalizada Entorno (F)
Hospital Reg. Sta Maria	10,9 / 25,2	6.067,66	209,23	0,171	0,038	0,133
Hospital Reg. Samambaia	6,7 / 19,0	5.664,53	283,23	0,160	0,139	0,021
Hospital DOMED (Ceilândia)	5,1 / 21,2	4.243,45	326,42	0,120	0,096	0,024
Hospital da Região Leste	21,3 / 40,7	3.547,63	394,18	0,100	0,074	0,026
Hospital Reg. de Sobradinho	19,8 / 34,7	3.211,78	535,30	0,091	0,073	0,018
Hospital Reg. Taguatinga	7,9 / 24,7	2.462,27	410,38	0,069	0,060	0,009
Hospital Reg. Ceilândia	5,2 / 21,3	2.179,48	363,25	0,061	0,050	0,011
Hospital São Mateus (Cruzeiro)	6,5 / 8,5	1.881,08	235,14	0,053	0,052	0,001
Hospital da Região do Gama	22,0 / 29,9	1.772,46	221,56	0,050	0,036	0,014
Hospital Reg. Asa Norte	5,5 / 6,3	1.673,96	167,40	0,047	0,039	0,008
Hospital Materno Infantil de Brasil.	10,1 / 17,6	1.301,86	325,47	0,036	0,035	0,001
Cobertura de Leitos UTI Adulto Tipo III sobre a Demanda Potencial de 1% da População						
Inst. De Cardiologia do DF	22,0 / 34,6	16.465,77	823,29	0,466	0,360	0,106
Hospital de Base do DF	26,9 / 36,0	11.771,08	588,55	0,333	0,227	0,106
Hospital SARAH Brasília	26,9 / 36,1	7.056,59	588,05	0,199	0,136	0,063

Nota 1: Uma versão interativa do mapa com as unidades de saúde e a projeção da vulnerabilidade do território pode ser acessado em: <https://rpubs.com/costa/heatmapvul03>

Fonte: os autores, com base nos dados do CENSO 2010 (IBGE) e CNES Dez/2019

Na perspectiva do índice de vulnerabilidade relativo (Figura 1), calculado para a região do AMB, observa-se que, quanto maior é a condição de vulnerabilidade, maior é a barreira para acesso geográfico à respiradores. Em grande parte, esta população vulnerável encontra-se no entorno de Brasília (mapa interativo <https://rpubs.com/costa/heatmapvul01>), em municípios do Estado de Goiás, e tem o sistema de saúde do Distrito Federal como opção mais próxima para cobertura da lacuna assistencial destes municípios. Enquanto pouco mais de 1% da demanda potencial com origem no DF precisa percorrer mais de 20 quilômetros para ter acesso a um respirador, nos municípios do entorno analisados, esta proporção chega a 33%. Este número é alarmante ao observarmos que o total de relacionamentos do entorno corresponde 27,5% de todos os relacionamentos da rede e, ao mesmo tempo, concentra setores com maior vulnerabilidade relativa (Tabela 2), ou seja, 71% dos setores com mais de 1 desvio padrão da média de vulnerabilidade do território encontram-se na região do entorno do DF da AMB.

