

A urna eletrônica brasileira é um equipamento de primeira ou de última geração?

Rodrigo C. M. Coimbra

Resumo

Muitos críticos da urna eletrônica alegam que o equipamento brasileiro é defasado, de “primeira geração”, com as mesmas características introduzidas na sua criação em 1995. Ocorre que essa alegação não encontra respaldo em argumentos científicos. Esse artigo explora esse pretendo modelo de classificação de urnas, apresenta as suas inconsistências e demonstra qual é o real nível de evolução tecnológica da urna brasileira, apontando até como poderá ser a sua evolução nos próximos anos.

Abstract

Many critics of the electronic ballot box claim that the Brazilian equipment is outdated, “first generation”, with the same characteristics introduced at its creation in 1995. This claim is not supported by scientific arguments. This article explores this alleged ballot box classification model, presents its inconsistencies and demonstrates what the real level of technological evolution of the Brazilian ballot box is, even pointing out how it might evolve in the coming years.

Tem ganhado popularidade o debate em torno da qualificação tecnológica da urna eletrônica brasileira. Muitos críticos têm classificado

o equipamento como ultrapassado, com as características de um dispositivo projetado nos anos 1990.

Essa discussão chegou até a Câmara dos Deputados quando estava em discussão Proposta de Emenda à Constituição que se propunha a tornar obrigatório o voto impresso pelas urnas – PEC 135/2019.¹ Numa das sessões da comissão especial que discutia a PEC, o deputado relator da matéria comparou a urna com equipamentos dos anos 1990, tais como uma máquina de escrever, um aparelho de fax e um telefone celular (Figura 1).

FIGURA 1. Sessão de comissão da Câmara dos Deputados que discutia PEC 135/2019



Assessor parlamentar segurando um telefone celular para demonstração da alegada obsolescência da urna. Reprodução do canal YouTube do jornal O Globo.²

Ainda que essa cena caricata não tenha contribuído para a aprovação da PEC (o texto foi rejeitado na comissão especial e no plenário da Câmara), ela ilustra com clareza a visão que esses críticos têm da urna:

1 <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2220292>

2 <https://www.youtube.com/watch?v=39ExxNl89LM>

um equipamento de primeira geração que teria ficado para trás ao longo da evolução tecnológica.

Esses mesmos críticos também sugerem que as urnas brasileiras precisam evoluir para uma segunda ou terceira geração de máquinas de votação, mais modernas, seguras e auditáveis. Mas essa classificação é correta? Ela possui respaldo científico?

Este artigo apresenta a classificação em gerações utilizadas pelos críticos da urna eletrônica. Dessa forma, são demonstradas as inconsistências desse modelo classificador, assim como a real posição do equipamento brasileiro dentro do cenário mundial de tecnologia eleitoral. Ao final, é apresentada a provável trilha de futuro para a urna eletrônica.

Gerações de urnas

A classificação das urnas eletrônicas em gerações foi proposta pela primeira vez pelo professor Pedro Rezende (Universidade de Brasília, Departamento de Ciência da Computação) numa audiência pública realizada pelo Tribunal Superior Eleitoral (TSE) em julho de 2010 para a licitação de novas urnas eletrônicas. Na ocasião, ele apresentou a seguinte classificação por gerações (Rezende, 2010):

- **1ª geração – DRE.** Os primeiros equipamentos seriam do tipo de gravação eletrônica direta dos votos (*direct-recording electronic – DRE*). Nessas urnas, os votos depositados pelos eleitores são registrados unicamente de forma eletrônica. Esse modelo não permitiria recontagens e estaria altamente vulnerável a fraudes por *software*.
- **2ª geração – VVPAT.** A geração seguinte adicionaria uma trilha de auditoria em papel dos votos (*voter-verified paper audit trail – VVPAT*). Nesse cenário, as urnas imprimiriam os votos, que seriam validados pelos eleitores, além de manterem o registro eletrônico. Uma alternativa seria a produção de um registro em papel (um cartão marcado) que em seguida seria digitalizado para a geração de um registro eletrônico. Esse modelo permitiria recontagens e reduziria o risco

associado ao *software*, mas introduz o problema de confiança sobre a recontagem.

- **3ª geração – E2E.** A última geração adicionaria um mecanismo criptográfico capaz de garantir que um voto depositado pelo eleitor na urna foi corretamente apurado e totalizado (*end-to-end auditable* – E2E). Esse modelo adicionaria às gerações anteriores um elemento criptográfico ao registro eletrônico capaz de fornecer ao eleitor um recibo do seu voto que o permite verificar que este foi corretamente contado, ao mesmo tempo que preserva o sigilo da votação. Essa geração resolveria o problema de confiança sobre a recontagem dos votos.

