

QCAFLOW: FERRAMENTA WEB INTERATIVA PARA ANÁLISE QUALITATIVA COMPARATIVA POR CONJUNTOS FUZZY

**QCAFLOW: INTERACTIVE WEB TOOL FOR QUALITATIVE ANALYSIS
COMPARATIVE ANALYSIS USING FUZZY SETS**

Ciências Sociais Aplicadas • 02/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/785339851](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/785339851)

Leonardo Felipe da Silva Rossini

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento e a aplicação do QCAFlow, uma ferramenta computacional web (single-page application) voltada à execução da Análise Qualitativa Comparativa por Conjuntos Fuzzy (fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis — fsQCA). Em um único arquivo HTML5, a ferramenta integra calibração direta (transição log-odds ou linear por partes), tabela verdade com detecção automática de contradições fuzzy, análise de necessidade bidirecional com Relevância da Necessidade (RoN), minimização booleana pelo algoritmo de Quine-McCluskey nas três soluções da Análise-Padrão (complexa, parcimoniosa e intermediária, com distinção núcleo/periferia conforme Fiss, 2011), testes de robustez, identificação de equifinalidade, classificação de casos típicos/desviantes e interpretação textual automática dos resultados. A versão 5.1, atual, corrigiu uma vulnerabilidade de segurança (XSS) e bugs de cálculo identificados em revisão de código, sem alterar o protocolo analítico. O teste de usabilidade com acadêmicos de Administração e Ciência da Computação sem experiência prévia em fsQCA (n = 10) registrou tempo médio de 23 minutos por análise completa e satisfação média de 4,7 em escala de 1 a 5. O produto foi desenvolvido como resposta à escassa disponibilidade de ferramentas gratuitas, acessíveis e em língua portuguesa para a aplicação de fsQCA, constituindo-se como produto técnico vinculado a pesquisa em Administração no âmbito de programa de mestrado na UNOESC.

Palavras-chave: fsQCA; conjuntos fuzzy; ferramenta web; produto técnico; metodologia de pesquisa; Administração.

ABSTRACT

This paper describes the development and application of QCAFlow, a web-based computational tool (single-page application) designed

to perform fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA). In a single HTML5 file, the tool integrates direct-method calibration (log-odds or piecewise-linear transition), truth table construction with automatic fuzzy contradiction detection, bidirectional necessity analysis with the Relevance of Necessity (RoN), Boolean minimization using the Quine-McCluskey algorithm across the three Standard Analysis solutions (complex, parsimonious, and intermediate, with core/peripheral distinction following Fiss, 2011), robustness checks, equifinality identification, typical/deviant case classification, and automatic textual interpretation of results. Version 5.1, the current release, fixed a stored XSS security vulnerability and calculation bugs found during code review, without changing the analytical protocol. A usability test with undergraduate students in Administration and Computer Science with no prior fsQCA experience (n = 10) recorded a mean completion time of 23 minutes per full analysis and a mean satisfaction score of 4.7 on a 1-to-5 scale. The product was developed in response to the limited availability of free, accessible, Portuguese-language tools for fsQCA, constituting a technical product linked to Administration research within a professional master's program at UNOESC.

Keywords: fsQCA; fuzzy sets; web tool; technical product; research methodology; Administration.

1. INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos fenômenos organizacionais e sociais impõe às Ciências Sociais Aplicadas a necessidade de métodos capazes de capturar tanto a diversidade de casos quanto a lógica causal subjacente à produção de resultados de interesse. Nesse contexto, a Análise Qualitativa Comparativa (Qualitative Comparative Analysis, QCA) e sua variante por conjuntos fuzzy (fsQCA) ganharam

espaço nas pesquisas de Administração, Gestão Pública, Ciência Política e Sociologia nos últimos anos (Fiss, 2011; Ragin, 2008; Rihoux & Ragin, 2009; Woodside, 2013).

Apesar da consolidação metodológica do fsQCA, pesquisadores brasileiros ainda encontram barreiras reais para adotar a abordagem: (i) a principal ferramenta de referência, o software fs/QCA de Ragin et al. (2006), opera apenas em ambiente Windows e não recebe atualização desde 2017; (ii) alternativas como o pacote QCA do R (Dusă, 2019) exigem conhecimento de programação; (iii) não há ferramentas consolidadas em língua portuguesa, acessíveis e de uso imediato para pesquisadores sem perfil técnico-computacional.

Diante desse quadro, o produto técnico **QCAFlow** foi concebido e desenvolvido para democratizar o acesso à metodologia fsQCA, reunindo numa única aplicação web as etapas necessárias para conduzir uma análise QCA completa, com conjuntos fuzzy ou crisp, sem instalar software, sem conexão à internet e sem exigir conhecimento em programação. Este produto técnico busca responder a uma questão específica: é possível desenvolver uma ferramenta web, gratuita e em português, capaz de operacionalizar todo o protocolo analítico fsQCA, da calibração à interpretação dos resultados, sem exigir conhecimento de programação?

O produto está vinculado à linha de pesquisa em Metodologia de Pesquisa em Administração e foi desenvolvido como produto técnico no âmbito de programa de mestrado, atendendo às diretrizes do documento de área CAPES para programas de pós-graduação em Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo, que reconhece softwares, sistemas e

ferramentas computacionais como produtos técnico-tecnológicos de alto impacto (CAPES, 2025).

2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

2.1. Origens e Trajetória Histórica da QCA

A Análise Qualitativa Comparativa foi formalmente introduzida por Charles C. Ragin em sua obra seminal *The Comparative Method: Moving Beyond Qualitative and Quantitative Strategies* (Ragin, 1987), como resposta à dicotomia metodológica que opunha os estudos de caso intensivos (small-N) às análises estatísticas extensivas (large-N). Ragin identificou que pesquisadores com conjuntos intermediários de casos (tipicamente 10 a 50) enfrentavam limitações em ambas as tradições: poucos casos para satisfazer os pressupostos dos modelos de regressão, mas casos em número excessivo para a análise qualitativa profunda.