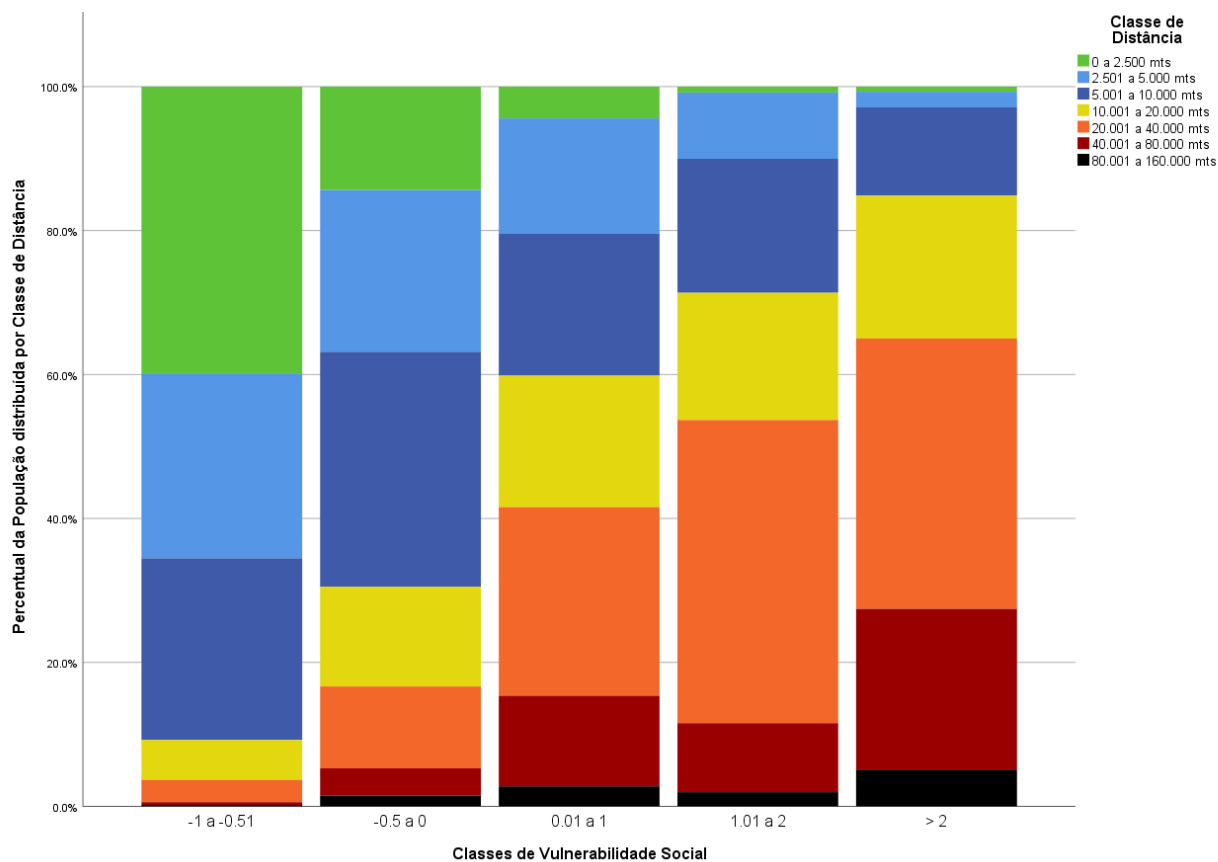
Gráfico 1 - Distribuição da distância para acesso à respiradores em função da vulnerabilidade social



Fonte: os autores, com base nos dados do CENSO 2010 (IBGE) e CNES Dez/2019

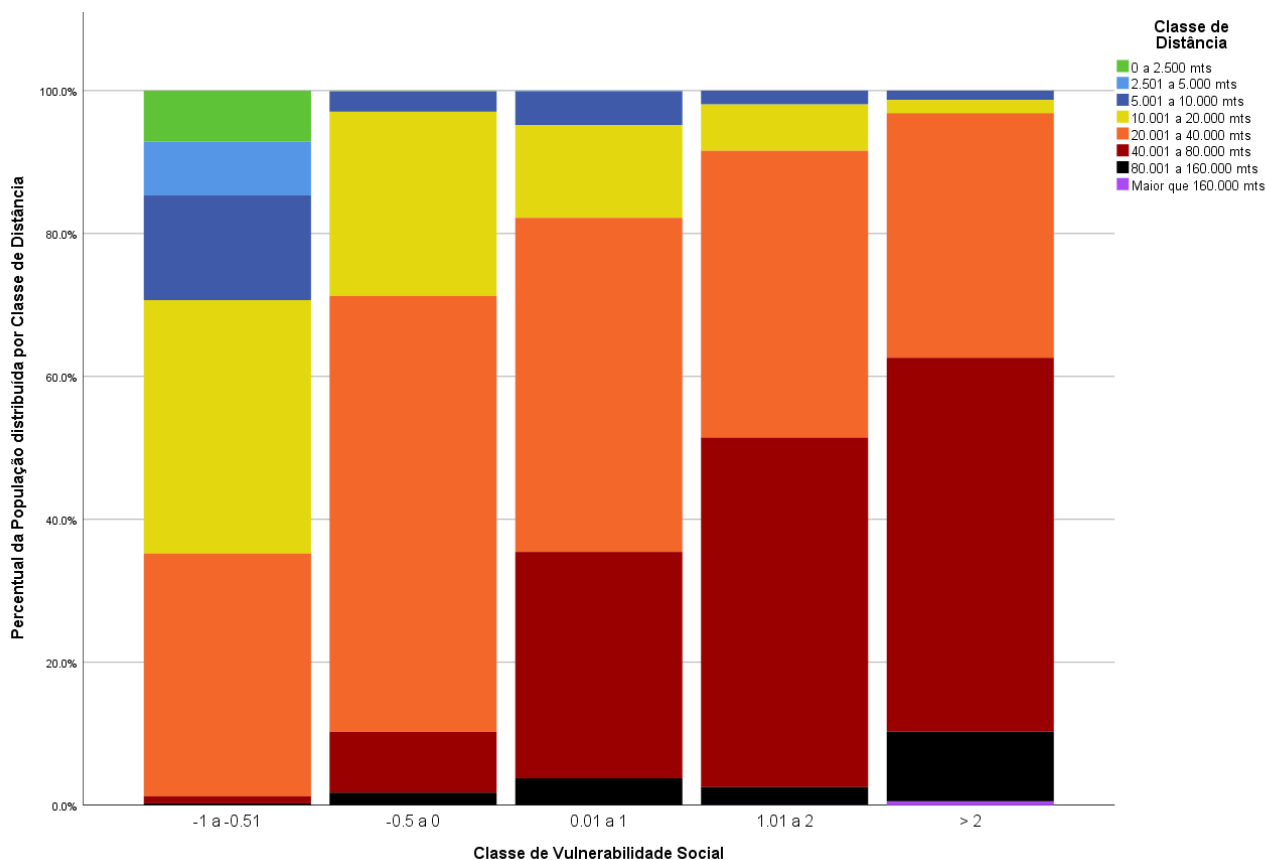
Esta relação entre distância média e vulnerabilidade social relativa se mantém quando analisamos a distribuição de Leitos Adultos Tipo II e III (Figura 2 e 3), aumentando ainda mais a distância entre os setores mais vulneráveis e os estabelecimentos que oferecem os leitos. Embora a centralização de recursos de maior complexidade seja um aspecto esperado, é relevante observar que mesmo em regiões de maior concentração populacional, como em Val Paraíso do Goiás e Luziânia, a ausência destes recursos leva a um aumento da demanda por leitos nos estabelecimentos de saúde localizados na borda do DF.