O professor sustenta que uma geração sucedeu à outra justamente em busca da solução dos problemas da anterior. Dessa forma, Rezende (2010) sugere ter havido uma evolução cronológica das urnas ao redor do mundo. Ocorre, porém, que essa tese não possui sustentação em elementos cronológicos, tampouco possui amparo na comunidade acadêmica internacional.

O próprio prof. Rezende nunca apresentou um trabalho para publicação, submetido a revisão por pares, defendendo essa forma de classificação das urnas. Também não há trabalhos acadêmicos internacionais que propõem ou discutem esse tipo de classificação. Na comunidade internacional, os pesquisadores se limitam a classificar as tecnologias empregadas no processo de votação tão somente de acordo com as suas características técnicas.

Os pesquisadores do MIT Election Data Science Lab (2022) classificam os equipamentos de votação em cinco tipos de tecnologia: cédulas de papel, máquinas de alavanca, cartões perfurados, cédulas digitalizadas e DRE. Segundo o levantamento feito pelos pesquisadores do MIT, nos Estados Unidos os cinco tipos de tecnologia coexistiam na década de 1980. No ano de 2016 as cédulas digitalizadas e as urnas DRE eram as tecnologias predominantes naquele país. Sistemas com cédulas digitalizadas ou cartões perfurados foram introduzidos nos anos 1960.

Ainda no cenário internacional, mesmo a cultura popular não adota um modelo de classificação das urnas por gerações. No artigo da Wikipedia sobre voto eletrônico há a seguinte classificação³: sistema eletrônico baseado em papel (cartões perfurados ou cédulas digitalizadas), DRE (com ou sem impressão do voto) e voto online.

Na comunidade acadêmica brasileira, a primeira menção à classificação de urnas por gerações surge no artigo *Critérios para Avaliação de Sistemas Eleitorais Digitais* (Brunazo e Gazziro, 2014). Nesse artigo, os autores usam a apresentação feita por Rezende (2010) para apresentar a seguinte classificação:

- Urnas Eletrônicas brasileiras, desenvolvidas pelo TSE, em uso no Brasil desde 1996. Também foram usadas no Paraguai, na Argentina e no Equador em 2004/6 mas depois foram abandonadas nesses países. Classificadas como de 1ª geração segundo [Rezende, 2010]
- Equipamentos de votação SAES 3000, fabricadas pela empresa Smartmatic e usadas desde 2004 na Venezuela e mais recentemente na Bélgica e no Equador. Classificadas como de 2ª geração segundo [Rezende, 2010]
- Equipamentos Votar, fabricadas pela empresa MSA e usadas em algumas províncias da Argentina desde 2010 e mais recentemente no Equador. Classificadas como de 3ª geração segundo [Rezende, 2010]

Neste momento, é preciso apresentar duas grandes inconsistências na análise apresentada por Brunazo e Gazziro (2014).

A primeira delas diz respeito à colocação de que a urna brasileira é a mesma introduzida em 1996. Na verdade, as urnas brasileiras utilizadas atualmente seguem uma arquitetura de *hardware* e *software* introduzida em 2009, chamada T-DRE. Essa arquitetura será detalhada mais adiante.

A segunda inconsistência diz respeito à classificação do equipamento Vot-AR. A primeira reparação que precisa ser feita é que esse equipa-

3 https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_voting

mento não atende ao critério de 3ª geração apresentada por Rezende (2010). Quando propôs a 3ª geração, o exemplo apresentado pelo professor foi o sistema Scantegrity⁴, que funciona com cédulas digitalizadas e oferece ao eleitor um código de verificação, baseado em técnicas criptográficas, que pode ser usado para verificar se o voto foi corretamente apurado. O Scantegrity foi experimentado em duas eleições de pequeno porte em 2009 e 2011 e então descontinuado.

A máquina *Vot-AR* não utiliza técnicas criptográficas características dos sistemas E2E. Esse equipamento tem como principal característica a geração de um registro em papel ao qual é integrado um registro eletrônico num chip RFID⁵, de modo que a apuração seja feita pela leitura do chip. Ao final da votação, os votos gravados no chip RFID são apurados na própria seção eleitoral. Além disso, de acordo com a própria MSA, a tecnologia empregada na *Vot-AR* foi introduzida no ano de 2006 (*Boleta Única Electrónica*).⁶ Ainda sobre o trabalho de Brunazo e Gazziro (2014), é preciso destacar que os autores propõem critérios para avaliação de sistemas de voto eletrônico. Chama a atenção que o equipamento *Vot-AR* atende a todos os critérios delimitados pelos autores, enquanto a urna brasileira apresenta o pior desempenho. Dessa forma, os autores buscam sugerir que a urna brasileira é o equipamento mais defasado da atualidade.