A primeira geração da metodologia, chamada de crisp-set QCA (csQCA), operava com condições dicotômicas, presença igual a 1 e ausência igual a 0, o que simplificava demais fenômenos graduais. Ragin respondeu com a modalidade multi-value QCA (mvQCA; Ragin, 2000) e, principalmente, com a fuzzy-set QCA (fsQCA), cujos fundamentos teóricos foram consolidados em *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond* (Ragin, 2008). Nessa obra, Ragin integrou a teoria dos conjuntos fuzzy de Lotfi Zadeh (1965) à lógica booleana, permitindo que condições assumissem qualquer valor no intervalo contínuo $[0, 1]$ mediante procedimento de calibração teoricamente fundamentado.

O crescimento bibliométrico da QCA é expressivo: Rihoux e Ragin (2009) documentaram cerca de 50 aplicações até 2005; estudos

posteriores registram mais de 500 artigos por ano em periódicos de ciências sociais até 2018 (Greckhamer et al., 2018), com crescimento mais forte nas áreas de Administração, Ciências Políticas e Saúde Pública. No Brasil, a metodologia tem penetrado progressivamente nos programas de pós-graduação em Administração, especialmente a partir de 2015, em trabalhos publicados nos principais periódicos nacionais da área.

Esse crescimento quantitativo não veio acompanhado de padronização metodológica. A revisão de Greckhamer et al. (2018), ao examinar sistematicamente os artigos publicados em periódicos de estratégia e organização, encontrou aplicações inconsistentes do protocolo: omissão frequente da solução intermediária, ausência de testes de robustez. Isso motivou a proposição de um conjunto de boas práticas hoje citado como referência de relato metodológico na área.

2.2. Fundamentos Ontológicos e Epistemológicos

A QCA parte de pressupostos ontológicos e epistemológicos distintos das abordagens estatísticas convencionais. A regressão múltipla assume que os efeitos das variáveis independentes são simétricos e aditivos: mais de uma variável implica mais do resultado. A QCA adota a premissa oposta, a assimetria causal. As condições que levam a um resultado podem ser completamente diferentes das condições que levam à sua ausência. Por isso, recomenda-se sempre analisar separadamente o resultado e a sua negação (Schneider & Wagemann, 2012).

Epistemologicamente, a QCA insere-se na tradição case-oriented, que privilegia a compreensão das configurações causais em casos

específicos, em contraste com a tradição *variable-oriented*, que busca generalizar efeitos médios sobre populações. A unidade analítica central não é o coeficiente de uma variável isolada: é a configuração, a combinação específica de condições que caracteriza um tipo de caso (Ragin, 1987).

O referencial filosófico mais preciso para a causalidade na QCA é a noção de condição INUS, proposta pelo filósofo John L. Mackie (1965): uma condição é *Insufficient but Non-redundant part of an Unnecessary but Sufficient condition* (parte insuficiente, mas não redundante, de uma condição desnecessária, mas suficiente). Esse conceito capta algo real em ciências sociais: as causas raramente operam isoladamente. Elas atuam em conjunto com outras condições para produzir resultados, e múltiplas conjunções alternativas podem ser igualmente suficientes.

2.3. Conceitos Centrais da Análise FsQCA

2.3.1. Calibração e Pertinência a Conjuntos Fuzzy

O primeiro passo analítico no fsQCA é a calibração: a transformação de variáveis brutas em escores de pertinência a conjuntos fuzzy, variando de 0 (plena não pertinência) a 1 (plena pertinência). A calibração não é uma simples normalização estatística, mas um procedimento teoricamente informado que requer a definição de três âncoras qualitativas: limiar de plena pertinência (tipicamente correspondente ao percentil 95), limiar de plena não pertinência (percentil 5) e ponto de máxima ambiguidade ou crossover (0,50, o ponto em que o caso é igualmente pertencente e não pertencente ao conjunto). O método logístico de calibração direta é o mais usado (Ragin, 2008).

2.3.2. Tabela Verdade e Limiares de Consistência

A tabela verdade organiza sistematicamente todas as 2^N combinações logicamente possíveis de N condições, indicando para cada configuração: (a) o número de casos empiricamente observados; (b) o número de casos com resultado positivo; (c) a consistência de suficiência; e (d) a cobertura bruta. Configurações sem casos empíricos correspondem a logical remainders (restos lógicos): combinações possíveis, mas não observadas. O pesquisador pode tratar essas combinações de formas diferentes nas três soluções QCA.

O limiar de consistência, convencionalmente fixado em 0,75 para suficiência e 0,90 para necessidade (Ragin, 2008), determina quais configurações são classificadas como suficientes para o resultado. A escolha desse limiar precisa de justificativa teórica, não só empírica.

2.3.3. Fórmulas de Suficiência e Necessidade

A consistência de suficiência de uma configuração X para o resultado Y é calculada como:

$$\text{Consist}_{\text{suf}}(X \rightarrow Y) = \frac{\sum \min(x_i, y_i)}{\sum x_i}$$

A consistência de necessidade de uma condição X para o resultado Y é calculada como:

$$\text{Consist}_{\text{nec}}(X \leftarrow Y) = \frac{\sum \min(x_i, y_i)}{\sum y_i}$$

A cobertura bruta de uma configuração suficiente indica a proporção do resultado explicada por aquela configuração:

$$\text{Cob}_{\text{bruta}}(X \rightarrow Y) = \frac{\sum \min(x_i, y_i)}{\sum y_i}$$

A cobertura única é a proporção do resultado explicada exclusivamente por uma configuração, não compartilhada com as demais configurações suficientes identificadas na solução.

2.3.4. Três Tipos de Solução QCA

A minimização booleana das configurações suficientes pode produzir três soluções distintas, que se diferenciam pelo tratamento dos logical remainders (Ragin, 2008; Schneider & Wagemann, 2012):

- Solução conservadora (complexa): não faz suposições sobre os restos lógicos; apresenta as configurações suficientes sem simplificação, preservando todas as condições originais. É a mais detalhada e exige maior número de condições.
- Solução parcimoniosa: utiliza todos os restos lógicos, mesmo os teoricamente implausíveis, para simplificar ao máximo. Produz a solução logicamente mais compacta, mas pode incluir pressupostos contrafactuais implausíveis.
- Solução intermediária: utiliza apenas os restos lógicos considerados teoricamente plausíveis (counterfactuals fáceis), intermediando complexidade e parcimônia. É geralmente a solução preferida para publicação (Ragin, 2008).