Gráfico 2 - Distribuição da distância para acesso à Leitos de UTI Adulto Tipo II em função da vulnerabilidade social



Fonte: os autores, com base nos dados do CENSO 2010 (IBGE) e CNES Dez/2019

Gráfico 3 - Distribuição da distância para acesso à Leitos de UTI Adulto Tipo III em função da vulnerabilidade social



Fonte: os autores, com base nos dados do CENSO 2010 (IBGE) e CNES Dez/2019

A distribuição da centralidade dos relacionamentos para os três recursos analisados demonstra que o modelo foi capaz de capturar uma forte dependência dos municípios do entorno da AMB à rede pública de saúde do DF na demanda à recursos críticos para o tratamento do COVID-19. Embora o entorno tenha o peso de 27,5% dos relacionamentos da rede, nenhum estabelecimento de saúde do entorno apresentou centralidade normalizada de pelo menos 3%. Desta maneira, o enfrentamento a uma epidemia com as características do COVID-19 em uma simulação de demanda de 1% da população teria potencial de causar uma sobrecarga no sistema de saúde do DF que não é refletido nos números de “recurso por população” tradicionalmente divulgados. Além disto, é importante lembrar que o modelo incluiu municípios adjacentes à AMB, pertencentes aos estados de Goiás e Minas Gerais, embora esta população não tenha sido objeto de análise, os estabelecimentos de saúde destas regiões foram utilizados quando esta era a opção mais próxima para um setor censitário da AMB.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo desenvolvido neste artigo apresentou a distribuição de recursos em período pré-COVID-19 (DEZ/2019), sob a perspectiva que parte do micro relacionamento entre cada setor censitário com os estabelecimentos de saúde próximos, simulando um cenário onde 1% da população destes setores censitários constituiria uma demanda potencial e, então, agregou os dados em função da análise destes relacionamentos e seu peso, medido na ordem da população potencial assistida em cada relacionamento.

Como todo modelo, que representa a realidade do objeto de estudo, existem limitações. Em primeiro lugar, é preciso considerar que o acesso aos serviços de saúde tem determinantes e características multidimensionais, tais como descritas pelos modelos apresentados por Andersen⁹ ou Penchansky e Thomas¹⁰. Além disto, o modelo usou distâncias euclidianas como parâmetro determinante da decisão sobre o uso de um ou outro estabelecimento de saúde, adotando a perspectiva da acessibilidade geográfica e, portanto, não considerando aspectos como a aceitabilidade do serviço pela população, por exemplo, que potencialmente afetaria a disponibilidade do serviço. Embora seja um conceito simples, a distância euclidiana pode ser um bom modelo de acessibilidade geográfica, por ser uma aproximação em geral adequada para regiões sem complexidade topográfica e com boa cobertura de malha urbana de ruas e avenidas^{21,22}

A discrepância entre a infraestrutura pública de assistência à saúde do Distrito Federal e dos municípios do entorno de Brasília é um fenômeno conhecido, e muitos são os fatores que levam a população do entorno buscar o sistema de saúde do DF, entre eles podemos citar, o encaminhamento pelas unidades de atenção básica, percepção de baixa resolutividade da rede de saúde do entorno em comparação com a rede de média e alta complexidade da capital federal, ausência de recursos ou serviços de média e alta complexidade, entre outros²³. Este desequilíbrio, expresso em diferentes realidades assistenciais, não pode se perder em recortes agregados da realidade, devendo estar presente e ser alvo de atenção em qualquer modelo que construa evidências para o planejamento de ações para o enfrentamento de crises sanitárias e epidemias, especialmente tratando-se de regiões metropolitanas integradas e com elevada mobilidade urbana.