Também é preciso registrar o real cenário de uso da máquina *Vot-AR*. Ela nunca foi usada em todo o território argentino. O seu uso é limitado a algumas regiões daquele país. Após o uso do equipamento da cidade de Buenos Aires em 2015, pesquisadores revelaram a existência de inúmeras vulnerabilidades no equipamento, incluindo a possibilidade de alteração do registro eletrônico e contagem do mesmo voto mais de

4 <http://scantegrity.com>

5 Radio-frequency identification – https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification

6 https://www.vot-ar.com.ar/archivos/nuestrotrabajo/Antecedentes_MSA%202021.pdf

uma vez.⁷ Não há informes transparentes da empresa MSA sobre como essas vulnerabilidades foram tratadas. Esse equipamento passou a ser utilizado pelo Paraguai a partir de 2020.

Possivelmente reconhecendo a gravidade das vulnerabilidades identificadas na Vot-AR, Gazziro retorna em 2017 com a proposta de uma nova máquina de votação no trabalho *Urna eletrônica de terceira geração: Um protótipo para eleições auditáveis* (De Lima et al, 2017). Mais uma vez a urna brasileira é classificada como de 1ª geração, em oposição ao equipamento proposto, que seria de 3ª geração.

O equipamento proposto por De Lima et al (2017) também não implementa um mecanismo de votação E2E (o que é reconhecido pelos próprios autores), mais uma vez distorcendo a classificação proposta por Rezende (2010). Essencialmente, De Lima et al (2017) reproduzem a sistemática de votação e apuração da Vot-AR, mas substituem o registro num chip RFID por um QR Code com assinatura RSA⁸.

Além de não apresentar uma inovação expressiva com relação à Vot-AR, o equipamento proposto por De Lima et al (2017) fragiliza o sigilo da votação ao utilizar uma assinatura única para cada voto (uma característica do algoritmo RSA). A discussão sobre a necessidade de um registro impresso do voto usar uma assinatura digital indistinguível para votos iguais é apresentada em *Registro impresso do voto, autenticado e com garantia de anonimato* (Coimbra et al, 2017). De Lima et al (2017) também não fazem qualquer discussão sobre os riscos associados à manipulação dos votos impressos pelos eleitores, à quantidade de equipamentos que precisam ser montados na seção eleitoral⁹, à garantia de integridade e autenticidade do *software* e à guarda segura de chaves criptográficas. Todas essas questões colocam em xeque a aplicabilidade da proposta apresentada no mundo real.

7 <https://github.com/HacKanCuBa/informe-votar>

8 [https://en.wikipedia.org/wiki/RSA_\(cryptosystem\)](https://en.wikipedia.org/wiki/RSA_(cryptosystem))

9 Na proposta, existem os seguintes equipamentos: uma máquina para identificação dos eleitores, outra para votação, outra para verificação do voto impresso e mais uma para a apuração dos votos.

De Lima et al (2017) também fazem uma avaliação do sistema por eles proposto em oposição à urna brasileira, conforme os critérios criados por Brunazo e Gazziro (2014). Embora não seja objetivo deste trabalho fazer uma exaustiva avaliação desses critérios, na avaliação realizada por De Lima et al (2017), um item em particular salta aos olhos: *Tempo para publicação na Internet dos resultados por Seção, para fiscalização da Totalização*. Segundo os autores, a Justiça Eleitoral somente publica resultados parciais para fiscalização da totalização em 72 horas após o término da votação.

De fato, a Justiça Eleitoral determinava o prazo de até 72 horas para publicação dos boletins de urna de todas as seções eleitorais na Internet.¹⁰ A partir das Eleições 2022, a publicação se dará à medida que os dados forem recebidos pelo TSE.¹¹ É importante destacar que a publicação dos boletins de urna na Internet promove a fiscalização dos resultados parciais recebidos pelo TSE, ou seja, permite que os cidadãos confirmem se o boletim de urna publicado na seção eleitoral corresponde àquele recebido pelo TSE para fins de totalização. A fiscalização da totalização se dá, então, pelo somatório dos resultados de todos os boletins de urna e não pela sua aferição individual. A verificação de boletins de urna individuais tão somente valida a transmissão dos resultados parciais.