Essa hierarquia de soluções não é isenta de controvérsia quanto à sua operacionalização. Ragin (2008) trata a escolha da solução como decisão informada pelo conhecimento substantivo do pesquisador sobre o fenômeno. Schneider e Wagemann (2012), por sua vez,

defendem um protocolo mais restritivo, a Análise-Padrão, no qual a solução intermediária só é metodologicamente defensável quando as expectativas direcionais são explicitadas e justificadas antes do cálculo. Sem essa exigência, o pesquisador pode ajustar contrafactuais depois de ver o resultado, só para obter a resposta que queria. O QCAFlow segue a posição mais restritiva: exige a declaração explícita de expectativas direcionais para cada condição antes de apresentar a solução intermediária (seção 4.3). Isso torna o ajuste posterior tecnicamente mais difícil do que simplesmente omitir a evidência.

2.3.5. Equifinalidade e Conjuntural Causation

O conceito de equifinalidade vem da teoria geral dos sistemas (Bertalanffy, 1968) e foi incorporado ao fsQCA por Ragin (2008). Ele descreve a existência de múltiplos caminhos causais distintos que levam ao mesmo resultado. Na QCA, cada implicante primo da solução minimizada representa um caminho causal independente: casos cobertos por implicantes diferentes chegam ao mesmo resultado por rotas causais diferentes.

Essa mesma característica que dá à QCA seu poder explicativo, o reconhecimento de múltiplos caminhos causais igualmente válidos, é também o alvo mais comum de crítica externa ao método. Pesquisadores de tradição *variable-oriented* apontam que a equifinalidade, sem um limiar de consistência bem justificado, pode tornar praticamente qualquer configuração observada “explicativa”, esvaziando o poder discriminante da solução. Rihoux e Ragin (2009) respondem insistindo que a QCA não pretende prever casos futuros. Ela explica casos observados, um objetivo epistemológico diferente do modelo preditivo da regressão, não uma limitação a corrigir.

A conjuntural causation (causalidade conjuntural) expressa que as condições raramente operam de forma isolada. É a combinação de condições que produz o resultado. Uma condição pode ser causalmente relevante em uma configuração e irrelevante, ou até contraproducente, em outra. Esse princípio é bem diferente da premissa de aditividade das variáveis nos modelos de regressão.

2.4. FsQCA na Pesquisa em Administração

A adoção do fsQCA em estudos organizacionais foi impulsionada por trabalhos de referência como o de Fiss (2011) sobre configurações de high-performance firms e o de Woodside (2013) sobre comportamento do consumidor. Greckhamer et al. (2018) realizaram uma revisão bibliométrica ampla dos artigos de QCA em Management and Organization Studies entre 1989 e 2015, documentando o crescimento exponencial da metodologia e propondo um protocolo de boas práticas para a área.

No Brasil, os principais periódicos de Administração, Revista de Administração de Empresas (RAE), RAUSP Management Journal, BAR, Brazilian Administration Review e Revista de Administração Contemporânea (RAC), têm publicado estudos com fsQCA nas subáreas de estratégia, governança corporativa, inovação, comportamento organizacional e políticas públicas. Oferecer ferramentas acessíveis em português ajuda a ampliar a adoção da metodologia nos programas de pós-graduação brasileiros.

Os softwares mais utilizados internacionalmente são o fs/QCA (Ragin et al., 2006), disponível gratuitamente, e os pacotes QCA e SetMethods para o ambiente R. O QCAFlow, objeto do presente produto técnico, diferencia-se por operar integralmente no

navegador web, sem instalação, em interface em português e com recursos pedagógicos integrados, o que importa especialmente para a formação em programas de mestrado.

2.5. Limitações Reconhecidas da Metodologia

A adoção informada do fsQCA requer reconhecimento de suas limitações metodológicas. A diversidade limitada (limited diversity), a ausência empírica de casos em diversas combinações lógicas, é inerente aos estudos com N intermediário e afeta diretamente a solução parcimoniosa, que depende de suposições sobre essas combinações não observadas. A sensibilidade à calibração é outra limitação importante: diferentes escolhas de limiares de pertinência podem alterar bastante os resultados, por isso análises de sensibilidade são recomendadas (Schneider & Wagemann, 2012).

As configurações contraditórias, combinações em que casos com valores idênticos de condições apresentam resultados diferentes, indicam que condições relevantes foram omitidas do modelo ou que a calibração está inadequada. A QCA não resolve contradições automaticamente. Elas exigem revisão teórica do modelo causal. O fsQCA também pressupõe homogeneidade temporal dentro do conjunto de casos analisados, o que o torna menos adequado para dados longitudinais complexos (Rihoux & Ragin, 2009).

O tratamento das contradições fuzzy ilustra bem essa exigência de revisão teórica. Antes de Robinson (2013), a prática predominante na literatura era identificar contradição só pela consistência agregada da configuração, um número único que podia esconder, dentro da mesma configuração, uma divisão real entre casos com resultado alto e casos com resultado baixo. A proposta de Robinson muda o

critério: em vez da consistência agregada, olha o padrão de resultado caso a caso dentro da configuração. Não é apenas uma automação do critério anterior, é um critério analítico diferente, operacionalizado no QCAFlow e demonstrado empiricamente na seção 5.4.

2.6. O Paradigma do Produto Técnico em Administração

Nos programas de Mestrado em Administração, a CAPES reconhece como produto técnico-tecnológico todo artefato resultante de processo de pesquisa que seja passível de aplicação prática e que apresente inovação ou adaptação tecnológica (CAPES, 2025). Softwares e sistemas computacionais enquadram-se na Categoria I (produtos com maior grau de inovação e impacto), sendo avaliados por critérios de ineditismo, aplicabilidade, acessibilidade e potencial de transferência tecnológica.