Embora o Complexo Regulador em Saúde do DF conte com uma infraestrutura de central de regulação interestadual, esta estrutura opera no âmbito de procedimentos de alta

complexidade, havendo necessidade do desenvolvimento de ações pactuadas para a gestão do fluxo de assistência de saúde dos demais níveis de atenção dentro do território metropolitano formado pelo Distrito Federal e Goiás²⁴. Ações isoladas e sem um planejamento integrado, podem causar fricções entre os agentes responsáveis pela condução das políticas públicas, especialmente em uma pandemia, onde há um desequilíbrio da estrutura demanda e oferta de serviços. Um exemplo disto foi observado na própria AMB quando veículos de imprensa noticiaram²⁵ que o Governo do Distrito Federal consideraria, por decreto, impedir o acesso à saúde da população residente no Goiás à rede de saúde pública do DF.

REFERÊNCIAS

1. Vergano M, Bertolini G, Giannini A, et al. Clinical Ethics Recommendations for the Allocation of Intensive Care Treatments, in Exceptional, Resource-Limited Circumstances. Italian Society of Anesthesia, Analgesia, Resuscitation, and Intensive Care (SIAARTI). March 16, 2020, [acesso em 20 de jul 2020]. Disponível em: <http://www.siaarti.it/SiteAssets/News/COVID19%20-%20documenti%20SIAARTI/SIAARTI%20-%20Covid19%20-%20Raccomandazioni%20di%20etica%20clinica.pdf>
2. Mounk, Y. The extraordinary decisions facing Italian doctors. The Atlantic. March 11, 2020. [acesso em 20 de jul 2020]. Disponível em: <https://www.theatlantic.com/ideas/archive/2020/03/who-gets-hospital-bed/607807/>
3. World Health Organization, COVID-19 situation in the European Region. [acesso em 10 de maio 2020]. Disponível em <https://who.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/ead3c6475654481ca51c248d52ab9c61>
4. Remuzzi A, Remuzzi G. COVID-19 and Italy: what next? The Lancet; March 12, 2020, 396, 1225-28. [acesso em 10 de maio 2020]. Disponível em: [https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(20\)30627-9.pdf](https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(20)30627-9.pdf).
5. Marcia C Castro, Lucas Resende de Carvalho, Taylor Chin, Rebecca Kahn, Giovanni V. A. Franca, Eduardo Marques Macario, Wanderson Kleber de Oliveira. Demand for hospitalization services for COVID-19 patients in Brazil. PRE-PRINT: *MedRxiv*, 2020.03.30.20047662. [acesso em 10 de maio 2020]. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.30.20047662v1>
6. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. Canal de Monitoração COVID-19, [acesso em 8 de maio 2020]. Disponível em <https://covid19.ibge.gov.br/>
7. BRASIL. Delimitação do Espaço Metropolitano de Brasília, Nota Técnica 1/2014, CODEPLAN, 2014. [acesso em 8 de maio 2020]. Disponível em <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/NT-N%C2%BA-01-2014->

[Delimita%C3%A7%C3%A3o-do-Espa%C3%A7o-Metropolitando-de-Bras%C3%ADlia-%C3%81rea-Metropolitanda-de-Bras%C3%ADlia.pdf](#)