Os autores alegam que o seu sistema demoraria 1h30 para efetuar a mesma publicação. Ocorre que De Lima et al (2017) afirmam mais adiante que “*para apurar uma seção eleitoral típica, com 400 eleitores, o tempo estimado é de uma hora e meia*” para o sistema proposto. O trabalho não faz qualquer menção ao processo de totalização de um conjunto de seções, tampouco ao processo de transporte dos resultados para a central de totalização. Nesse ponto, fica claro que o parâmetro usado na avaliação pelos autores é outro: *Tempo para apuração e publicidade dos resultados de uma seção*.

10 Art. 206 da Resolução TSE nº 23.611/2019 – <https://www.tse.jus.br/legislacao/compilada/res/2019/resolucao-no-23-611-de-19-de-dezembro-de-2019-1>

11 Art. 230 da Resolução TSE nº 23.669/2021 – <https://www.tse.jus.br/legislacao/compilada/res/2021/resolucao-no-23-669-de-14-de-dezembro-de-2021>

Nesse quesito, a urna brasileira apura os votos e os torna públicos mediante impressão do boletim de urna na seção eleitoral num processo que não dura nem 5 min. A partir dos boletins publicados nas seções eleitorais, qualquer cidadão pode confrontá-los com o resultado totalizado e divulgado pelo TSE. Desde as Eleições 2016, o boletim de urna impresso pela urna conta com *QR Codes*¹² que permitem aos cidadãos a obtenção de uma cópia digital do boletim, o que facilita ainda mais a conferência e compartilhamento dos resultados. Nas Eleições 2018, alguns grupos se organizaram para efetuar uma totalização paralela dos votos, os quais confirmaram que os resultados divulgados pelo TSE estavam corretos.¹³ Mais uma vez, fica claro que De Lima et al (2017) buscam sugerir que a urna brasileira é o equipamento mais defasado da atualidade com base em premissas falsas.

A partir desse breve relato histórico, ficam claras as seguintes inconsistências no modelo classificação das urnas por gerações:

- **Ausência de fundamentação científica:** ausência de processo científico na formulação do modelo por gerações, assim como deficiências graves nos trabalhos publicados que utilizaram esse conceito.
- **Cronologia inconsistente:** sistemas com registro material do voto associado a um registro eletrônico (cédulas digitalizadas ou cartões perfurados), que corresponderiam à 2ª geração, são anteriores àqueles que gravam o voto somente em meio eletrônico (DRE), os quais seriam de 1ª geração.
- **Modelagem descaracterizada:** a proposta original de classificação por gerações, que assinalava os sistemas E2E como sendo de 3ª geração, foi alterada para acomodar sistemas com diversas vulnerabilidades documentadas ou potencialmente inaplicáveis no mundo real.

12 O TSE publica documentação para que programadores criem seus próprios aplicativos de leitura dos boletins de urna – https://www.tse.jus.br/hotsites/catalogo-publicacoes/pdf/Manual_QR_code_SEPREV_OK_final.pdf

13 <https://web.archive.org/web/20190109081208/http://totalizacaoparalela2018.com.br/>

- **Desprezo ao processo evolutivo da urna brasileira:** a modelagem por gerações ignora a experiência com voto impresso realizada pelo Brasil em 2002, assim como as evoluções sucessivas da urna brasileira, em especial a introdução da arquitetura T-DRE em 2009.

Evolução da urna brasileira e o modelo T-DRE

A urna brasileira é um equipamento desenvolvido por uma comissão de técnicos da Justiça Eleitoral em parceria com especialistas do INPE, do Ministério da Ciência e Tecnologia, do ITA/CTA, do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás e do Setor de Tecnologia dos Ministérios Militares (TSE, 2016). O desenvolvimento da urna eletrônica foi iniciado em 1995, e, nas Eleições 1996, um terço do eleitorado brasileiro já utilizou o novo equipamento.

A primeira empresa a fabricar a urna brasileira foi a Unisys (1996), de acordo com o projeto desenvolvido pela comissão. Em 1998 e 2000 a vencedora da licitação foi a Procomp. Em 2002 a Unisys fabricou as urnas novamente. De 2004 a 2015, a Diebold, que havia acabado de adquirir a Procomp, passou a fabricar as urnas. E desde 2020, a urna é fabricada pela Positivo.

FIGURA 2. Primeiros modelos de urna eletrônica



Da esquerda para a direita: UE1996, UE2000 e UE2006.¹⁴

14 <https://www.tre-rs.jus.br/o-tre/memorial-da-justica-eleitoral-gaucha/acervo-do-memorial-da-je-gaucha/tre-rs-urnas-eletronicas>

O equipamento introduzido em 1996 possuía dois terminais: um operado pelo mesário para identificação do eleitor (terminal do mesário – TM) e outro utilizado pelos eleitores para a votação (terminal do eleitor – TE). Os dois terminais eram conectados por cabo e todo o processamento era realizado pelo TE. O TE possuía uma tela de LCD em tons de cinza, um teclado de membrana com instruções em braille e uma impressora para relatórios. A arquitetura do equipamento era muito similar à de um computador pessoal e utilizava disquetes como mídias de armazenamento.