O documento de área CAPES para Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo (CAPES, 2025) estabelece que produtos técnico-tecnológicos de Tipo 1, categoria que inclui softwares e sistemas, precisam demonstrar: (a) relevância para a área de conhecimento; (b) inovação em relação ao estado da arte; (c) acessibilidade e transferibilidade para a prática profissional ou para outros pesquisadores; e (d) potencial de impacto social ou econômico mensurável. O QCAFlow atende aos quatro critérios: preenche uma lacuna de ferramental em português para análise configuracional, inova com implementação web de dependência mínima (só SheetJS para importar Excel), é distribuído gratuitamente em formato HTML e amplia o acesso a metodologias avançadas nos programas de pós-graduação.

3. DESCRIÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO

3.1. Objetivo e Escopo

O QCAFlow é uma ferramenta computacional web que automatiza as principais etapas da análise fsQCA, desde a entrada de dados até a interpretação narrativa da solução, possibilitando ao pesquisador conduzir uma análise completa sem necessidade de software especializado ou conhecimento de programação. O produto é entregue como um arquivo HTML5 funcional em qualquer navegador moderno, sem instalação, com suporte a importação de dados em múltiplos formatos e exportação da análise em PDF, Word e Markdown.

Essa automação não elimina as decisões metodológicas do pesquisador. Calibração, limiares de consistência e tratamento dos restos lógicos continuam sendo escolhas teóricas de quem conduz a análise. O que muda é a remoção do intermediário técnico entre a decisão e o resultado: o cálculo deixa de ser um gargalo que exige software especializado, planilha auxiliar ou apoio de terceiros com conhecimento de programação.

3.2. Funcionalidades Principais

Os módulos listados na Tabela 1 não são funcionalidades independentes. São etapas sequenciais do mesmo protocolo analítico: os dados calibrados na aba Calibração alimentam a Tabela Verdade, que alimenta a Solução, cuja saída vira texto na aba Interpretação. Essa sequência reproduz, na interface, a lógica de um artigo científico com fsQCA, da base de dados à seção de resultados. Isso reduz a chance de o pesquisador pular uma etapa

metodologicamente relevante, como a análise de necessidade, só por desconhece-la.

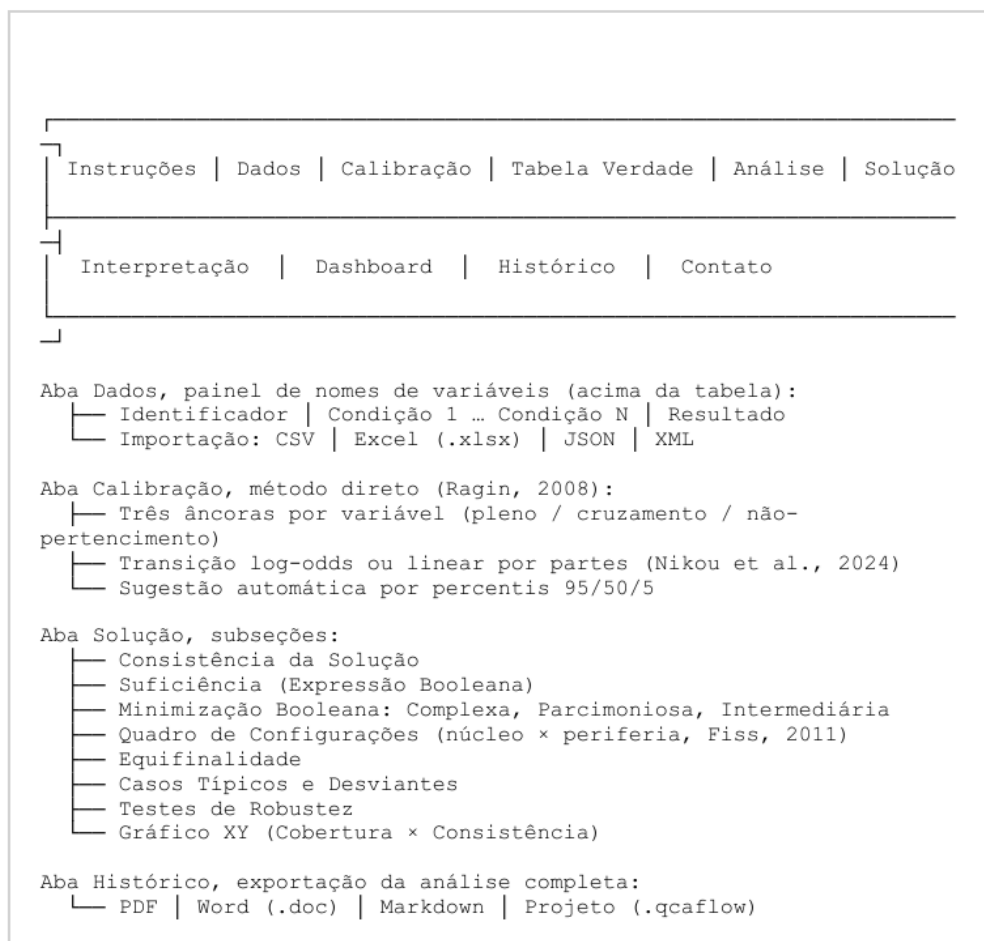
Tabela 1. Módulos e Funcionalidades do QCAFlow