8. Guagliardo, M. F. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges, *International Journal of Health Geographics*, 3(1), 3, 2004, 1-13
9. Andersen RM. Revisiting the Behavioral Model and Access to Medical Care: Does It Matter? *Journal of Health and Social Behavior* 1995; 36(1):1-10.
10. Penchansky R, Thomas JW. The concept of access – definition and relationship to consumer satisfaction. *Med Care* 1981; 19(2):127-140.
11. Brasil. Ministério da Saúde, Departamento de Informática do SUS. CNES, Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (Site institucional). [acesso em 8 de maio 2020] Disponível em <http://cnes.datasus.gov.br/pages/sobre/institucional.jsp> 2018.
12. Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Guia do Censo. [acessado 2020 Abr 12]. Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>
13. Costa, D.R.T, Barreto, J.O.M., Sampaio, R.B. Modelo Teórico-Metodológico baseado na Teoria de Redes Complexas para Análise da Oferta Potencial dos Serviços de Saúde.. *Ciência & Saúde Coletiva* [periódico na internet] (2020/Mai). [acesso em 10 de jul 2020] Disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/modelo-teoricometodologico-baseado-na-teoria-de-redes-complexas-para-analise-da-oferta-potencial-dos-servicos-de-saude/17586?id=17586>
14. DRACHLER, Maria de Lourdes *et al.* Desenvolvimento e validação de um índice de vulnerabilidade social aplicado a políticas públicas do SUS. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro , v. 19, n. 9, p. 3849-3858, Sept. 2014 . [acesso em 10 de jul 2020]. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232014000903849&lng=en&nrm=iso
15. Page L, Brin S, Motwani R, Winograd T. *The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web*. Technical Report. Stanford InfoLab 1999. [acessado 2019 Jun 10]. Disponível em: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>.
16. Freeman LC. Centrality in Social Network Conceptual Clarification. *Social Networks* 1978; 1(3):215-239.
17. Borgatti SP, Everett MG. Network analysis of 2-mode data. *Social Networks* 1997; 19(3):243–269.
18. Everett MG, Borgatti SP. The Centrality of Groups and Classes. *Journal of Mathematical Sociology* 1999; 23(3): 181-201.
19. Bastian M., Heymann S, Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks [computer program] .*International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009

20. R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria, [computer program]. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
21. Apparicio, P., Gelb, J., Dubé, A.-S., Kingham, S., Gauvin, L., & Robitaille, É. (2017). The approaches to measuring the potential spatial access to urban health services revisited: distance types and aggregation-error issues. *International Journal of Health Geographics*, 16(1). doi:10.1186/s12942-017-0105-9
22. Jones SG, Ashby AJ, Momin SR, Naidoo A. Spacial Implications Associated with Using Euclidean Distance Measurements and Geographic Centroid Imputation in Health Care Research; *Health Service Research* 2010; 45(1):316-327
23. Pires Maria Raquel Gomes Maia, Göttems Leila Bernarda Donato, Martins Cristiano Mundim Ferreira, Guilhem Dirce, Alves Elioenai Dornelles. Oferta e demanda por média complexidade/SUS: relação com atenção básica. *Ciênc. saúde coletiva* [Internet]. 2010 ; 15(Suppl 1): 1009-1019. [acessado 2019 Jun 10]. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232010000700007&lng=pt.%20%20https://doi.org/10.1590/S1413-81232010000700007
24. Batista Sandro Rodrigues, Vilarins Geisa Cristina Modesto, Lima Mirlene Guedes de, Silveira Talita Braga. The Regulatory Complex for Health Care in the Federal District, Brazil and the challenge for integrating levels of health care. *Ciênc. saúde coletiva* [Internet]; 24(6): 2043-2052. [acessado 2019 Jun 10]. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232019000602043&lng=en.%20%20Epub%20June%202019.%20%20http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232018246.08132019
25. “COVID-19: DF quer fechar hospitais a pessoas que moram em Goiás “, Agência Brasil, Empresa Brasileira de Comunicação, Publicado 14 de Abril de 2020, [acessado 2019 Jun 10]. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2020-05/covid-19-df-quer-fechar-hospitais-pessoas-que-moram-em-goias>

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de técnicas modernas de análise de dados é um fator importante para a exploração e validação de hipóteses dinâmicas associadas ao sistema de saúde público brasileiro. Geramos a cada segundo uma quantidade imensa de dados associados a notificações de agravo, procedimentos médicos e operacionais, atualizações cadastrais, regulação de acesso, logística e distribuição de recursos, imunização, entre diversos outros controles presentes desde a atividade cotidiana dos agentes comunitários e estabelecimentos de atenção básica até a complexidade tecnológica dos hospitais. Portanto, ter a mão ferramentas que permitam o

cruzamento e análise desse infinito turbilhão de dados é fundamental para sermos capazes de criar políticas públicas informadas por evidências.

Teoria de Redes Complexas, Dinâmica de Sistemas e técnicas de modelagem estatísticas são algumas formas de se transformar dados em informações através de técnicas de modelagem de uma realidade teórica. Alguns poderão ser céticos ao depender da frieza dos números para a tomada de decisões importantes que afetam a vida de milhões de pessoas, contudo, é importante perceber que a arte da modelagem não consiste somente do sentido dos números, mas, ao contrário disto, no olhar e na percepção humana que dá o colorido a este modelo e suas formulações. Deste modo, matemáticos, estatísticos e cientistas da computação serão ferramentas destituídas de sentido se não houver profissionais de saúde coletiva, enfermeiros, médicos e gestores públicos envolvidos na concepção da modelagem e na validação de seus resultados.