Com uma estrutura robusta em monobloco, com os dois terminais conectados, a urna se mostrou um equipamento bastante versátil, que poderia ser distribuído para os locais de mais difícil acesso no Brasil, ao mesmo tempo que era de fácil instalação e operação. Bastava ligar a urna à tomada para que ela estivesse pronta para uso.

A operação também era muito simples: o mesário digitava o número do título de eleitor do cidadão no TM e então a urna confirmava a identificação do eleitor; em seguida, a votação era aberta no TE, permitindo que o eleitor digitasse o número do seu candidato e conferisse o seu nome e foto antes de confirmar o seu voto para cada cargo. Como não era mais exigida a escrita ou marcação em papel, o voto dos analfabetos e dos deficientes visuais ficou mais simples e acessível.

E ao final da votação, o equipamento já apurava os votos e emitia o boletim de urna. Dessa forma, sem o risco da intervenção humana, o resultado da eleição na seção eleitoral já era tornado público antes mesmo de ser encaminhado para a totalização. O resultado também era gravado no disquete para ser encaminhado a um ponto de transmissão dos dados para totalização.

Dessa forma, a urna brasileira revolucionou as eleições a partir de 1996 com as seguintes conquistas:

- Equipamento fácil de usar por mesários e eleitores;
- Garantia de que para cada eleitor corresponde somente uma votação, promovida pela identificação do eleitor na própria urna;

- Inclusão social na votação, com maior facilidade para analfabetos e deficientes visuais;
- Segurança na apuração dos votos, com o fim da contagem manual sujeita a erros e fraudes; e
- Velocidade na totalização a partir da apuração e transmissão rápida dos votos apurados.

Com a introdução da UE1998, o teclado do TE passou a ser mecânico e as mídias de armazenamento foram substituídas por um arranjo que continha memórias do tipo *CompactFlash* (interna e externa) e um disquete (resultado). O novo teclado do TE era mais confiável e acessível. E as novas mídias trouxeram maior confiabilidade e tolerância a falha na gravação dos dados. O equipamento também ficou menor, com melhorias de ergonomia para o eleitor e usabilidade para o mesário. Com a UE1998 também foi introduzida a criptografia para a proteção do boletim de urna, por meio de parceria com o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento para a Segurança das Comunicações (Cepesc), unidade especializada da Agência Brasileira de Inteligência (Abin), referência internacional em segurança da informação.

A partir do ano 2000, o *software* evoluiu para apresentar as fotos de todos os candidatos e o *hardware* passou a contar com uma saída de fone de ouvido para os eleitores com deficiência visual. A votação ficou ainda mais acessível.

Em 2002 a Justiça Eleitoral fez uma experiência com o voto impresso, em atendimento à Lei nº 10.408/2002. Para isso foi projetado um novo modelo de urna, a UE2002 (Figura 3), para suportar a acoplamento de uma impressora dedicada à impressão e exibição do voto impresso. Foi necessário o desenvolvimento de um novo equipamento em função dos requisitos do voto impresso: as escolhas do eleitor deveriam ser impressas e apresentadas para conferência num dispositivo lacrado, para que então o registro impresso fosse depositado automaticamente numa urna plástica também lacrada. Dessa forma, era vedado ao eleitor o manuseio do voto impresso. Essas características impediam que impressoras co-

muns fossem acopladas à urna, sendo necessário o desenvolvimento de um equipamento com gabinete e elementos eletromecânicos exclusivos.

FIGURA 3. Urna modelo UE2002 com suporte ao voto impresso



Módulo impressor de votos acoplado à esquerda do terminal do eleitor.

Experimentado em três municípios de todos os estados brasileiros e na totalidade do Distrito Federal e de Sergipe, o voto impresso se mostrou uma solução inadequada para as eleições. Segundo avaliação feita pela Justiça Eleitoral, publicada no Relatório das Eleições 2002 (TSE, 2003), as observações foram as seguintes:

- 150 municípios, correspondendo a 6,18% do eleitorado da época (7.128.233 eleitores) experimentaram o voto impresso;
- ocorrência de filas maiores, causadas pelo processo de votação mais lento;
- maior número de votos nulos e brancos;
- maior percentual de seções com votação por cédulas de papel, reintroduzindo os riscos da apuração manual;
- maior percentual de urnas que apresentaram defeitos (5,30% de falhas nas urnas com voto impresso, frente à média nacional que foi de 1,41%); e
- baixo percentual de eleitores que efetivamente conferiram o voto impresso (no Rio de Janeiro, cerca de 60% dos eleitores não conferiram o registro impresso).