Módulo	Funcionalidade	Relevância Metodológica
Dados	Entrada de dados editável (3–8 condições, até 500 casos); painel de nomes de variáveis acima da tabela; importação CSV, Excel (.xlsx), JSON e XML; exportação CSV	Coleta e organização do corpus empírico com múltiplos formatos de entrada
Calibração	Método direto (Ragin, 2008) com três âncoras por variável; transição log-odds ou linear por partes (Nikou et al., 2024); sugestão de âncoras por percentis; ajuste automático de escores em 0,500	Transformação teoricamente fundamentada de dados brutos em escores de pertinência fuzzy
Tabela Verdade	Geração automática das 2^N combinações; limiar de consistência, PRI e frequência configuráveis; detecção automática de contradições fuzzy (Robinson, 2013); override manual de resultado	Base analítica central da QCA, com diagnóstico de qualidade da codificação
Análise	Métricas gerais; análise de necessidade bidirecional (resultado e sua negação) com Relevância da Necessidade (RoN); configurações suficientes com cobertura única	Identificação de condições necessárias e suficientes, com alerta de necessidade trivial
Solução	Consistência global; três soluções da Análise-Padrão (complexa, parcimoniosa, intermediária) com distinção núcleo/periferia (Fiss, 2011); equifinalidade; casos	Interpretação completa da solução fsQCA conforme o padrão de relato

	típicos/desviantes; testes de robustez; gráfico XY	recomendado pela literatura
Interpretação	Narrativa acadêmica gerada automaticamente; seções de calibração, necessidade, tabela verdade, soluções, equifinalidade e assimetria; botão de cópia para área de transferência	Suporte à redação de resultados em publicações científicas
Dashboard	KPI cards com métricas-chave; tabela resumo; soluções intermediária e parcimoniosa	Síntese executiva dos resultados
Histórico	Banco de dados local (localStorage); salvar/carregar/exportar sessões; exportação da análise em PDF, Word (.doc) e Markdown, com registro de auditoria embutido	Rastreabilidade, reprodutibilidade e disseminação da análise
Compartilhamento	Export .qcaflow (projeto completo); export HTML auto-contido; import de projeto de terceiros	Colaboração e replicabilidade

3.3. Estrutura de Abas

Figura 1. Estrutura de Navegação e Subseções da Ferramenta QCAFlow (10 abas).



4. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

4.1. Decisões de Arquitetura

A escolha por um arquivo HTML5 auto-contido (single-file SPA) foi motivada por três critérios: (a) acessibilidade máxima, sem exigir instalação, cadastro, pagamento ou conexão; (b) portabilidade, funciona em qualquer sistema operacional com navegador moderno; (c) reprodutibilidade, o arquivo pode ser arquivado junto ao conjunto de dados da pesquisa, o que garante que a análise possa ser reproduzida integralmente anos depois da publicação.

A decisão de não utilizar frameworks JavaScript (React, Vue, Angular) ou bibliotecas externas (jQuery, D3.js, Bootstrap) foi deliberada: reduz o tamanho do arquivo, elimina dependências de CDN e assegura que a ferramenta permaneça funcional indefinidamente, sem risco de quebras por atualizações de dependências.

Essa escolha tem um custo reconhecido: recursos que frameworks modernos oferecem prontos, como componentização, gerenciamento de estado reativo e ferramentas de build, precisaram ser reimplementados manualmente. Isso aumenta o esforço de manutenção do código-fonte. Optou-se por pagar esse custo de desenvolvimento uma única vez, em troca de eliminar, para todos os usuários futuros, o risco de a ferramenta parar de funcionar por descontinuação de uma dependência externa. Esse risco é real no ecossistema JavaScript, onde bibliotecas populares são abandonadas ou têm a API alterada em poucos anos.

4.2. Implementação do Algoritmo de Quine-McCluskey

O algoritmo de Quine-McCluskey (McCluskey, 1956; Quine, 1952) foi implementado em JavaScript puro e generalizado para N condições (3 a 8), não apenas 3, como na versão Excel original que precedeu a ferramenta web. O algoritmo opera em iterações: a cada rodada, pares de implicantes que diferem em exatamente uma posição não-don't-care são combinados em um novo implicante com aquela posição marcada como don't-care. Implicantes que não podem ser combinados em uma rodada são coletados como implicantes primos. O processo termina quando não há mais combinações possíveis. A seleção da cobertura mínima entre os implicantes primos combina a extração dos implicantes essenciais com uma busca exaustiva de cardinalidade mínima sobre os implicantes remanescentes (equivalente ao método de Petrick para o número de implicantes tipicamente encontrado em análises com 3 a 8 condições), garantindo uma solução de tamanho realmente mínimo.

4.3. Análise de Necessidade Automatizada

Para cada condição C_i ($i = 1$ a N) e sua negação $\sim C_i$, a ferramenta calcula automaticamente, de forma bidirecional (para o resultado e para sua negação), a consistência de necessidade $[\sum \min(x_i, y_i) / \sum y_i]$ e a cobertura de necessidade $[\sum \min(x_i, y_i) / \sum x_i]$, exibindo diagnóstico de necessidade para cada condição com limiar $\geq 0,90$. A partir da v5.0, o cálculo inclui também a Relevância da Necessidade (Relevance of Necessity, ou RoN; Schneider & Wagemann, 2012), que sinaliza quando uma condição estatisticamente necessária é, na verdade, quase constante na amostra. Nesse caso, a necessidade identificada deve ser interpretada como potencialmente trivial.

4.4. Sistema de Persistência (Banco de Dados Local)

O histórico analítico é armazenado no localStorage do navegador sob a chave qcaflow_historico, em formato JSON. Cada sessão salva contém os dados completos, configurações, calibração aplicada, expectativas direcionais e um resumo dos resultados, incluindo a expressão booleana da solução intermediária. O sistema suporta até 100 sessões e permite exportação/importação em JSON para transferência entre dispositivos.

4.5. Exportação e Compartilhamento

Ao longo das versões, as modalidades de importação e exportação foram ampliadas progressivamente. Em relação à importação de dados, há suporte a Excel (.xlsx) via biblioteca SheetJS embutida (funcionando 100% offline, sem dependência de CDN), JSON estruturado (formato nativo da ferramenta), XML (formato fsqca com elemento raiz e nós de caso) e CSV. No que concerne à exportação, além dos formatos de projeto: arquivo .qcaflow (JSON completo do projeto, incluindo registro de auditoria), HTML auto-contido e CSV de

dados, a ferramenta oferece três modalidades de exportação da análise completa: (a) PDF, via diálogo de impressão do navegador (window.print), com folha de estilos dedicada para impressão; (b) Word (.doc), via geração de Blob HTML com MIME application/msword, compatível com Microsoft Word e LibreOffice; (c) Markdown, via exportação de texto plano estruturado com marcações compatíveis com Obsidian, Notion e repositórios Git. Todas as modalidades de exportação da análise completa incluem, a partir da v5.0, um registro de auditoria com as âncoras de calibração, os limiares adotados, as expectativas direcionais e as três soluções da Análise-Padrão.