Este trabalho buscou explorar a Teoria de Redes Complexas como uma ferramenta de modelagem e análise, dando ênfase aos relacionamentos, principal objeto desta ciência. O primeiro artigo teve como objetivo estabelecer as bases que orientariam as demais construções, representando, portanto, o marco teórico-metodológico do trabalho. Das explorações, tanto no âmbito da literatura quanto dos dados, várias ideias surgiram, por exemplo, no artigo *'Socioeconomic inequalities in the quality of primary care delivered by family health teams under Brazil's national pay-for-performance programme'* (artigo submetido a Lancet em revisão) contribuições foram feitas no âmbito da exploração das relações espaciais dos estabelecimentos de saúde, equipes de saúde da família e a relação com os dados socioeconômicos incluídos no CENSO de 2010.

Outros cenários foram explorados como a acessibilidade geográfica à serviços de urgência e emergência e seu contraste com a vulnerabilidade social dos setores censitários, artigo que, em virtude do eminente debate ocasionado pela COVID-19, foi deixado de lado e substituído pelo trabalho realizado em *'Como estávamos antes? Uma análise da oferta potencial e desigualdade de acesso geográfico à recursos críticos para o tratamento de COVID-19'*. A ideia deste segundo artigo surge em meados de março de 2020 e torna-se concreto no mês seguinte, sua importância para este trabalho reside em dois aspectos, primeiro, ele representa uma análise concreta utilizando as técnicas debatidas no primeiro artigo sobre um tema relevante e atual, segundo, o modelo foi capaz de lançar luz sobre como, muitas vezes, simplificamos excessivamente a forma que levantamos a distribuição de recursos e a cobertura

destes recursos, e utilizando ferramentas diferentes fomos capazes de traçar uma visão muito mais detalhada a respeito de onde poderiam estar os vazios assistenciais na atenção ao COVID-19 dentro do território Brasília / Entorno.

Por fim, qualquer processo de modelagem envolve renúncias, manifestadas na limitação imposta pelo desafio de identificar e escolher as variáveis, suas relações na formulação do modelo, seguido da frustração que enfrentamos ao ficarmos conscientes que não dispomos de todos os dados que gostaríamos de ter, sem falar nas inconsistências que nos desafiam o tempo todo. Por outro lado, tais limitações podem ser vistas também como um amplo campo de oportunidades futuras de estudo, por exemplo, no âmbito do acesso, a incorporação de outras dimensões como o comparativo da jornada transversal entre o acesso potencial, com o acesso realizado e sua eficácia representa uma empolgante oportunidade no campo da triangulação de métodos, analisando os aspectos quantitativos presentes no acesso potencial e realizado, com os aspectos qualitativos presentes na percepção de qualidade da atenção e na melhoria da condição de saúde. Além disto, no campo longitudinal, a cobertura geográfica em si pode nos contar uma história de como, ao longo do tempo, evolui a disposição e a acessibilidade dos serviços. Os dados estão ao nosso alcance, apenas esperando a curiosidade do pesquisador.

7. REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. A.; WALKER, G. J. Determinants of the utilization of maternal and child health services in Jordan. *Int J Epidemiol*, n.15(3), p. 404-407, 1986.
- ANDERSEN, R. M. Revisiting the Behavioral Model and Access to Medical Care: Does It Matter? *Journal of Health and Social Behavior*, n. 36(1): p. 1-10, 1995.
- BARABÁSI, A.; *Network Science*, Cambridge University Press, 2016
- BASTIAN, M., HEYMANN, S., JACOMY, M.. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009.
- BEAUCHAMP, M.A.; An improved index of Centrality. *Behavioral Science*, n. 10, p. 161-163, 1965.
- BERLINGERIO, M., COSCIA, M., GIANNOTTI, F., MONREALE, A., PEDRESCHI, D. Multidimensional networks: foundations of structural analysis. *World Wide Web*, n. 16, p. 567-593, 2013.
- BOCCALETTI, S., BIANCONI, G., CRIADO, R., DEL GENIO, C.I., GÓMEZ-GARDEÑES, J., ROMANCE, M., et al. The structure and dynamics of multilayer networks. 2014; Disponível em:
<http://arxiv.org/abs/1407.0742><http://dx.doi.org/10.1016/j.physrep.2014.07.001>
- BONACICH, P. Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification, *Journal of Mathematical Sociology*, n. 2(1), p. 113-120, 1972.
- _____. Power and Centrality: A Family of Measures, *American Journal of Sociology*, n. 92(5), p. 1170-1182, 1987.
- BORGATTI, S. P., EVERETT, M. G. Network analysis of 2-mode data. *Social Networks*, n. 19(3), p. 243–269, 1997
- BORGATTI, S.P., MEHRA A, BRASS, D.J., LABIANCA, G. Network analysis in the social sciences, *Science*, n. 323, p. 892–895, 2009.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução No 1, de 29 de setembro de 2011. Disponível em http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cit/2011/res0001_29_09_2011.html, 2011. Acessado em 21 de abril de 2018
- BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS. CNES, Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (Site institucional). Disponível em <http://cnes.datasus.gov.br/pages/sobre/institucional.jsp>, 2018a. Acesso em 12 de Abril de 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Guia do Censo. Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>, 2018b. Acesso em 12 de Abril de 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS. Catálogo de Serviços. Disponível em <http://datasus.saude.gov.br/interoperabilidade/catalogo-de-servicos>, 2018c. Acesso em 8 de Outubro de 2018.