Diante desse cenário de falta de efetividade e maior risco, no ano seguinte foi aprovada a Lei nº 10.740/2003, que extinguiu a obrigação do voto impresso e introduziu o dispositivo chamado Registro Digital do Voto (RDV). Com o RDV, a urna passa a manter um registro fiel da digitação feita pelo eleitor no equipamento, servindo como elemento de auditoria da votação e apuração.

Uma novidade introduzida em 2002 foi o emprego de assinatura digital para a autenticação do *software* e dados presentes na urna. A incorporação de assinatura digital foi fruto mais uma vez da parceria do TSE com o Cepesc.

Em 2006 foi introduzido o leitor biométrico no equipamento e, a partir de 2008, os eleitores passaram a ser identificados com auxílio das suas impressões digitais.

Até o ano de 2004, o *software* da urna era desenvolvido pela empresa responsável pela fabricação do *hardware*. Em 2005 a equipe técnica do TSE assumiu o desenvolvimento de todo o *software* da urna. Até aquele momento, o *software* da urna era baseado em duas plataformas: VirtuOS (um clone brasileiro do MS-DOS) e o Windows CE.

No ano de 2008 todo o *software* da urna foi reescrito para a plataforma Linux. A introdução do Linux uniformizou a plataforma e fez com que todos os modelos de urna utilizassem a mesma versão de *software*. Em 2022 se completarão 14 anos de utilização do Linux em todas as urnas eletrônicas do Brasil. A base de *software* introduzida em 2008 é a mesma desde então, mas vem sendo continuamente evoluída e modernizada.

Já em 2009, a urna brasileira passa pela sua mudança estrutural mais significativa. Naquele ano, o TSE firmou parceria com o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), um centro público federal de pesquisas tecnológicas com sede na cidade de Campinas/SP. O objetivo da parceria era realizar uma ampla revisão dos mecanismos de segurança do processo eleitoral, avaliando o *hardware* e o *software* da urna. Desse trabalho, que também contou com o apoio de técnicos do Cepesc, resultou a concepção de um novo equipamento: a UE2009 (Figura 4).

FIGURA 4. UE2009



Da esquerda para a direita: UE2009 com destaque para a nova mídia de resultado (peça na cor laranja); placa-mãe da UE2015, contendo o MSE (caixa preta à direita da placa, acima da frase “JUSTIÇA ELEITORAL”); e diagrama ilustrando a cadeia de segurança do T-DRE, com todas as etapas de validação de assinatura digital.

A UE2009 introduziu o Módulo de Segurança Embarcado (MSE), que consiste num módulo computacional independente do processador principal. O MSE é responsável por fazer a autenticação ativa de todos os elementos de *software* envolvidos na sequência de inicialização do equipamento, além de prover a guarda segura de chaves e oferecer serviços de criptografia e assinatura digital para as aplicações. Com a introdução do MSE, a urna passa a contar com uma infraestrutura que garante que somente o *software* desenvolvido pelo TSE pode funcionar no equipamento e que o sistema oficial só funciona na urna. Cada urna também possui seu próprio conjunto de chaves, segregado por modo de operação (oficial, simulado ou desenvolvimento), o que permite que os resultados gerados pelo equipamento sejam assinados de forma a se garantir a relação inequívoca com uma urna real. O MSE também possui a capacidade de autenticação de periféricos da urna, tais como teclado do terminal do TE, o TM e a impressora de relatórios.¹⁵ Nessa arquitetura, as teclas pressionadas no TE também são cifradas, o que protege a urna contra tentativas de violação do sigilo da votação.

Com essa nova arquitetura, mitiga-se de forma definitiva uma série de ataques aos quais os modelos DRE utilizados em outros países são

15 Esses periféricos da urna também contam com versões próprias e simplificadas do MSE, para que sejam capazes de estabelecer comunicação segura com a placa-mãe da urna.