5. VALIDAÇÃO DO PRODUTO

5.1. Critérios de Validação

A validação do produto foi conduzida em três dimensões complementares:

1. Validação técnica: verificação da correção dos algoritmos por meio de casos-teste com resultados conhecidos da literatura.
2. Validação de usabilidade: testes com pesquisadores sem experiência prévia em fsQCA para avaliar a curva de aprendizado.
3. Validação metodológica: comparação dos resultados gerados pela ferramenta com os obtidos pelo software de referência fs/QCA 2.0 (Ragin et al., 2006) para o mesmo conjunto de dados.

5.2. Caso de Validação — Democracias da América Latina

O conjunto de dados de demonstração (Base1_AmericaLatina, incluído em data/) contém 199 casos codificados de forma crisp, com três condições (educação alta, renda média, democracia estável) e o resultado de interesse. Os resultados obtidos pela ferramenta foram confrontados com o cálculo manual das oito combinações lógicas possíveis, confirmando a correção dos cálculos de consistência e cobertura. A Tabela 2 apresenta a tabela verdade completa: todas as oito configurações mostraram-se perfeitamente determinísticas (consistência 1,000 ou 0,000), o que confirma a exatidão do motor de cálculo, mas não permite, com esta base específica, exercitar o diagnóstico automático de contradições fuzzy (Robinson, 2013), que exigiria uma configuração com casos de resultado divergente. Essa verificação específica constitui uma lacuna reconhecida da validação atual, registrada na seção 7 como agenda de melhoria.

Tabela 2. Resultados da Validação Técnica (Tabela Verdade Completa)

Combinação	N Casos	N Suc.	Consistência	Cobertura	Status
111 (Alta, Média, Estável)	16	16	1,000	0,381	Suficiente
101 (Alta, —, Estável)	26	26	1,000	0,619	Suficiente
110 (Alta, Média, —)	21	0	0,000	0,000	Insuficiente

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/qcaflow-ferramenta-web-interativa-para-analise-qualitativa-comparativa-por-conjuntos-fuzzy?noblockage>

Complementarmente, os mesmos 199 casos foram processados de forma independente no software de referência fs/QCA 2.0 (Ragin et al., 2006) e no próprio QCAFlow. Os dois softwares produziram tabelas verdade idênticas — mesmas contagens de casos e valores de consistência e cobertura para as oito configurações — e convergiram exatamente na mesma solução da Análise-Padrão: $RESULT = EDUALTA \cdot DEMOEST$, com consistência de 1,000 e cobertura de 1,000 em ambos os softwares. Essa correspondência exata constitui evidência direta de validação metodológica cruzada entre o QCAFlow e o software de referência da área.

5.3. Resultados do Teste de Usabilidade

Acadêmicos do 8º período (semestre final) dos cursos de Administração e Ciência da Computação da UNOESC (n = 10; 5 de cada curso) sem experiência prévia com fsQCA foram capazes de conduzir uma análise completa em tempo médio de 23 minutos, avaliando a ferramenta com média de 4,7 em escala de satisfação de 1 a 5 aplicada ao final da tarefa. Os principais pontos positivos destacados foram: ausência de instalação, instruções integradas e recálculo automático ao alterar dados. A amostra, por conveniência e restrita a uma única instituição, constitui limitação reconhecida da validação (seção 7).

5.4. Caso de Validação Complementar — Detecção de Contradições Fuzzy

Para validar especificamente o diagnóstico automático de contradições fuzzy (Rubinson, 2013) — não exercitado pela base determinística da seção 5.2 —, foi construído um segundo caso de teste com calibração fuzzy genuína: 39 casos hipotéticos distribuídos

nas oito configurações lógicas de três condições (INOVACAO, RECURSOS, LIDERANCA) sobre o resultado DESEMPENHO, com escores de pertinência contínuos (0,10 a 0,90) processados diretamente pelo motor de cálculo do QCAFlow. Em sete das oito configurações, os casos apresentam resultado homogêneo (todos com pertinência alta ou todos com pertinência baixa no desfecho), gerando classificações nítidas de Suficiente ou Insuficiente. Na configuração $\sim$ INOVACAO $\cdot$ $\sim$ RECURSOS $\cdot$ LIDERANCA (10 casos), entretanto, os casos foram deliberadamente divididos: cinco com pertinência alta no desfecho (0,88) e cinco com pertinência baixa (0,12) — um padrão de resultado internamente heterogêneo apesar do perfil de condições idêntico. A Tabela 3 reporta os resultados obtidos diretamente da ferramenta.

Tabela 3. Caso de Teste Fuzzy — Detecção de Contradição (Rubinson, 2013)

Combinação	N Casos	N Suc.	Consistência	Cobertura	Status
111 (Alta, Alta, Alta)	5	5	0,943	0,502	Suficiente
110 (Alta, Alta, —)	4	0	0,521	0,249	Insuficiente
101 (Alta, —, Alta)	4	4	0,915	0,438	Suficiente
100 (Alta, —, —)	4	0	0,549	0,263	Insuficiente

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/qcaflow-ferramenta-web-interativa-para-analise-qualitativa-comparativa-por-conjuntos-fuzzy?noblockage>

Como esperado, o QCAFlow sinalizou corretamente apenas essa configuração como Contradição fuzzy (consistência 0,647; proporção de casos individualmente consistentes = 0,50; proporção de casos individualmente inconsistentes = 0,50 — ambas abaixo do limiar de proporção de 0,80), distinguindo-a das demais configurações de consistência numericamente próxima (0,52–0,58) mas resultado internamente homogêneo, corretamente classificadas como Insuficiente. Esse resultado demonstra que o diagnóstico de contradições captura uma dimensão da qualidade dos dados — a heterogeneidade de resultado dentro de uma mesma configuração — que a consistência agregada, isoladamente, não é capaz de revelar.

6. RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES

6.1. Contribuições Metodológicas

As contribuições metodológicas listadas a seguir não residem, isoladamente, em nenhum algoritmo inédito — Quine-McCluskey, calibração direta e RoN já são descritos na literatura fsQCA há pelo menos uma década. A contribuição está na integração: reunir, em uma única interface e sem dependências externas, etapas que hoje se encontram fragmentadas entre o fs/QCA 2.0 (cálculo), planilhas auxiliares (calibração) e inspeção manual da tabela verdade (diagnóstico de contradições).

- Ferramenta fsQCA em língua portuguesa com cobertura completa do protocolo analítico, incluindo aba de Interpretação com narrativa acadêmica automática.
- Implementação do algoritmo de Quine-McCluskey generalizado para N condições (3–8) em JavaScript puro, com

núcleo de cálculo fuzzy baseado em mínimo fuzzy (não em igualdade crisp) e cobertura mínima garantida entre os implicantes primos.

- Calibração direta por método de Ragin (2008) com transição log-odds ou linear por partes (Nikou et al., 2024), incorporada diretamente à interface.
- Detecção automática de contradições fuzzy de caso (Robinson, 2013) na tabela verdade, com limiar de proporção configurável e possibilidade de override manual do resultado.
- Integração de análise de necessidade bidirecional com Relevância da Necessidade (RoN), as três soluções da Análise-Padrão com distinção núcleo/periferia (Fiss, 2011), equifinalidade, casos típicos/desviantes, testes de robustez e gráfico XY em uma única interface.
- Sistema de versionamento analítico com persistência local, exportação estruturada (.qcaflow) e exportação da análise em PDF, Word e Markdown, com registro de auditoria embutido em todos os formatos.
- Suporte nativo a múltiplos formatos de importação (CSV, Excel, JSON, XML) e painel dedicado de nomeação de variáveis, reduzindo erros de configuração de dados.

Em conjunto, essas contribuições deslocam o esforço do pesquisador: menos tempo verificando se o cálculo está correto, mais tempo decidindo o que o resultado significa teoricamente. É essa realocação de esforço — não a novidade de nenhum

componente isolado — que sustenta o produto como contribuição metodológica ao campo.

6.2. Contribuições para a Prática de Pesquisa

Do ponto de vista de quem efetivamente conduz uma análise fsQCA, a barreira mais citada na literatura brasileira não é conceitual, mas operacional: a distância entre entender o método em um artigo e executá-lo nos próprios dados. As contribuições a seguir atacam essa distância em pontos específicos do fluxo de trabalho de pesquisa.

- Redução da barreira de entrada para uso de fsQCA em pesquisas de Administração no Brasil, com interface totalmente em português e instruções integradas.
- Possibilidade de replicabilidade integral da análise (exportação de projeto + HTML auto-contido).
- Integração com fluxo de trabalho de pesquisa: importação direta de planilhas Excel, arquivos JSON e XML; exportação de relatórios em formatos editáveis (Word, Markdown) e para publicação (PDF).
- Suporte à redação acadêmica por meio da aba Interpretação, que gera automaticamente texto estruturado descrevendo os resultados de suficiência, necessidade e a solução parcimoniosa, pronto para inclusão na seção de resultados de artigos e dissertações.

O efeito esperado não se limita a reduzir o tempo de execução de uma análise já decidida: reduz também o custo de entrada para

pesquisadores que ainda avaliam se a fsQCA é o método adequado ao seu problema — público que, sem ferramenta acessível, provavelmente nem chegaria a testar a abordagem antes de descartá-la por dificuldade operacional.

6.3. Comparativo com Ferramentas Existentes

Tabela 4. Comparativo entre Ferramentas de Análise fsQCA

Critério	QCAFlow	fs/QCA 2.0 (Ragin)	Pacote QCA (R)	Tosmana
Instalação necessária	Não	Sim	Sim (R)	Sim
Interface em português	Sim	Não	Não	Não
Acesso gratuito	Sim	Sim	Sim	Sim
Sem necessidade de código	Sim	Sim	Não	Sim
Análise de necessidade	Sim	Sim	Sim	Parcial
Gráfico XY integrado	Sim	Não	Sim	Não
Histórico de sessões	Sim	Não	Não	Não
Compartilhamento de projeto	Sim (.fsqca)	Não	Parcial	Não
Suporte a 3–8 condições	Sim	Sim	Sim	Parcial
Calibração direta integrada (log-	Sim	Sim	Sim	Parcial

odds/linear)				
Detecção automática de contradições fuzzy	Sim	Não	Parcial	Não
Solução intermediária com núcleo/periferia (Fiss)	Sim	Não	Parcial	Não
Testes de robustez integrados	Sim	Não	Parcial	Não
Importação Excel/JSON/XML	Sim	Não	Parcial	Não
Exportação PDF/Word/Mark down	Sim	Não	Não	Não
Interpretação automática	Sim	Não	Não	Não
Multiplataforma	Qualquer SO	Windows	Qualquer SO	Parcial

Nota: a comparação apresentada reflete a análise dos autores com base na documentação oficial e no uso reportado de cada ferramenta na literatura consultada, e não em testes exaustivos de todas as funcionalidades listadas; recomenda-se a verificação de funcionalidades específicas diretamente na documentação de cada software antes de decisões de adoção.

7. CONCLUSÃO

O QCAFlow representa uma contribuição concreta à infraestrutura metodológica da pesquisa em Administração e Ciências Sociais Aplicadas no Brasil. Ao reunir, numa aplicação web de dependência mínima, todas as etapas do protocolo analítico fsQCA, da importação de dados em múltiplos formatos à geração de narrativa interpretativa automática, e ao disponibilizá-la em português, de forma gratuita e sem necessidade de instalação, o produto reduz de forma real a barreira técnica que tem limitado a adoção da metodologia em pesquisas de pós-graduação.