BRASIL. Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal. Mapa das Unidades de Saúde. Disponível em <http://salasit.saude.df.gov.br/mapa-unidades-de-saude/>, 2018d. Acesso em 8 de Outubro de 2018.

BRASIL. Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros - editores: Marco Aurélio Costa, Bárbara Oliveira Marguti, IPEA, 2015a.

BRASIL. A Atenção Primária e as Redes de Atenção à Saúde. Vol. 21, CONASS. 2015b.

BRASIL. Delimitação do Espaço Metropolitano de Brasília, Nota Técnica 1/2014, CODEPLAN, 2014. Disponível em <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/NT-N%C2%BA-01-2014-Delimita%C3%A7%C3%A3o-do-Espa%C3%A7o-Metropolitando-de-Bras%C3%ADlia-%C3%81rea-Metropolitanda-de-Bras%C3%ADlia.pdf>

BRAVEMAN, P., GRUSKIN, S., Defining equity in health, *Journal of Epidemiology and Community Health*, n. 57, p. 254–258, 2003.

CAMPBELL, S.; ROLAND, M.; BUETOW, S. Defining quality of care, *Social Science & Medicine*, n. 51, p. 1611–1625, 2000.

CHAMBERS, D.; WILSON, P.; THOMPSON, C.; HARDEN, M.; Social Network Analysis in Healthcare Settings: A Systematic Scoping Review, *PLoS ONE*, n. 7(8), 2012

COSTA, D.R.T, BARRETO, J.O.M., SAMPAIO, R.B. Modelo Teórico-Metodológico baseado na Teoria de Redes Complexas para Análise da Oferta Potencial dos Serviços de Saúde.. *Ciência & Saúde Coletiva* [periódico na internet] (2020/Mai). [acesso em 10 de jul 2020] Disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/modelo-teoricometodologico-baseado-na-teoria-de-redes-complexas-para-analise-da-oferta-potencial-dos-servicos-de-saude/17586?id=17586>

DELAMATER, P.L., MESSINA, J.P., SHORTRIDGE A.M., GRADY, S.C. Measuring geographic access to health care: raster and network-based methods. *International Journal of Health Geographics*, n. 11(1), 2012. Disponível em: <https://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-072X-11-15>

DRACHLER, M. L.; LOBATO, M. A. O.; LERMEN, J. I.; FAGUNDES, S.; FERLA, A. A.; DRACHLER, C. W; TEIXEIRA, L. B.; LEITE, J. C. C. Desenvolvimento e validação de um índice de vulnerabilidade social aplicado a políticas públicas do SUS. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p. 3849-3858, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232014000903849&lng=en&nrm=iso

FAUST, K; Centrality in affiliation networks. *Social Networks*, n.19(2), p. 157-191, 1997.

FEIKIN, D. R.; NGUYEN, L. M.; ADAZU, K.; OMBOK, M.; AUDI, A.; SLUTSKER, L.; LINDBLADE, K. A. The impact of distance of residence from a peripheral health facility on pediatric health utilisation in rural western Kenya. *Trop Med Int Health*, n. 14(1), p. 54–61, 2009

FORTNEY, J.; ROST, K.; WARREN, J. Comparing Alternative Methods of Measuring Geographic Access to Health Services, *Health Services and Outcomes Research Methodology*, n. 1(2), p. 173–184, 2000.

FREMAN, L.C. Turning a profit from mathematics: The case of social networks. *The Journal of Mathematical Sociology*, n.10, p. 343–60, 1984.

_____. Centrality in Social Network Conceptual Clarification. *Social Networks*, n. 1(3), p. 215-239, 1978.

EVERETT, M.G; BORGATTI S.P.; JOHNSON, J.C. *Analyzing Social Networks*, Sage, London, 2013.

_____. Extending Centrality. IN CARRINGTON P.J; SCOTT J.; WASSERMAN, S;. *Models and Methods in Social Network Analysis*. New York, Cambridge University Press, 2005

_____. The Centrality of Groups and Classes. *Journal of Mathematical Sociology*; n. 23(3), p. 181-201, 1999.

GOOGLE MAPS. Google Maps Directions API. Disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/start>. Acessado em 20 de outubro de 2018.