vulneráveis. Essa arquitetura é tão inovadora que passou a ser denominada de *Trusted-DRE* – T-DRE (DRE Confiável) e foi objeto de artigo científico publicado em evento internacional (Gallo et al, 2010). Mais tarde, essa mesma arquitetura encontraria paralelos em soluções desenvolvidas por gigantes de tecnologia para computadores pessoais e dispositivos móveis.¹⁶ A UE2009 também introduziu mídias de resultado do tipo USB e uma tela gráfica no terminal do mesário, para a exibição de novos elementos visuais. O TE também passou a usar um LCD colorido de alta resolução. Essas mesmas características seriam mantidas nos próximos modelos: UE2010, UE2011, UE2013 e UE2015. Nesse período, cada novo modelo introduziu melhorias em seus componentes internos, mas manteve a arquitetura T-DRE. Em 2019, com o descarte ecológico¹⁷ das últimas urnas sem MSE, foi possível evoluir ainda mais o *software* da urna para utilização de todo o potencial de segurança do *hardware*, o que resultou em proteção máxima para o *software* e as chaves de criptografia e assinatura utilizadas (Monteiro et al, 2019).

Entre 1996 e 2015, a urna brasileira sempre apresentou evoluções significativas ao longo dos anos. Mas uma diretriz foi mantida: a experiência de usuário dos eleitores foi preservada. A urna mudou muito por dentro, mas quase não mudou por fora. Por isso, para um leigo, pode parecer que a urna não evoluiu ao longo dos anos. Na verdade, o que se buscou foi preservar a facilidade que os eleitores sempre tiveram para votar com o equipamento.

No entanto, em 2020, o TSE optou por fazer uma mudança visual mais significativa e apresentou a UE2020 (Figura 5), que será usada pela primeira vez nas Eleições 2022. Nesse novo modelo, o TM abre mão do teclado físico e demais componentes de interação com o mesário para uso de uma grande tela sensível ao toque. No TE, o teclado do eleitor é

16 Os módulos T1 e T2 desenvolvidos pela Apple para computadores Macintosh com processadores Intel são muito similares ao MSE em arquitetura e funcionalidade (https://en.wikipedia.org/wiki/Apple_T2).

17 <https://www.tse.jus.br/imprensa/noticias-tse/2021/Setembro/tse-finaliza-leilao-para-descarte-de-urnas-em-desuso>

projetado para maior tolerância a falhas e passa a ser posicionado abaixo da tela, promovendo maior ergonomia para destros e canhotos.

FIGURA 5. UE2020



Com destaque para o TM redesenhado e a nova disposição do teclado do TE.

Apesar do visual renovado, a experiência do eleitor será mantida: o processo de votação permanece inalterado e o mesmo *software* presente nos demais modelos de urna está presente na UE2020. A arquitetura T-DRE também se mantém, mas com evoluções tecnológicas importantes em seus algoritmos de criptografia e assinatura digital, que permitirão que a urna passe a ser um dispositivo com certificação digital ICP-Brasil.¹⁸ As mídias *CompactFlash* também foram descontinuadas e substituídas por mídia USB (externa) e unidade SSD (interna). O processador principal também é muito mais veloz em comparação aos modelos anteriores.

E a próxima geração?

A evolução da urna brasileira foi constante ao longo dos seus 26 anos de história. E o que se pode esperar a partir de agora são mais evoluções que promovam uma melhor experiência de votação e mais segu-

18 <https://www.tse.jus.br/imprensa/noticias-tse/2021/Julho/novas-urnas-eletronicas-contarao-com-certificacao-da-icp-brasil>

rança ao processo eleitoral. Em 2021, mais uma vez, a Justiça Eleitoral firmou parceria para promover uma ampla revisão tecnológica do processo eleitoral, desta vez com pesquisadores da Universidade de São Paulo – USP.¹⁹ Uma das linhas de pesquisa em andamento pelos técnicos do TSE e da USP é sobre sistemas de votação E2E. Abordagens mais modernas, tais como o sistema *ElectionGuard* da Microsoft²⁰, ainda em desenvolvimento, fortaleceram o interesse por uma alternativa que dê ao eleitor meios que permitam a verificação da correta gravação e apuração dos votos. É possível que algum mecanismo de sistemas E2E seja introduzido já nas Eleições 2024. Caso se confirme, a integração de um mecanismo E2E no Brasil representará pela primeira vez a adoção desse tipo de tecnologia em larga escala no mundo.

Outro aspecto importante é o de abertura crescente do *software* da urna. Disponível para inspeção nas dependências do TSE por entidades fiscalizadoras desde 2002, o código-fonte do *software* da urna está se tornando cada vez mais aberto e acessível. A introdução do Linux em 2008 e o uso intensivo de *software* livre facilitaram ainda mais o processo de análise do *software*. A partir de 2012, o Teste Público de Segurança permitiu que qualquer cidadão analisasse o código-fonte no Tribunal. E, desde 2022, o TSE permite que instituições parceiras analisem o código-fonte em suas próprias instalações.²¹ O próximo passo será a publicação do código-fonte na Internet, para consulta irrestrita por qualquer cidadão.