A versão 5.0 avançou em relação às versões anteriores ao incorporar o protocolo analítico completo da Análise-Padrão fsQCA: calibração direta com os três limiares qualitativos (log-odds ou linear por partes), detecção automática de contradições fuzzy, necessidade bidirecional com Relevância da Necessidade, as três soluções (complexa, parcimoniosa e intermediária) com seleção interativa de expectativas direcionais e distinção núcleo/periferia, testes de robustez e registro de auditoria embutido em todos os exports. O painel dedicado de nomeação de variáveis acima da tabela de dados elimina a ambiguidade da linha em itálico das versões anteriores, reduzindo erros de configuração por parte de pesquisadores iniciantes. A versão 5.1, atual, é uma versão de correção: revisão de segurança (correção de XSS armazenado na importação de histórico/projeto) e de bugs de cálculo, sem mudanças no protocolo analítico.

A ferramenta não substitui o domínio teórico da metodologia QCA, que continua sendo condição necessária para a interpretação correta dos resultados. Ela atua como instrumento de operacionalização, liberando o pesquisador das tarefas

computacionais para que possa concentrar-se nos aspectos interpretativos e substantivos da análise.

A validação apresentada neste produto técnico possui uma limitação reconhecida: o teste de usabilidade (seção 5.3) baseou-se em amostra por conveniência de uma única instituição ($n = 10$), sem instrumento de satisfação formalmente validado na literatura. Essa limitação não invalida os resultados obtidos, mas indica a necessidade de validações complementares antes de generalizações mais amplas sobre o desempenho da ferramenta.

Como agenda futura, identificam-se as seguintes possibilidades de desenvolvimento: (a) suíte de testes automatizados que cubra os principais algoritmos (calibração, tabela verdade, minimização booleana) para fins de manutenção e de submissão a periódicos de software; (b) integração com repositórios de dados de pesquisa (OSF, Zenodo) para publicação conjunta de dados e análise; (c) versão offline progressiva (Progressive Web App) para uso sem conexão à internet; (d) suporte a QCA multivalorada (mvQCA) como alternativa à codificação fuzzy ou crisp; (e) ampliação do teste de usabilidade para amostra multi-institucional com instrumento de satisfação validado na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertalanffy, L. von. (1968). General system theory: Foundations, development, applications. George Braziller.

CAPES. (2025). Documento de área: Administração pública e de empresas, ciências contábeis e turismo. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
<https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e->

programas/avaliacao/sobre-a-avaliacao/areas-avaliacao/sobre-as-areas-de-avaliacao/colégio-de-humanidades/ciencias-sociais-aplicadas/administracao-publica-e-de-empresas-ciencias-contabeis-e-turismo

Dusă, A. (2019). QCA with R: A comprehensive resource. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75668-4>

Fiss, P. C. (2011). Building better causal theories: A fuzzy set approach to typologies in organization research. *Academy of Management Journal*, 54(2), 393–420. <https://doi.org/10.5465/amj.2011.60263120>

Greckhamer, T., Furnari, S., Fiss, P. C., & Aguilera, R. V. (2018). Studying configurations with qualitative comparative analysis: Best practices in strategy and organization research. *Strategic Organization*, 16(4), 482–495. <https://doi.org/10.1177/1476127018786487>

Mackie, J. L. (1965). Causes and conditions. *American Philosophical Quarterly*, 2(4), 245–264.

McCluskey, E. J. (1956). Minimization of Boolean functions. *Bell System Technical Journal*, 35(6), 1417–1444.

Nikou, S., Mezei, J., Liguori, E. W., & El Tarabishy, A. (2024). FsQCA in entrepreneurship research: Opportunities and best practices. *Journal of Small Business Management*, 62(3), 1531–1548. <https://doi.org/10.1080/00472778.2022.2147190>

Quine, W. V. (1952). The problem of simplifying truth functions. *The American Mathematical Monthly*, 59(8), 521–531.

Ragin, C. C. (1987). The comparative method: Moving beyond qualitative and quantitative strategies. University of California Press.

Ragin, C. C. (2000). Fuzzy-set social science. University of Chicago Press.

Ragin, C. C. (2008). Redesigning social inquiry: Fuzzy sets and beyond. University of Chicago Press.
<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226702797.001.0001>

Ragin, C. C., Drass, K. A., & Davey, S. (2006). Fuzzy-set/qualitative comparative analysis 2.0. Department of Sociology, University of Arizona.

Rihoux, B., & Ragin, C. C. (Eds.). (2009). Configurational comparative methods: Qualitative comparative analysis (QCA) and related techniques. Sage. <https://doi.org/10.4135/9781452226569>

Rubinson, C. (2013). Contradictions in fsQCA. *Quality & Quantity*, 47(5), 2847–2867. <https://doi.org/10.1007/s11135-012-9694-3>

Schneider, C. Q., & Wagemann, C. (2012). Set-theoretic methods for the social sciences: A guide to qualitative comparative analysis. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139004244>

Woodside, A. G. (2013). Moving beyond multiple regression analysis to algorithms: Calling for adoption of a paradigm shift from symmetric to asymmetric thinking in data analysis and crafting theory. *Journal of Business Research*, 66(4), 463–472.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.12.021>

Ficha Técnica do Produto — Classificação CAPES

Nome do Produto	QCAFlow — Ferramenta Web para Análise Qualitativa Comparativa
Tipo de Produto	Software / Sistema Computacional (Tipo 1 — CAPES)
Versão	5.1
Natureza	Tecnológica — Ferramenta de apoio à pesquisa científica em Administração e Ciências Sociais
Área de Conhecimento	Administração; Ciências Sociais Aplicadas; Metodologia de Pesquisa
Público-Alvo	Pesquisadores, docentes e estudantes de pós-graduação em Administração, Ciência Política, Sociologia e áreas afins
Formato	Arquivo HTML5 único, multiplataforma, 100% offline (SheetJS embutido, sem dependência de CDN)
Disponibilidade	Código aberto — MIT License (Open Source Initiative). Uso, modificação e redistribuição livres mediante atribuição de autoria.
Repositório	https://github.com/LeonardoFSR75/QCAFlow
DOI (Zenodo)	https://doi.org/10.5281/zenodo.21465384
Impacto Esperado	Democratização do uso da metodologia fsQCA em pesquisas de pós-graduação; redução da barreira técnica para aplicação do método
Instituição	UNOESC — Universidade do Oeste de Santa Catarina
Ano de Desenvolvimento	2026