GIL, A.C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GUAGLIARDO, M. F. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges, *International Journal of Health Geographics*, n. 3(1), 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-3>

HIGGS, G. The role of GIS for health utilization studies: literature review; *Health Services and Outcomes Research Methodology*, n. 9(2), p. 84-99, 2009

HUERTA, M. U; KALLESTAL, C. Geographical accessibility and spatial coverage modeling of the primary health care network in the Western Province of Rwanda. *Int J Health Geogr*, n. 11, p. 40, 2012

JONES, S.G.; ASHBY, A.J.; MOMIN, S.R.; NAIDOO, A. Spatial Implications Associated with Using Euclidean Distance Measurements and Geographic Centroid Imputation in Health Care Research; *Health Service Research*, n. 45(1), p. 316-327, 2010

LAW, M. R.; HEARD, D.; FISHER, J.; DOUILLARD, J.; MUZIKA, G.; SKETRIS, I. S. The geographic accessibility of pharmacies in Nova Scotia. *Canadian Pharmacists Journal / Revue Des Pharmaciens Du Canada*, n. 146(1), p. 39–46, 2013

MENDES, E.V., As redes de atenção à Saúde. / Eugênio Vilaça Mendes, Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2011.

MORAES, Ilara H. S. Sala de Situação em Saúde: contribuição à ampliação da capacidade gestora do Estado? In: ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Sala de situação em saúde: compartilhando as experiências do Brasil. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde; Ministério da Saúde, p. 21-38, 2010

MORAIS, Rinaldo Macedo de; COSTA, André Lucirton. Um modelo para avaliação de sistemas de informação do SUS de abrangência nacional: o processo de seleção e estruturação de indicadores. Rev. Adm. Pública, Rio de Janeiro, v. 48, n. 3, p. 767-793, 2014. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122014000300011&lng=pt&nrm=iso.

MORENO, J. L., Who Shall Survive? Nervous and Mental Disease Publishing Company, Washington, D.C., 1934.

NEWMAN, M.E.J. Networks: An Introduction, Oxford University Press, 2010.

NEWMAN, M. E. J. Analysis of weighted networks. Physical Review E, n. 70(5), 2004

OWEN, K. K.; OBREGÓN, E. J.; JACOBSEN, K. H. A geographic analysis of access to health services in rural Guatemala. International Health, n. 2(2), p. 143–149, 2010

PAGE, L.; BRIN, S., MOTWANI, R.; WINOGRAD, T. The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. Technical Report. Stanford InfoLab, 1999. Disponível em: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>

PENCHANSKY, R., THOMAS, J. W. The concept of access – definition and relationship to consumer satisfaction. Med Care, n. 19(2), p. 127-140, 1981

R CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria, 2020 [computer program]. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Boston, MA, 2015. Disponível em: <https://www.rstudio.com/>. Acessado em 2 de maio de 2018.

SALTON, G. MCGILL, M.J. Introduction to Modern Information Retrieval. McGraw-Hill Book Co.. New York, p. 377-380, 1983.

STARFIELD, B. Atenção primária: equilíbrio entre necessidade de saúde, serviços e tecnologia. Brasília : UNESCO: Ministério da Saúde, 2004.

SPORNS, O., TONONI, G., & KOTTER, R. The Human Connectome: A Structural Description of the Human Brain. PLoS Computational Biology, n. 1(4), 2005

UDDIN, S.; HOSSAIN, L.; HAMRA, J.; ALAM, A. A study of physician collaborations through social network and exponential random graph. BMC Health Services Research, n. 13(1), 2013.

VIEGAS, Selma Maria da Fonseca; PENNA, Cláudia Maria de Mattos. O SUS é universal, mas vivemos de cotas. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 181-190, 2013. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232013000100019&lng=en&nrm=iso.

WASSERMAN, S., FAUST, K., *Social Network Analysis Methods and Applications*, Cambridge University Press, 1994.

WILSON, T. P. Relational networks: An extension of sociometric concepts. *Social Networks*, n. 4(2), p. 105–116, 1982

8. ANEXO A

A seguir estão listadas as referências públicas para os códigos fonte, bases de dados e scripts de análise desenvolvidos e utilizados ao longo desta pesquisa.

i. Bases de Dados:

https://1drv.ms/u/s!Aj_DSiuiwBBekDqBGrXJ0z-kYplv?e=CWiZzd

ii. Códigos Fonte para montagem da Rede

https://1drv.ms/u/s!Aj_DSiuiwBBegtRwpasCZalh82pfBQ?e=zp5ua2

iii. Scripts R de Análises e Tratamento dos Dados

https://1drv.ms/u/s!Aj_DSiuiwBBegtRxNqisGUNeb73Xmg?e=Ffupsd