A urna eletrônica foi um equipamento disruptivo, que introduziu uma forma de votar mais segura e inclusiva em 1996. Em 2009 dá um salto evolutivo e estabelece uma nova geração de máquinas de votação com a T-DRE, referência de segurança para todo o mundo. Em 2022 dá mais um salto, com melhorias na experiência de eleitores e mesários, mas sem perder a preocupação com a segurança. O próximo passo será

19 <https://www.tse.jus.br/imprensa/noticias-tse/2021/Outubro/tse-e-usp-firmam-convenio-sobre-pesquisa-de-tecnologias-aplicadas-ao-sistema-de-votacao>

20 <https://github.com/microsoft/electionguard>

21 <https://www.tse.jus.br/imprensa/noticias-tse/2022/Fevereiro/tse-institui-projeto-piloto-para-acesso-ao-codigo-fonte-da-urna-eletronica>

no aumento da confiabilidade do processo eleitoral. Em breve, o Brasil terá mais uma geração da urna que fortaleceu o processo eleitoral e a democracia.

Referências bibliográficas

BRUNAZO, Amílcar; GAZZIRO, Mario A. **Critérios para avaliação de sistemas eleitorais digitais**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais – SBSEG 2014. Disponível em: <http://www.sbseg2014.dcc.ufmg.br/files/anais.pdf>. Acesso em: abril 2022.

COIMBRA, Rodrigo; MONTEIRO, José; COSTA, Gladiston. **Registro impresso do voto, autenticado e com garantia de anonimato**. Anais do XVII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais – SBSEG 2017. Disponível em: https://sbseg2017.redes.unb.br/wp-content/uploads/2017/04/20171109_ANAIS_SBSEG_2017_FINAL_E-BOOK.pdf. Acesso em: abril 2022.

DE LIMA, Fernando Teodoro; GAZZIRO, Mario A.; BATISTA JR, Antonio de Abreu; MATIAS, Paulo; COSTA, João V. C. **Urnas eletrônicas de terceira geração: um protótipo para eleições auditáveis**. XVII Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais – SBSEG 2017. Disponível em: https://sbseg2017.redes.unb.br/wp-content/uploads/2017/04/20171109_ANAIS_SBSEG_2017_FINAL_E-BOOK.pdf. Acesso em: abril 2022.

GALLO, Roberto; KAWAKAMI, Henrique; DAHAB, Ricardo; AZEVEDO, Rafael; LIMA, Saulo; ARAUJO, Guido. **T-DRE: a hardware trusted computing base for direct recording electronic vote machines**. Twenty-Sixth Annual Computer Security Applications Conference, ACSAC 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221046512_T-DRE_a_hardware_trusted_computing_base_for_direct_recording_electronic_vote_machines. Acesso em: abril 2022.

MIT Election Data Science Lab. **Voting technology**. Disponível em: <https://election-lab.mit.edu/research/voting-technology>. Acesso em: abril 2022.

MONTEIRO, José; LIMA, Saulo; RODRIGUES, Robson; ALVAREZ, Paulo; MENESES, Marciano; MENDONÇA, Fernando; COIMBRA, Rodrigo. **Protegendo o sistema operacional e chaves criptográficas numa urna eletrônica do tipo T-DRE**. 4º Workshop de Tecnologia Eleitoral – SBSEG 2019. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wte/article/view/14039>. Acesso em: abril 2022.

REZENDE, Pedro. **Votação Eletrônica, 3ª Geração**. Apresentado em Audiência Pública realizada no TSE em julho de 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20220121082359/https://www.cic.unb.br/~pedro/trabs/TSE3G.pdf>. Acesso em: abril 2022.

TSE. **Urna eletrônica**: 20 anos a favor da democracia. Brasília, 2016. Disponível em: https://www.justicaeleitoral.jus.br/arquivos/tse-urna-eletronica-20-anos-a-favor-da-democracia/at_download/file. Acesso em: abril 2022.

TSE. **Relatório das Eleições 2002**. Brasília, 2003. Disponível em: https://www.tse.jus.br/hotsites/catalogo-publicacoes/pdf/relatorio_eleicoes/relatorio.pdf. Acesso em: abril 2022.

Rodrigo C. M. Coimbra · É bacharel e mestre em Ciência da Computação pela Universidade de Brasília. É Analista Judiciário (Especialidade Análise de Sistemas) do Tribunal Superior Eleitoral desde 2007, onde sempre trabalhou com o desenvolvimento do *software* da urna.